

Терехов Геннадий Григорьевич (1948) окончил в 1971 г. Уральский государственный лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, заслуженный лесовод России, заведующий лабораторией искусственного лесовосстановления Ботанического сада УрО РАН. Имеет 90 печатных работ по вопросам создания, формирования и оценки биопродуктивности лесных культур.



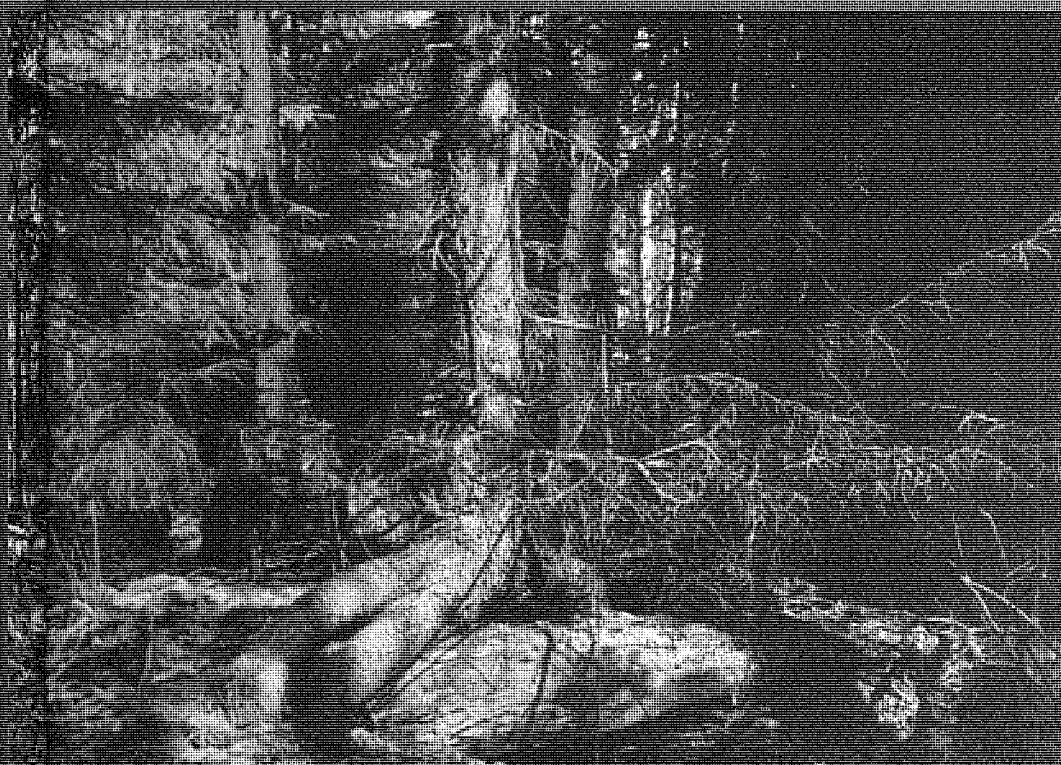
Усольцев Владимир Андреевич (1940) окончил в 1963 г. Уральский государственный лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Уральского государственного лесотехнического университета, заслуженный лесовод России, заведующий лабораторией экологии и биопродуктивности растительных сообществ Ботанического сада УрО РАН. Имеет 300 печатных работ по проблемам оценки и моделирования биологической продуктивности лесов.

Г.Г. Терехов, В.А. Усольцев

Г.Г. Терехов, В.А. Усольцев

# ФОРМИРОВАНИЕ, РОСТ И БИОПРОДУКТИВНОСТЬ ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ СИБИРСКОЙ НА УРАЛЕ

## Исследование системы связей и закономерностей



Электронный архив УГЛТУ

ФОРМИРОВАНИЕ, РОСТ И БИОПРОДУКТИВНОСТЬ  
ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ СИБИРСКОЙ НА УРАЛЕ

---

ESTABLISHMENT, GROWTH AND BIOLOGICAL  
PRODUCTIVITY OF EXPERIMENTAL *PICEA OBOVATA*  
PLANTATIONS ON THE URAL FORESTS

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES • URAL BRANCH  
BOTANICAL GARDEN

MINISTRY OF EDUCATION OF RUSSIAN FEDERATION  
URAL STATE FOREST ENGINEERING UNIVERSITY

*G.G.Terekhov, V.A. Usoltsev*

ESTABLISHMENT, GROWTH  
AND BIOLOGICAL PRODUCTIVITY  
OF EXPERIMENTAL *PICEA OBOVATA*  
PLANTATIONS ON THE URAL FORESTS

A study of the system of regularities

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК • УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
БОТАНИЧЕСКИЙ САД

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

*Г.Г. Терехов, В.А. Усольцев*

ФОРМИРОВАНИЕ, РОСТ  
И БИОПРОДУКТИВНОСТЬ  
ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР  
ЕЛИ СИБИРСКОЙ НА УРАЛЕ

Исследование системы  
связей и закономерностей

УДК 630\* 231:630\*174.755(470.51.54)

Терехов Г.Г., Усольцев В.А. **Формирование, рост и биологическая продуктивность опытных культур ели сибирской на Урале. Исследование системы связей и закономерностей.** Екатеринбург: УрО РАН, 2008. ISBN 5-7691-1913-6.

Изложены результаты исследований формирования, роста и биологической продуктивности культур ели сибирской в биологическом возрасте от 8 до 33 лет в лесхозах Свердловской области на базе четырех серий опытов с разными вариантами обработки почвы. Составлены нормативы для оценки надземной и подземной фитомассы и первичной продукции на уровнях дерева и древостоя. Изучены особенности естественного возобновления ели в 33-летних культурах, а также влияние рубок ухода на архитектуру и фитомассу корневых систем.

Ответственный редактор  
доктор сельскохозяйственных наук профессор *С.В. Залесов*

Terekhov G.G., Usoltsev V.V. **Establishment, growth and biological productivity of experimental *Picea obovata* plantations on the Ural forests. A study of the system of regularities.** Yekaterinburg: Ural Branch of RAS, 2008.

Results of studying establishment ways, growth and biological productivity of *Picea obovata* plantations in the age from 8 to 33 years on the Ural forests according to four experimental areas of different soil treatment are reported. Estimating tables of above- and belowground biomass and NPP on the levels of a tree and a stand are designed. Peculiarities of natural spruce regeneration of plantations in the age of 33-years as well as some consequences of thinning on spruce root architecture and biomass are studied.

*Работа выполнена в рамках научной тематики Ботанического сада УрО РАН и Уральского государственного лесотехнического университета на факультете экономики и управления (грант РФФИ № 04-05-96083).*

На обложке – ель сибирская, выросшая на упавшем стволе лиственницы на водоразделе Уральского хребта. Свердловская область, Билимбаевский лесхоз, Починковское лесничество, кв. 109. Фото Г.Г. Терехова.

ISBN 5-7691-1913-6

Т ПРП-2008-7(08)-26 ПБ-2008  
8П6(03)1998

© Терехов Г.Г.,  
Усольцев В.А., 2008 г.  
© УрО РАН, 2008 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня фитомасса лесов рассматривается как их основная характеристика, определяющая ход процессов в лесных экосистемах и используемая в целях экологического мониторинга, устойчивого ведения лесного хозяйства, моделирования продуктивности лесов с учетом глобальных изменений, изучения структуры и биоразнообразия лесного покрова, а также оценки углерододепонирующей емкости лесов (Fowler et al., 2002). Необходимость разработки новых методов оценки запасов углерода, поглощаемого лесами из атмосферы и депонированного в лесных экосистемах, признана в 1997 г. XI Всемирным лесным конгрессом в г. Анталья в Турции (Итоги..., 2000).

В плане стратегии устойчивого развития промышленно развитые страны в рамках Протокола Киото в 1997 г. взяли обязательства о снижении эмиссии парниковых газов на 8 % в течение 10 лет. Протокол Киото обязывает научное сообщество разработать стратегию компенсации промышленных выбросов биологической фиксации атмосферного углерода как основного биогена планеты и стимулирует по существу первый шаг человечества в направлении постепенного познания биологии глобального углеродного цикла (IGBP, 1998; WBGU, 1998).

Однако точность имеющихся оценок депонируемого в лесной фитомассе углерода совершенно неприемлема для прогнозирования глобальной экологической ситуации. Как в 1960-е годы эти оценки на планетарном уровне различались на порядок, варьируя в пределах от 4 (Müller, 1960) до 41 Гт (Deevey, 1960), так и спустя 30 лет, снизившись по общему уровню вчетверо, они тем не менее сохранили десятикратный перепад, от 1 (Kräuchi, 1993) до 10 Гт (Global..., 1991). Поэтому не удивительно, что роль лесных экосистем в глобальных биосферных циклах разными исследователями оценивается с точностью до наоборот: от отрицательной (Woodwell et al., 1978) до положительной (Кобак и др., 1980), и без ясного понимания основополагающих процессов этих циклов есть риск получения серьезных отягчающих побочных эффектов (Schellnhuber, Wenzel, 1998; Schellnhuber, 1999; Schulze, 20006). В этой связи первоочередное значение имеют экспериментальные данные о фитомассе и первичной продуктивно-

сти лесов в качестве исходной базы для оценки роли последних в глобальных экологических циклах и стабилизации климата.

Предполагают, что путем интенсивного лесоразведения можно компенсировать 11–15 % антропогенных выбросов CO<sub>2</sub> (Brown, 1996). В настоящее время годовое увеличение запасов углерода на территории России составляет около 70 млн т, а годовые выбросы углерода в углеродсодержащих газах в энергетике и промышленности – около 411 млн т (Запасы..., 2005), т. е. компенсируется примерно 17 % его промышленных выбросов.

Затраты на достижение целей Киото, т. е. стоимостная оценка 1 т связанного в лесной растительности атмосферного углерода, варьируют от 13 до 100 долл. (Запасы..., 2005). Поэтому для России и ее регионов важно выявить реальные возможности в этом плане.

Стоимость поглощения углерода лесами может быть оценена как рентная плата за дополнительный углерод, который может быть получен в результате 1) увеличения площади лесов, в том числе за счет лесоразведения; 2) интенсификации лесовосстановления за счет посадки лесных культур, содействия естественному возобновлению и удобрения; 3) сохранения спелых лесов за пределами оптимального периода ротации и др. (Углерод..., 2005).

Согласно модельному анализу, 60 % дополнительного увеличения углеродного пула ожидается получить в результате лесоразведения. Лесокультурное производство России, начавшись в 1738 г. закладкой знаменитой Линдуловской рощи «лесным знателем» Фердинандом Габриелем Фокелем на площади 5 га, сегодня достигло по Российскому лесному хозяйству ежегодного объема лесовосстановительных работ на площади около 800 тыс. га, из которых 41 и 39 % представлены культурами соответственно ели и сосны (Леса России, 2005). Если учесть, что около 40 лет назад в нашей стране сосной были представлены более 50 % площадей лесных культур (Золотухин, 1966), то можно говорить о тенденции повышения доли ели в лесокультурном производстве страны.

Однако на начальном этапе развития лесокультурного производства России ель не играла роли фаворита и создавала лесоведам много проблем, особенно при облесении площадей после вырубке ельников. Д. Кравчинский (1905) по этому поводу писал: «Как известно, культуры на вырубках в еловых лесах посредством посадки – один из самых распространенных, чтобы не сказать шаблонных, способов лесоразведения на Западе. Казалось бы, и нам, не мудрствуя лукаво, следовало бы держаться этого примера, когда по хозяйственным соображениям не могут или не желают отступить от принятого способа пользования еловыми лесами посредством сплошных ру-

бок. Первое время так и казалось многим деятелям нынешнего «культурного» периода в русских лесах, пока действительность не указала, что характер наших еловых лесов и их возобновление на вырубках представляет много оригинального.

Прежде всего, в наших еловых лесах ели постоянно сопутствует подмесь березы и осины, чего в западных еловых, преимущественно горных лесах, не замечается. Затем наши сплошные вырубки изпод ели, помимо немедленного заполнения их березой, налетающей от семян, и осиной, развивающейся от корневой поросли, покрываются на сколько-нибудь свободных местах, благодаря относительно высокому плодородию еловых почв, густым и высоким покровом из травянистых растений, преимущественно злаков, среди которых господствует и выделяется своей высотой метла (*Calamagrostis*). Если производить посадки среди подобных условий, то приходится вскоре разочароваться в дешевых способах культур посредством 1–2-леток, и сажать крупные перешколенные саженцы 5–7 лет, и притом не скупясь на число саженцев и последующий уход за ними, что неизбежно вводит лесного хозяина в очень крупные расходы» (с. 375).

Ель на Урале в широких масштабах стали вводить в культуры в 1970-х гг. в связи с многочисленными неудовлетворительными результатами по культивированию сосны в преобладающих лесорастительных условиях Урала. Ель в сравнении с сосной обладает рядом свойств, которые позволяют снизить затраты на создание и выращивание культур и обеспечить высокую продуктивность древостоев. Теневыносливость ели обеспечивает сохранность культур под пологом других древесных пород. Культуры ели лучше противостоят «давлению» травянистой растительности и не требуют интенсивных агротехнических уходов. Окружающий травостой на открытых местах предохраняет молодые растения ели от повреждений поздними весенними заморозками. Саженцы ели хорошо приживаются, и эта порода пригодна для создания смешанных, подпологовых и предварительных культур. Посадочный материал в меньшей степени повреждается грибковыми заболеваниями, а культуры – животными (Чернов, 2004).

Ель леса Западной Европы представлены в основном культурами, то в России преобладают естественные леса, занимающие наибольшую площадь бореальной зоны. Однако в связи с общим спадом производства, начавшимся в 1993 г., площадь лесовосстановления значительно превосходила площадь вырубок. В результате на начало 2001 г. лесопокрываемая площадь, например в Свердловской области, увеличилась на 153 тыс. га главным образом за счет лесных культур.

Лесные культуры, особенно молодые, связывают атмосферный углерод более интенсивно в сравнении с естественными насаждениями. Около 80 % атмосферного углерода, депонируемого в тропиках лесными культурами, приходится на первые два класса возраста (Brown et al., 1986). Однако в бореальной зоне и, особенно, в Уральском регионе углерододепонирующие возможности лесных культур изучены слабо.

Наше исследование предпринято с целью выявить особенности роста, фитомассы и первичной продукции культур ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) I–II классов возраста, созданных на Урале разными способами из семян местного происхождения. Исследовательской базой послужили четыре серии опытов с культурами ели, заложенными и формируемыми в течение 30 лет Г.Г. Тереховым в Билимбаевском и Шамарском лесхозах Свердловской области.

Авторы выражают благодарность за активное содействие при выполнении работы аспирантам УГЛТУ О.А. Богословской, О.А. Петелиной, А.Н. Грибенникову, Е.В. Бараковских и О.В. Канунниковой, сотрудникам лаборатории искусственного лесовосстановления Ботанического сада УрО РАН – д. с.-х. н. И.А. Фрейберг, к. с.-х. н. Ю.П. Путятину, В.А. Макарову, А.Н. Тишечкину, М.В. Ермаковой, а также инженерам А.М. Бирюковой, Л.П. Пермязовой, Н.А. Кислицыной и Р.Б. Шерстенниковой.

## Глава 1

### БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ НАСАЖДЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Хотя лесные культуры отличаются от естественных насаждений наиболее активным связыванием атмосферного углерода, особенно в первых двух классах возраста, их биологическая продуктивность изучена слабо, в частности в сравнении с естественными насаждениями.

Наиболее изучены в отношении биологической продуктивности культуры сосен обыкновенной и кедровой и ели (Чмыр, Ярмишко, 1972; Габеев, 1975; Рубцов, Рубцов, 1975; Рубцов и др., 1976; Семечкина, Порядина, 1978; Мерзленко, Гурцев, 1982; Мерзленко, Шестакова, 1992; Бабич, Мерзленко, 1998; Усольцев, Щерба, 1998; Маркова, Шестакова, 2001; Евдокимов, 2003), в том числе предварительные культуры сосны и лиственницы (Абрамова, Залесов, 2002) и ели (Сироткин, Праходский, 1972; Турлюк, 1983). Однако эти данные крайне малочисленные, разрозненные и несопоставимые.

Сравнительный анализ биологической продуктивности по надземной и подземной фитомассе естественных сосняков и культур был выполнен в Аман-Карагайском бору, входящем в зону степей в Тургайском прогибе (Усольцев и др., 1994). Изучение возрастной динамики среднего диаметра и густоты в культурах и естественных сосняках показало, что на статистически достоверном уровне средний диаметр больше, а число стволов на 1 га – меньше в культурах. Однако средняя высота, сумма площадей сечений, запас стволовой древесины, а также надземная, подземная и общая фитомасса в культурах и естественных сосняках II–III классов бонитета Аман-Карагайского бора на возрастном диапазоне от 20 до 50 лет достоверно не различались.

Следовательно, почвенно-климатический потенциал культуры и естественные насаждения реализуют одинаково. Это может быть интерпретировано с позиций теории «пайп-модели» (Усольцев, 1997)



таким образом, что при полной сомкнутости полога и соответственно одинаковой массе ассимиляционного аппарата площадь проводящей ксилемы (или сумма площадей сечений) также одинакова в культурах и естественных сосняках. При этом не имеет значения, поддерживается это соотношение стабильным при большом числе тонких деревьев или при малом числе – более толстых. Правда, масса хвои в течение первых 10–15 лет жизни была больше в культурах.

В Катав-Ивановском лесхозе Челябинской области установлено, что надземная фитомасса в молодых культурах несколько ниже, чем в естественных молодняках того же возраста, однако это различие статистически недостоверно. Культуры превосходят естественные сосняки по надземной фитомассе лишь к возрасту 40 лет (Аткина, Петелина, 2002).

Н.А. Луганским (1972) в подзоне южной тайги на Среднем Урале изучены различия естественных сосновых молодняков и культур (возраст 14–19 лет) по морфолого-анатомическому строению хвои. Установлено, что количество и диаметр смоляных ходов, а также ширина и толщина проводящего пучка в культурах существенно выше, чем в естественных сосняках, что автор объясняет лучшими эдафическими и ценофическими условиями роста культур, но имеющиеся результаты разрозненны и несопоставимы.

Обычно при сравнительном изучении различных способов формирования лесных культур оценка вариантов ведется на основе замеров высот и диаметров деревьев, реже – запасов стволовой древесины (Итоги..., 1964; Савич и др., 1978; Рябоконт, 1979; Красников, 1982; Редько и др., 1985; Никитин, 1985; Угаров, 1985; Фрейберг, 1993; Журихин, 1995; Якимов, Домасевич, 2002; Павлов, Барабанова, 2003; Ефименко, Холодилова, 2003; Дружинин, 2003; Чиндяев и др., 2007), а оценка развития корневых систем ограничивается измерениями их длины и глубины проникновения (Чижов, 1972; Чиндяев и др., 2007), и по степени их различия, не всегда статистически подтвержденной, делается вывод о преимуществе того или иного варианта либо о специфике той или иной закономерности.

В значительно большей степени изучены лесные культуры и естественные насаждения в аспекте их формирования и роста. С.В. Залесов с соавторами (2002) отмечают, что особенности формирования искусственных сосняков получили отражение в работах: по европейской части РФ – В.И. Рубцова (1964, 1969); И.М. Науменко (1939, 1960, 1979), В.П. Тимофеева (1965), А.С. Царькова (1967, 1969, 1970), А.Д. Дударева и В.В. Успенского (1969), В.В. Успенского и В.К. Попова (1974); в пределах Восточно-Европейской равнины – А.Н. Полякова, П.Ф. Ипатова, В.В. Успенского (1986); на Европейском Севере –

Л.Ф. Ипатова (1974а, б); в Белоруссии – Ф.М. Золотухина (1966), В.С. Мирошникова (1971, 1974), В.А. Никитина (1981); на Украине – Д.И. Вуевского (1940), В.П. Старостенко (1967); в Литве – И. Григалиюнаса (1967); на Урале – в работах М.Н. Прокопьева (1975а, б, 1976, 1977, 1978а, б, 1981, 1983), А.В. Поповой (1972), А.М. Никитина (1967), Р.П. Исаевой и Н.А. Луганского (1972), М.Н. Егорова (1972, 1996), И.Ф. Коростелева (1975), В.А. Макарова (1986), И.Ф. Коростелева и В.А. Злоказова (1988).

Изучая строение и рост искусственных сосновых древостоев Европейского Севера России, Л.Ф. Ипатов (1974а) отмечал, что начальная густота оказывает сильнейшее влияние на дальнейшее изреживание древостоя. Довольно значительно на величину отпада влияет также размещение деревьев по площади. Н.А. Бабич с соавторами (1999) установили, что повышенная продуктивность лесных культур Европейского Севера в основном обеспечивается: обработкой почвы, производимой применительно к конкретным типам условий местопроизрастания; выровненностью условий почвенной среды; соответствием биолого-экологических свойств культивируемой породы условиям местопроизрастания; использованием высококачественного селекционного посадочного (посевного) материала; проведением уходов; равномерностью распределения культивируемых деревьев по площади, которая, в свою очередь, ведет в некоторой степени к уменьшению их дифференциации, что служит основной причиной ослабления процесса самоизреживания и обеспечивает выживание большого числа деревьев на единице площади.

Число деревьев на 1 га в естественных насаждениях Белоруссии, по данным Ф.М. Золотухина (1966), в возрасте 5 лет в 4,1–5,3 раза больше по сравнению с лесными культурами, в 20 лет – на 20–52 %, в 35 лет – только на 3,2–19 %. Также отмечается более высокий процент отпада в естественных насаждениях по сравнению с искусственными. Примерно такие же результаты были получены В.К. Захаровым и О.А. Труллем (1959).

Согласно данным А.В. Поповой (1972), естественное изреживание в искусственных сосняках Пермской области идет с меньшей интенсивностью по сравнению с насаждениями естественного происхождения. Так, если в возрасте 10 лет число деревьев в естественных сосняках больше в 2,5 раза, чем в искусственных, то в 57 лет количество их выравнивается, в дальнейшем с увеличением возраста естественные сосняки становятся намного более редкими, чем сосняки искусственного происхождения.

По мнению В.И. Рубцова (1964), основной причиной различий в особенностях формирования насаждений естественного и искусст-

венного происхождения являются недостаточные условия дифференциации деревьев в древостоях. В процессе дифференциации деревьев складывается специфичное их распределение по таксационным признакам, которое определяет структуру древостоя и запас древесины в нем. Важнейшими факторами, влияющими на дифференциацию деревьев в молодняках, являются:

- 1) разновозрастность деревьев в естественных древостоях;
- 2) различия в размещении деревьев по участку: в естественных насаждениях неравномерное, в культурах – равномерное, влияющее на площадь питания отдельного дерева;
- 3) различия в микрорельефе: в лесных культурах все деревья располагаются в относительно одинаковых условиях по сравнению с естественными насаждениями;
- 4) различия в индивидуальных наследственных свойствах растений, определяющих энергию их роста: при создании лесных культур производится сортировка посадочного материала;
- 5) проведение уходов за лесными культурами в первые годы жизни путем удаления травянистой и нежелательной древесной растительности. Особенности происхождения сосновых культур вызывают ослабление дифференциации деревьев по сравнению с естественными сосняками и как следствие этого различия в формировании древостоев (Залесов и др., 2002).

А.Н. Поляков с соавторами (1986) видят причины различий между насаждениями, имеющими разное происхождение, в следующем. Возникновение и развитие естественных древостоев происходит био группами при большом количестве всходов, которые вскоре вступают в конкурентные отношения. Из одной био группы возникает несколько перспективных деревьев, большинство же других отпадают, а часть вынуждены довольствоваться угнетенным положением. В итоге из био группы выделяется лидер, который сохраняет свое положение при благоприятных условиях на протяжении всего периода роста. Густота таких древостоев с возрастом уменьшается за счет убыли деревьев V и IV классов роста, число же лидеров сохраняется, а относительное их участие (доля) возрастает.

По-иному происходит этот процесс в лесных культурах. Равномерное размещение семян по площади создает близкие условия для роста всех растений. Это предопределяет хороший первоначальный рост большинства растений и последующее формирование большого количества деревьев I класса роста. Быстрое одноярусное смыкание лесных культур приводит к незамедлительному отпаду деревьев. Поэтому значительное количество деревьев I класса роста сохраняется, хотя в дальнейшем их дифференциация продолжается.

Следствием сказанного, по мнению исследователей, является то, что в дальнейшем одновозрастные естественные сосняки отличаются большим варьированием деревьев по размерам, особенно за счет тонкомерных частей древостоев. В молодняках естественного происхождения отставшие в росте деревья IV и V классов роста составляют 44,1 % против 5–10 % в лесных культурах. В спелых сосняках (около 100 лет) этот показатель в естественных сосняках равен 30,2 %, а в лесных культурах – только 4–5 %. Деревья I класса роста больше в лесных культурах, чем в естественных сосняках, в несколько раз. Причем, если в лесных культурах с увеличением возраста (с 40 до 100 лет) число деревьев I класса роста уменьшается примерно с 30 до 10–20 %, то в естественных сосняках, наоборот, за этот же период число господствующих деревьев увеличивается с 4 до 16 % (Залесов и др., 2002).

Несколько похожие результаты получены на большом экспериментальном материале в Северном Казахстане при сравнительном изучении естественных березняков и культур (Данченко и др., 1991). Березовые естественные насаждения в колках Северного Казахстана возобновляются в основном вегетативно, пневой порослью. По данным В. Д. Шандера (1973), береза возобновляется семенным путем только на 7 % площадей березовых вырубок.

Установлено, что площадь проекций крон в первые годы в культурах березы увеличивается значительно быстрее, чем в естественных березняках. К возрасту 10 лет коэффициент перекрытия крон (отношение суммы площадей проекций крон деревьев к площади проекций всего полога) в культурах достигает 1,5, тогда как в естественных насаждениях он не превышает 0,9, и соответственно освещенность под пологом в культурах на 20 % ниже, чем в естественных березняках (Данченко и др., 1991).

Различия в формировании полога влекут за собой и различия в формировании напочвенного покрова и лесной подстилки в рассматриваемых фитоценозах. В естественных березняках всех типов леса на протяжении всей жизни напочвенный покров представлен различными ассоциациями травянистой растительности. Лесная подстилка сплошное покрытие не образует, а сосредоточена лишь под кронами деревьев. Это и объясняет причину отсутствия семенного возобновления в местных березняках.

В культурах березы растительные группировки сорняков подавляются пологом культур уже к 10-летнему возрасту, и начинается стабильный процесс формирования подстилки, достигающей к 30-летнему возрасту мощности 2–3 см. Травянистая растительность подавлена и создает синузии со слабым покрытием почвы лишь к



возрасту спелости культур в результате их естественного изреживания (Данченко и др., 1991).

Поскольку встречаемость естественных березняков, равных по продуктивности культурам, составляет в Северном Казахстане лишь 2 %, темпы роста культур сопоставлены названными авторами с модальными естественными березняками. В правобережном Приишимье (Полудинский лесхоз) в подзоне колочной лесостепи запас в культурах березы на черноземах обыкновенных достигает 247 м<sup>3</sup>/га, а модальные естественные березняки характеризуются средним запасом 146 м<sup>3</sup>/га. В подзоне умеренно засушливой степи (Айртавский лесхоз) продуктивность культур 208 м<sup>3</sup>/га, модальных естественных древостоев – 155 м<sup>3</sup>/га. В подзоне засушливой степи соотношение продуктивности названных фитоценозов к возрасту спелости составляет соответственно 180 и 103 м<sup>3</sup>/га, а еще южнее, в подзоне сухой степи – 155 и 91 м<sup>3</sup>/га. Таким образом, А.М. Данченко с соавторами (1991) делают однозначный вывод о значительно большей продуктивности (и о более высокой товарности) культур березы по сравнению с обычными в условиях колочных лесов порослевыми березняками.

С.В. Залесов с соавторами (2002) приходят к выводу, что главными факторами, влияющими на различия в строении и росте насаждений искусственного и естественного происхождения, являются равномерное размещение деревьев по площади, а также более низкая первоначальная густота искусственных древостоев, в связи с чем процесс изреживания искусственных и естественных древостоев носит различный характер. Другими факторами, определяющими различия, являются механический состав почв, качество семян, из которых вырастают искусственные и естественные сосняки, агротехнические и лесоводственные уходы и некоторые другие факторы.

Резюмируя имеющуюся литературу по сравнению продуктивности естественных и искусственных насаждений, С.В. Залесов с соавторами (2002) отмечают, что существуют три мнения относительно различий в росте и производительности между искусственными и естественными насаждениями и соответственно относительно необходимости разработки особых методов таксации и ведения лесного хозяйства в искусственных лесах.

Одни исследователи (Борисов, 1964; Рубцов, 1964, 1969; Никитин, 1967; Пигарев, 1967; Дударев, Успенский, 1969; Побединский, 1970, 1986; Мирошников, 1971; Успенский, 1971; Егоров, 1972, 1973; Ипатов, 1974б; Прокопьев, 1981, 1983; Бабич, Мочалов, 1982; Бабич, Редько, 1983; Поляков и др., 1986; Редько, Бабич, 1991; и др.)

считают, что лесные культуры имеют существенные преимущества перед естественными насаждениями вследствие их более высокой производительности, более быстрого роста и более высокого качества выращиваемой древесины. Другая группа ученых (Лиюгенький, 1968; Судаков, 1969; Нефедов, Шишкин, 1970; Побединский, 1970, 1986; Дыренков, 1971; Цветков, Гушин, 1975; Данилик и др., 1978; Прудов, Гушин, 1978; Ларин, 1979; Ларин, Паутов, 1984; Лазарев, 1988; Гушин, Брызгалова, 1993; Грязькин, 1998; и др.) считает, что культуры с учетом больших затрат на их производство малоэффективны. Наконец, третья группа ученых (Цветков, 1981, 1985, 1999; Неволин, 1969; Исаева, Луганский, 1972; Попова, 1973; Аткина, Петелина, 2002) считает, что естественные древостои не уступают искусственным и могут даже превосходить их по производительности.

С учетом неоднозначности результатов по сравнительному анализу естественных и искусственных лесных насаждений, а также слабой изученности этой проблемы на Урале С.В. Залесовым с соавторами (2002) исследованы строение, ход роста и сортиментная структура сосняков различного происхождения на территории средней и южной подзон тайги в пределах Свердловской области с использованием 313 пробных площадей в возрасте естественных древостоев 15–150 лет, искусственных – 15–110. Почвы подзолистые (сосняки брусничной и ягодниковый) и дерново-подзолистые (сосняк разнотравный). Исследования показали, что в целом сосновые древостои искусственного происхождения имеют более высокие темпы роста по сравнению с естественными. Произрастая в одинаковых лесорастительных условиях, искусственные сосновые древостои имеют более высокие значения сумм площадей сечений и запасов, чем сосняки естественного происхождения. К возрасту спелости искусственные сосняки подзоны южной тайги Урала имеют на 36 % более высокую производительность по сравнению с сосновыми древостоями естественного происхождения. При значительно меньшей первоначальной густоте искусственных сосняков по сравнению с естественными к 45-летнему возрасту происходит выравнивание этого показателя. Вследствие низкой первоначальной густоты искусственные сосняки в молодом возрасте имеют более быстрый рост по диаметру, нежели сосняки естественного происхождения. Однако в дальнейшем происходит выравнивание этого показателя.

Возраст, в котором наблюдается выравнивание средних диаметров, для исследуемых подзон и типов леса неодинаков. Среди исследуемых типов леса наиболее высокие средние диаметры имеют древостои, произрастающие в разнотравном типе леса, самые низкие – в древостоях брусничного типа леса. Древостои ягодниково-

го типа леса занимают промежуточное положение. Причиной этого является то, что интенсивность естественного изреживания неодинакова в древостоях исследуемых типов леса, т. е. чем выше плодородие почв, тем активнее идет естественное изреживание. Это относится к древостоям как искусственного, так и естественного происхождения. Существенных различий в форме стволов деревьев, произрастающих в естественных и искусственных древостоях, не обнаружено. К 50–85-летнему возрасту у большинства исследованных древостоев, не подвергавшихся рубкам ухода, прирост по сумме площадей сечений и запасу очень сильно замедляется или полностью прекращается.

## Глава 2

### БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР В СВЯЗИ СО СПОСОБАМИ ИХ ВЫРАЩИВАНИЯ

---

Исследования биологической продуктивности культур в связи с различными способами создания и выращивания очень редки. На сегодня нет единого мнения о влиянии различных способов создания и выращивания лесных культур на их биопродуктивность.

Н.А. Бабич (Бабич, Мерзленко, 1998) провел обширные исследования биопродуктивности культур сосны обыкновенной в Архангельской области и установил достоверное влияние на запасы фитомассы в возрасте 37 лет типа леса и таежной подзоны (северной и средней), но между способами создания культур посевом и посадкой существенное различие не выявлено.

Иной результат в том же регионе получен И.В. Евдокимовым (2003). Он выполнил сравнительное исследование биологической продуктивности 72-летних культур сосны обыкновенной в Архангельской области, созданных посевом и посадкой в черничном типе леса. Хотя к 70-летнему возрасту различий культур по высоте в связи со способом их создания не было, надземная фитомасса в культурах, созданных посевом, на 37 % меньше по сравнению с культурами, созданными посадкой. Различие по массе охвоенных побегов составило 43 %, что связано с разной текущей густотой культур.

Влияние способа подготовки почвы на биопродуктивность насаждений при создании культур ели на вырубках таежной зоны (Ленинградская область) исследовано И.А. Марковой и Т.А. Шестаковой (2001). Установлено, что общая фитомасса и доля корней в общей фитомассе культур, созданных по грядам и плужным пластам, существенно выше, чем в культурах, посаженных по целине.

Исследование влияния происхождения семян на биопродуктивность культур сосны, сформированных в средней подзоне тайги Архангельской области, показало, что надземная фитомасса северота-

ежных климатипов на 11 %, а иркутских – на 24 % больше по сравнению с местными климатипами (Евдокимов, 2003).

В условиях пригородной зоны Красноярска наибольшую фитомассу к 30-летнему возрасту в плантационных культурах кедра сибирского с густотой посадки 400 экз/га накопили иркутский, горно-алтайский, хакасский и красноярский климатипы, а наименьшую – читинский. В 15-летних плантационных культурах кедра сибирского с густотой посадки 625 экз/га наибольшей фитомассой характеризуются варианты с использованием семян наибольшей категории крупности и имеющих максимальное количество верхушечных почек (Щерба, 1995; Усольцев, Щерба, 1998).

К.Ж. Аскарлов (1974) исследовал структуру надземной и подземной фитомассы 21-летних культур сосны разной начальной густоты, созданных местами в ленточных борах Прииртышья Л.Н. Грибановым. Установлено, что с уменьшением густоты посадки фитомасса всех надземных фракций и массы корней среднего дерева увеличивается на статистически достоверном уровне, а на 1 га, напротив, снижается.

В опытных культурах сосны разной начальной густоты (в диапазоне от 2,5 до 30 тыс. экз/га) под Киевом определено, что с возрастом (в диапазоне от 13 до 35 лет) превосходство по сумме площадей сечений и наличному запасу древесины постепенно переходит от густых к более редким культурам. Редкие культуры, в отличие от густых, характеризуются высокой устойчивостью к снеголому (Савич и др., 1978).

В опытных культурах сосны разной начальной густоты (в диапазоне от 5 до 40 тыс. экз/га) под Воронежем установлено, что к 9-летнему возрасту с увеличением густоты посадки общие запасы фитомассы повышаются и достигают максимума при 30–40 тыс. экз/га. В культурах 20-летнего возраста наибольшие запасы фитомассы приходятся на густоту 30 тыс. экз/га. В сильно перегущенных культурах (40 тыс. экз/га) запасы фитомассы катастрофически снижаются до значений, более низких по сравнению с самыми редкими культурами. Сделан вывод, что каждому возрасту насаждения соответствует своя оптимальная для данных условий текущая густота. В изученных условиях нецелесообразно создавать как густые (40 тыс. экз/га), так и редкие (5 тыс. экз/га) культуры (Рубцов, Рубцов, 1975; Рубцов и др., 1976).

При исследовании биологической продуктивности культур ели в зоне смешанных лесов (Московская область) в связи с густотой посадки М.Д. Мерзленко установил, что в I классе возраста наибольшую фитомассу обеспечивает наибольшая густота посадки,

т. е. 21 тыс. экз/га по сравнению с густотами 10 и 5 тыс. экз/га, а во II классе возраста наибольшая фитомасса накоплена при наименьшей густоте посадки, а именно 3 тыс. экз/га по сравнению с густотами 5 и 9 тыс. экз/га (Мерзленко, Шестакова, 1992; Бабич, Мерзленко, 1998).

В целом, в вопросе влияния способов выращивания лесных культур на их биопродуктивность очень много неясного, и необходима лесотипологическая и региональная оптимизация как густоты посадки разных пород, так и способов агротехнических уходов и формирования культур.

## Глава 3

## МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КУЛЬТУР ЕЛИ

Пробные площади на опытных участках закладывались с учетом теоретических положений лесной таксации согласно ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые». На пробных площадях выполняли сплошной пересчет деревьев, диаметры которых измеряли в двух направлениях с точностью до 1 мм, а также поперечник кроны вдоль ряда посадки и поперек него. После пересчета при помощи рейки измеряли высоты у 15–20 растущих деревьев. Деревья отбирались механическим путем. По этим данным строили графики высот деревьев в зависимости от диаметров, которые использовались для определения средней высоты древостоя.

В целях определения фитомассы деревьев и древостоев взяты модельные деревья. Систематическая выборка их формируется в соответствии с рядом распределения деревьев по диаметру. Модельные деревья брали в августе после полного формирования хвои. После рубки измеряли длину дерева, протяженность бессучковой части, диаметр ствола у основания кроны.

Модельные деревья взяты в количестве 6 шт. на каждой пробе, по 2 модели от каждой из трех градаций толщины стволов в пределах ее варьирования. После обрубки крону делили на три равные секции вдоль по стволу и каждую секцию взвешивали с точностью 50 г на весах грузоподъемностью 10–20 кг. Для определения массы хвои, в том числе хвои текущего года, и скелета кроны модельная часть кроны, образованная из средних по размеру ветвей, взятых из середины каждой секции, взвешивалась с точностью до 5 г. Затем ошипывали всю хвою, выделяя хвою текущего года, и повторно взвешивали оставшийся скелет ветви. По соотношениям масс хвои текущего года, всей хвои и скелета кроны в каждой секции рассчитывали годичный прирост массы хвои, массу хвои и скелета всего дере-

ва. От каждой секции брали навески для определения содержания сухого вещества в хвое и скелете кроны.

Фитомассу стволов определяли непосредственным взвешиванием на весах. Стволы после спиливания расчленили на 50-сантиметровые отрубки, которые затем взвешивали в сыром состоянии с точностью 50 г. С торцов этих отрубков выпиливали диски шириной 3 см для определения содержания коры и абсолютно сухого вещества в древесине и коре. Диски взвешивали с точностью до 0,1 г, затем в лабораторных условиях сушили в термостатах при температуре 100...105 °С до постоянной массы. По результатам взвешивания древесины и коры дисков до сушки и после нее определяли содержание абсолютно сухого вещества в них и в целом стволе. Хвою сушили до абсолютно сухого состояния в алюминиевых бьюксах при температуре 63 °С.

Прирост древесины ствола рассчитан путем его «расчехления» по отрезкам и определения объемного прироста, среднего за последние 5 лет, с последующим пересчетом на абсолютно сухое состояние по базисной плотности по дискам. Прирост коры рассчитан по приросту древесины и соотношению массы древесины и коры ствола.

Для определения годичного прироста скелета кроны (ветвей) в литературе предложено несколько методов, разных по сложности и точности. В наших работах (Усольцев и др., 2004; Усольцев, 2007) выполнен специальный сравнительный анализ методов А.И. Уткина (1975), Р. Уиттекера (Whittaker, 1962) и А.И. Русаленко и Е.Г. Петрова (1975). Установлено, что наиболее трудоемкий метод А.И. Уткина и наименее трудоемкий А.И. Русаленко и Е.Г. Петрова дают одни и те же значения годичного прироста массы скелета ветвей. Поэтому в нашем исследовании годичный прирост массы ветвей определен последним методом путем деления удвоенной массы ветвей на возраст кроны, измеренный по годичным кольцам у ее основания. Это согласуется с известным фактом (Уткин, 1975), что средняя по массе мутовка у сосен приходится на середину кроны.

Масса корней отмыта и взвешена по комплексному методу А.Ф. Чмыра (1984) у одной модели от каждой из упомянутых трех градаций по диаметру ствола. Первый этап заключался в осторожном обнажении корневого системы у ствола радиусом от 30 до 100 см (в зависимости от величины дерева) на глубину 10–15 см в целях определения количества крупных скелетных корней, их диаметра и характера распространения в горизонтальной проекции. После определения среднего диаметра скелетных корней выбирали 2–3 корни, разделяющих своим направлением окружность проекции кроны

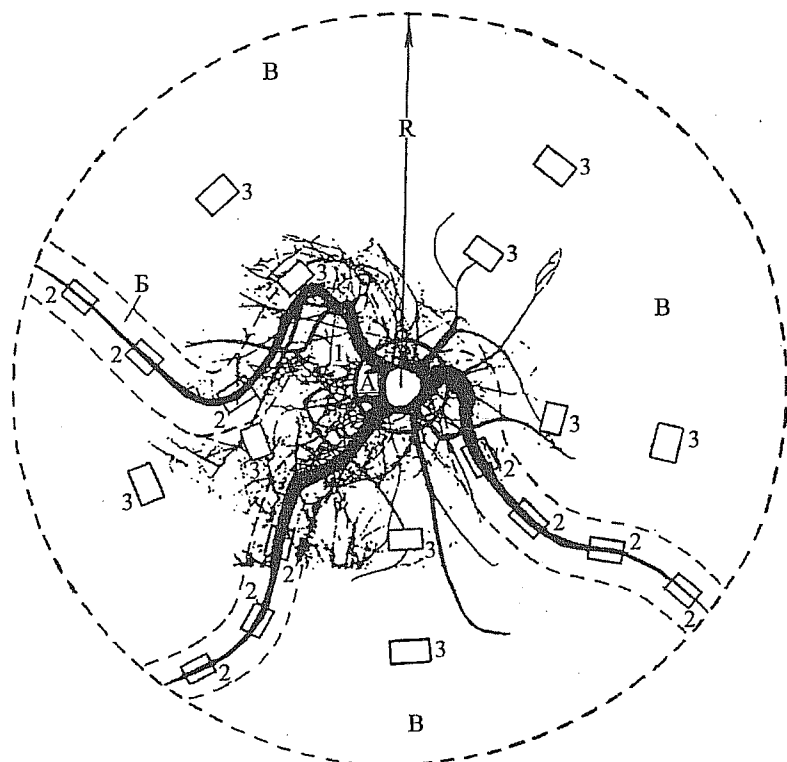


Рис. 3.1. Схема расположения монолитов, отбираемых по комплексному методу А.Ф. Чмыра (1984):

1, 2 и 3 – соответственно седлающий, профильные и вольные монолиты; R – радиус зоны распространения корневой системы; показаны зоны взятия монолитов седлающего (А), профильных (Б) и вольных (В)

на примерно равновеликие секторы. Затем вскрытием почвы по ходу этих корней через 15–20 см устанавливали их протяженность. Среднюю протяженность корней, формирующих скелет, принимали за радиус зоны распространения корневой системы модели, по которому вычисляли площадь поверхности почвы, занятой корнями (рис. 3.1). После приступали к закладке монолитов почвы объемом 5 дм<sup>3</sup> (50×10×10 см) по ходу выбранных скелетных корней. Первый монолит закладывали на границе окружности вскрытой корневой системы, последний – за границей зоны распространения исследуемого корня. Вынутые почвенные монолиты с помощью лопаты укладывали на плотную бумагу или полиэтиленовую пленку. Почву

осторожно просеивали через три сита с диаметром ячеек 2; 1 и 0,5 мм, после чего выбирали все мелкие корешки, пропущенные при первоначальной выборке.

При высокой влажности почвы процесс выборки корней из почвенных монолитов приходилось производить в водяной ванне. Выбрав крупные корневые мочки и отдельные корни руками, почву накладывали в верхнее сито с диаметром ячеек 2 мм. Блок сит из трех секций (с размером ячеек 2; 1 и 0,5 мм) опускали в ванну с водой, где встряхиванием и помешиванием почвы производили отмывку корней. Затем их выбирали пинцетом из всех трех секций и укладывали в мешки. Взяв верхний 10-сантиметровый слой почвы по ходу корней, закладывали монолиты в тех же местах с уровня 10–20 см до глубины распространения корней исследуемой модели. После закладки профильных монолитов по ходу скелетных корней приступали к закладке так называемых «вольных» монолитов по концентричным кругам в зоне распространения корневой системы на равном расстоянии один от другого. Закладку вольных монолитов производили до горизонта проникновения корней модельного дерева.

Завершающим этапом была выкопка модели, или закладка так называемого «седлающего» монолита. Размер седлающего монолита равен площади круга первоначально обнаженной корневой системы вокруг ствола радиусом 30–100 см с глубиной закладки на 10 см больше установленного предела распространения корней исследуемой модели. Надземная часть модели отрезалась для последующего детального изучения, а пень с корневыми лапами зарисовывался.

В лаборатории корни помещали на 30 мин в водяную ванну, затем осторожно отмывали от почвенных частиц. При этом повторно уточняли породный состав корней, описывали морфологическое строение, а также определяли балл микоризности.

При камеральной обработке данных определяли насыщенность 1 дм<sup>3</sup> почвы корнями изучаемой древесной породы и пород-конкурентов по каждой из зон взятия монолитов: 1) зоны скелетных корней; 2) зоны между скелетными корнями; 3) зоны седлающего монолита. Определив насыщенность почвы корнями по каждой из зон, устанавливали процентное соотношение их в общей площади корнеобитания данной модели. Зная общее количество скелетных корней, среднюю площадь профиля по ходу исследуемых 2–3 корней умножали на их число и получали площадь преимущественного обитания скелетной части корневой системы. Определив корненасыщенность по зонам и с учетом их площади, рассчитывали средневзвешенное количество корней в 1 дм<sup>3</sup> почвы по зоне корнеобитания модельного дерева в целом.

У молодых (9-летних) деревьев масса корней определена по методическим указаниям И.Н. Рахтеенко (1963) и В.А. Колесникова (1972), а объем надземной и подземной части деревьев – методом ксилометрирования.

Расчет фитомассы на 1 га ( $P_i$ , т/га) выполнен по соотношению площадей сечений:  $P_i = (\sum p_i / \sum g_i)G$ , где  $G$  – сумма площадей сечений древостоя на пробной площади, м<sup>2</sup>/га;  $\sum p_i$  и  $\sum g_i$  – соответственно суммарная масса  $i$ -й фракции и суммарная площадь сечений всех моделей на пробе. Метод по точности не уступает регрессионному (Madgwick, 1982).

Математико-статистическая обработка материалов производилась на персональных компьютерах IBM PC по программам STATGRAPHICS и EXCEL для среды MS Windows.

#### Глава 4

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

---

Район исследований (Свердловская область) характеризуется специфичными природными условиями. Климат здесь формируется под воздействием воздушных масс трех типов: атлантических влажных и прохладных, приходящих с запада; холодных и умеренно влажных полярных (арктических), распространяющихся вдоль Уральского хребта с Северного Ледовитого океана; теплых и сухих континентальных, проникающих со стороны равнин Казахстана. Значительная роль принадлежит также циклонам, подходящим к Уралу преимущественно с запада и юго-запада. На климатический режим Свердловской области решающее влияние оказывает барьерная роль Уральского хребта, отчасти Уфимского плато и Сылвенского кряжа. Их западные склоны задерживают продвигающиеся на восток влажные воздушные массы атлантического происхождения и циклонов, которые отдают им значительную часть переносимой влаги, заметно повышая общую увлажненность предуральской части области и горной полосы самого Урала. При этом, по-видимому, часть такой влаги задерживается в форме росы, изморози, «кухты» и т. п., оседающих на кронах деревьев в густых горных лесах (Колесников и др., 1973).

Территория исследований (Билимбаевский и Шамарский лесхозы) в пределах горной полосы Среднего Урала, согласно ландшафтно-географическому районированию (Берг, 1947; Иванов, 1948), относится к холодной достаточно влажной зоне. По климатическому районированию Б.П. Алисова (1947), она входит в атлантико-континентальную лесную область умеренного пояса.

Специфичность и значительная неоднородность климата горной полосы Среднего Урала во многом определяются барьерным положением горного поднятия. Водораздел и западные склоны возвышенности, несмотря на небольшие абсолютные высоты, принимают на себя воздействие западных атлантических масс, преобладающих здесь в циркуляции нижних слоев атмосферы, что сближает их по климатическим показателям с восточно-европейской частью России.



Восточные же предгорья Урала в климатическом отношении более сходны с Сибирью.

#### 4.1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ БИЛИМБАЕВСКОГО ЛЕСХОЗА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Билимбаевский опытно-показательный лесхоз Агентства лесного хозяйства по Свердловской области расположен на территории, подчиненной в административном отношении г. Первоуральску в 50 км к северо-западу от Екатеринбургa. Размеры территории лесхоза – с севера на юг 65 км и с востока на запад 50 км. В составе лесхоза 7 лесничеств, краткие сведения о которых приведены в табл. 4.1.

*Лесорастительная зона и климат.* По лесорастительному районированию Б.П. Колесникова (Колесников и др., 1973), территория лесхоза отнесена к подзоне южно-таежных лесов, приурочена к Среднеуральской горной провинции, однако западная часть входит в пределы Предуральской горной провинции, а юго-западные рубежи лесного массива лесхоза граничат с подзоной широколиственных лесов. По лесохозяйственному районированию Свердловской области, территория лесхоза входит в зону защитного (лесохозяйственно) направления и использования лесного фонда.

На территории Билимбаевского лесхоза климат континентальный, умеренно холодный, влажный (Смолоногов и др., 1986). Располагаясь в основном в низкогорьях на водоразделе Уральского хребта и

Таблица 4.1

Административно-хозяйственная структура лесхоза

№ п.п.	Лесничество	Площадь			Местонахождение контор лесничеств	Расстояние, км	
		га	% к общей	В т. ч. долгосрочного пользования		до конторы лесхоза	до ж.-д. станции
1	Крутихинское	21109	17	–	п. Прогресс	39	2
2	Починковское	10629	8	–	д. Починок	23	1
3	Кузинское	20038	16	–	р.п. Кузино	39	2
4	Билимбаевское	20446	16	177	р.п. Билимбай	12	3
5	Первоуральское	13870	11	4	г. Первоуральск	–	3
6	Новоуткинское	19344	15	609	р.п. Новоуткинск	34	1,5
7	Подволошинское	21626	17	35	ст. Подволошная	1	1

Таблица 4.2

Основные климатические показатели по данным метеостанции Кузино

Месяц	Температура, °С			Кол-во осадков, мм	Высота снега, см	Относительная влажность, %	Преобладающие ветры	
	Среднее многолетнее	Абсолютная					Направление	Скорость, м/с
		Максимум	Минимум					
Январь	–16,2	+15	–46	23	35	79	ЮЗ	2,7
Февраль	–14,5	+8	–46	19	41	76	ЮЗ	3,0
Март	–8,1	+18	–44	22	40	72	ЮЗ	3,3
Апрель	+1,8	+26	–26	25	14	66	ЮЗ	3,0
Май	+9,2	+33	–16	47	–	60	З	3,2
Июнь	+14,4	+34	–4	68	–	64	З	2,9
Июль	+16,2	+37	–2	84	–	71	З	2,4
Август	+14,1	+34	–4	74	–	75	З	2,2
Сентябрь	+8,2	+29	–11	44	–	79	ЮЗ	2,8
Октябрь	+0,5	+23	–23	38	4	81	ЮЗ	3,5
Ноябрь	–7,9	+13	–43	36	13	81	ЮЗ	3,2
Декабрь	–14,2	+5	–46	33	26	81	ЮЗ	2,9

наветренном его западном склоне, территория находится под сильным влиянием воздушных масс, приходящих с Русской равнины, что является причиной неустойчивой погоды. Наиболее полно в климатическом отношении территория лесхоза может быть охарактеризована данными метеостанции Кузино, имеющей ряд наблюдений с 1891 г. Средние многолетние показатели (месячные и годовые) по этой станции приведены в табл. 4.2. Продолжительность вегетационного периода, по средним многолетним данным, составляет 156 дней, с 29 апреля по 19 сентября. Средняя продолжительность вегетационного периода 109 дней, с 20 мая по 7 сентября. Периоды со средней температурой воздуха от 0 до +10 °С весной и от +10 до 0 °С осенью продолжаются соответственно 41 день (с 9 апреля по 20 мая) и 30 дней (с 7 сентября по 7 октября). По средним многолетним данным, господствуют ветры западных направлений. Повторяемость составляет 62 % с колебаниями по отдельным месяцам 52–72%. Средняя скорость ветра 3,5 м/с, минимальная – 2,2 м/с. Наибольшая скорость в течение дня в дневное время, наименьшая – в утренние и вечерние часы. Устойчивый снежный покров образуется с 1 ноября, разрушается 11 апреля. В отдельные годы снежный покров может

Таблица 4.3

Климатические показатели по данным метеостанций в пределах территории лесхоза

Станция	Высота над уровнем моря	Среднее количество осадков, мм		
		Годовое	За теплый период	За холодный период
Кузино	333	513	380	113
Билимбай	330	542	407	135
Первоуральск	300	536	328	108

появляться уже 18 сентября и сохраняться до 8 июня. Наибольшая высота снежного покрова 85 см.

Поздние весенние заморозки могут быть до 8 июня, ранние осенние – с 9 августа. Свободны от заморозков часть июня, июль и начало августа. Глубина промерзания почвы составляет 36–109 см, достигая в отдельных районах 146 см. Продолжительность безморозного периода 94 дня.

В западной и центральной частях территории (р.п. Кузино, Билимбай) среднегодовая сумма осадков превышает 500 мм, в то время как в восточной части она меньше почти на 100 мм (табл. 4.3). Это существенно влияет на особенности лесообразовательного процесса, породную структуру лесов, пожароопасность территории. По данным всех метеостанций 70–80 % годового количества осадков приходится на теплый период года.

К неблагоприятным факторам климата, отрицательно влияющим на рост и развитие древесной растительности, относятся в первую очередь поздние весенние и ранние осенние заморозки, побивающие молодые всходы и побеги и почти ежегодно вызывающие выжимание саженцев и всходов на пониженных участках рельефа с тяжелыми глинистыми почвами, короткий вегетационный период (менее 4 месяцев) с малым количеством ясных и сухих дней.

Характерными особенностями климата, наряду с его континентальностью, являются продолжительная зима (около 6 месяцев) и возможные заморозки в течение всего лета. Летние месяцы отличаются неустойчивой погодой, но это самый благоприятный период для роста и развития древесной и травяной растительности. К благоприятным климатическим факторам следует отнести достаточное количество тепла, поступающего к растениям и в почву.

В целом, климат территории благоприятен для успешного произрастания сосны, лиственницы, ели, пихты, берёзы, осины. Это подтверждает наличие на значительных площадях насаждений I–II клас-

сов бонитета, которые занимают 74 694 га, что составляет 55 % общей площади лесхоза, или 64 % покрытой лесом площади.

Увлажненность территории достаточная (преобладают свежие почвы), лишь в поймах при близком залегании грунтовых вод, межхребтовых депрессиях избыточна. Общая дренированность территории хорошая, о чем говорит малое распространение болот, занимающих 0,1 % площади лесхоза.

*Рельеф и почвы.* Согласно схеме геоморфологического районирования, территория Билимбаевского лесхоза восточной частью входит в состав осевой зоны Среднего Урала со среднегорным рельефом, западная – в зону Западного Урала с увалохолмистым рельефом (Смолоногов и др., 1986). Для Западного Урала характерны три яруса. Самый низкий заходит в пределы осевой зоны по долинам рек и является поверхностью выравнивания, сформировавшейся во время пойменной стадии развития пойменных террас рек. Над уровнем этого яруса возвышается Кирилианский Увал, сложенный устойчивыми осадочными породами.

Между Кирилианским Увалом и основным хребтом меридионально с севера на юг лесхоз пересекает депрессия шириной 18–20 м. Это наиболее пониженная территория лесхоза, которая к востоку переходит к относительно выровненному собственно Уральскому хребту. Водораздельные пространства представлены покрытыми лесами возвышенностями с довольно пологими склонами, чередующимися с долинами рек. Преобладающая крутизна склонов не превышает 5–10°. Лишь на отдельных участках по берегам рек Чусовой и Шишима встречаются склоны крутизной до 25°, скальные обнажения.

Наиболее значительные возвышенности на территории лесхоза – горы Лысая, Белая, Теплая, Дикая Сопка и др., абсолютные отметки которых достигают 450–470 м над уровнем моря. Абсолютная отметка водной поверхности 300 м. Несмотря на значительные относительные высоты и сглаженный рельеф, лесной фонд отнесен к категории горных лесов, что обусловлено наличием на территории склонов большой протяженности, приводящих к значительному увеличению скорости стока выпадающих осадков.

Почвенные условия лесхоза довольно разнообразны (Фирсова и др., 1986). Исходя из общности и физических свойств и однотипности требуемых мероприятий по повышению плодородия почв лесхоза, их можно разделить на пять групп.

В первую группу входят темно-серые среднеподзолненные, темно-серые глееватые почвы. По механическому составу это суглинистые почвы. Формируются под пологом ельников и сосняков ягодниковых, травяных, крупнопоротниковых, разнотравно-зеленомош-

ных. Это наиболее плодородные почвы лесхоза. Они достаточно обеспечены влагой, имеют профиль большой мощности, обладают большим запасом почвенных элементов: содержание гумуса 12,7 %, N – 0,7 %, Ca+Mg – 26,7 мг-экв. на 100 г почвы. Почвы сильнокислые, плохо обеспечены K и P.

Во вторую группу объединены серые лесные, средне- и сильнооподзоленные, серые сильнооподзоленные глееватые. По механическому составу почвы среднесуглинистые. На них растут ельники, сосняки ягодниковые, травяные, кисличники, приручьевые. Почвы обладают достаточным увлажнением, глеевые – избыточным увлажнением. Имеют мощный почвенный профиль, запас питательных веществ: гумуса – 8,7 %, Ca+Mg – 19,2 мг-экв. на 100 г почвы, N – 0,5 %, почвы сильнокислые, плохо обеспечены K, P, N.

В третью группу включены горно-лесные бурые маломощные (ненасыщенные), горно-лесные бурые типичные, горно-лесные бурые подзолистые. На этих почвах формируются сосняки ягодниковые, травяно-липняковые, травяные, нагорные, ягодниково-липняковые. По механическому составу – средне- и тяжелосуглинистые, иногда легкосуглинистые. Эти почвы отличаются дефицитом влаги, укороченным профилем, значительным запасом питательных веществ: гумуса – 11,3 %, Ca+Mg – 19,2 мг-экв. на 100 г почвы, N – 0,5 %. Почвы сильнокислые, содержание P – 1,2 мг, K (в среднем) – 12,1 мг.

В четвертую группу входят дерново-луговые, глеевые, пойменные зернисто-глеевые. Формируются они в пониженных элементах рельефа, заняты в большинстве сенокосами и коренными типами леса – ельниками хвощовыми, высокотравными. Это почвы кислые с избыточным увлажнением, большим запасом гумуса – 7,5 %, хорошо обеспечены калием.

В пятой группе представлены почвы торфянистые и торфяноболотные. Почвы имеют водоохранное значение.

Таким образом, основная часть почв пригодна для выращивания высокопроизводительных сосновых и еловых насаждений.

*Гидрография и гидрологические условия.* Район расположения лесхоза характеризуется довольно развитой гидрографической сетью, основная река Чусовая с ее притоками, которая относится к Волжско-Камскому бассейну. Ее особенность состоит в том, что она берет начало на восточном склоне хребта, затем пересекает весь хребет и впадает в Каму в западной части Уральского хребта. Для рек бассейна Чусовой характерны летние паводки, однако преобладает весенний сток (60 % годового). Выполнение лесом водоохранно-защитных свойств зависит от характера размещения леса на водосборной площади. Густо развитая гидрографическая сеть обес-

печивает хороший дренаж почв, и заболоченность территории незначительная.

Территория лесхоза при достаточно высокой общей лесистости отличается и благоприятным расположением лесов по водосбору. Леса распределены достаточно равномерно. Незначительная эрозия наблюдается на отдельных лесосеках летней рубки при расположении трелёвочных волоков и временных лесовозных дорог вдоль склонов, если почва в период работ находится в переувлажненном состоянии. Смена условно коренных типов леса производными, приводящая часто к резкому преобладанию лиственных пород, сопровождается в большинстве случаев некоторым снижением водопроницаемости, а следовательно, водоохранно-регулирующих свойств почв.

#### 4.2. ХАРАКТЕРИСТИКА И СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОГО ФОНДА БИЛИМБАЕВСКОГО ЛЕСХОЗА

На территории Билимбаевского лесхоза преобладают коренные формации темнохвойных и темнохвойно-сосновых лесов (Зубарева, 1986).

Лесной фонд лесхоза представлен лесами I и II групп различных категорий как защитного, так и эксплуатационного назначения. К первой группе относятся лесопарковые леса зеленой зоны вокруг населенных пунктов, защитные полосы вдоль железных и автомобильных дорог, запретные полосы вдоль рек; ко второй группе – эксплуатационные леса.

Распределение общей площади на группы и категории лесов показывает (табл. 4.4), что вторая группа лесов занимает 47,9 %, а первая – 52,1 % от общей площади лесхоза.

Основные показатели лесного фонда характеризуются данными табл. 4.5 и 4.6, из которых видно, что преобладает хвойная группа пород, занимающих 56 % покрытых лесом земель. Лесной фонд в целом по группам возраста представлен равномерно, за исключением приспевающих насаждений, которые занимают 12 % покрытой лесом площади. Площадь спелых насаждений составляет 31 %, из них хозяйственно ценные занимают 64 %. Лесная площадь, пригодная для лесовыращивания, составляет 91 %. Нелесные земли занимают 8 % от общей площади лесхоза, а площадь болот составляет 43,3 га.

Не покрытые лесом площади (1646,7 га) составляют 1,3 % от общей площади и представлены в основном лесосеками последних двух лет – 1450,1 га, что составляет 88 % от площади непокрытых.

Таблица 4.4

Группы и категории лесов Билимбаевского лесхоза (Проект..., 2000)

Категория леса	Площадь по группам лесов, га		Итого	% от общей площади
	I	II		
Лесопарковые леса зеленых зон	58764	—	58764	46
Защитные полосы вдоль дорог	3490	—	3490	3
Запретные нерестовые полосы	2380	—	2380	2
Запретные полосы вдоль рек	1595	—	1595	1
Леса промышленного потребления	—	23415	23415	18
Леса местного потребления	—	37418	37418	30
Всего по лесхозу	66229	60833	127062	100
Процент от общей площади	52,1	47,9	100	—

В лесхозе преобладают насаждения сосны – 35966,9, березы – 36094,8, ели – 20643,5 га, которые занимают соответственно 32,3; 32,5; 18,6 % покрытой лесом площади.

Средний класс бонитета по лесхозу довольно высокий – II,3. На территории лесхоза преобладают среднеполнотные насаждения: средняя общая полнота по лесхозу 0,7. Данные распределения насаждений по полнотам и бонитетам показывают, что наиболее производительны сосняки.

Распределение насаждений по классам возраста в целом равномерное. Лишь с IV класса возраста отмечается резкое снижение площади насаждений, что объясняется началом их изреживания и поступления в рубку. Средний возраст насаждений составляет 67 лет, наибольший средний возраст насаждений у лиственницы 109 лет.

Средний запас насаждений 201 м<sup>3</sup>/га, наиболее высокий в сосновых насаждениях – 252 м<sup>3</sup>/га. Средний прирост на 1 га по лесхозу составляет 3,2 м<sup>3</sup> и превышает средний по области на 0,5 м<sup>3</sup>.

*Типы условий местопроизрастания и типы леса.* Значительные площади занимают хвойные леса. Основная площадь сосновых типов леса представлена сосняками-ельниками травяными (С–Етр) и сосняками-ельниками ягодниковыми (С–Еяг), которые занимают 21,5 и 12,2 % площади соответственно. Из еловых типов преобладает ельник травяно-липняковый (Етрл) на 14,7 % площади. Рубки и пожары способствуют формированию чистых сосняков и елово-березовых насаждений, под пологом которых формируется удовлетворительный подрост или второй ярус из темнохвойных пород. Из последних в лесхозе распространены ель и пихта, по запасу представ-

Таблица 4.5

Распределение покрытой лесом площади по преобладающим породам и классам бонитета, га

Преобладающий порода	Класс бонитета						Итого	%	Средний класс бонитета	
	Ia	I	II	III	IV	V				Va
Сосна %	746,8	13089,2	18031	399,2	84,3	12,9	10,0	35966,9	32,3	I,8
Ель %	2,1	36,4	50,1	11,1	0,2	—	—	100	18,6	II,7
Пихта %	2,3	243	5672,5	13617,9	983,4	120,3	6,4	20645,8	4,7	II,8
Лиственница %	—	1,2	27,8	65,9	4,8	—	—	100	0,4	V,0
Клен %	—	9,6	1120,7	3915,5	126,5	—	—	5172,3	—	—
Ива %	—	0,2	21,7	75,7	2,5	—	—	100	—	—
Береза %	4,8	169,4	170	54,6	—	—	—	398,8	—	—
Осина %	1,2	42,5	42,6	13,7	—	—	—	100	—	—
Ольха %	—	—	—	—	—	4,7	—	4,7	—	—
Липа %	—	—	—	—	—	100	—	100	—	—
Тополь %	—	—	—	—	3,3	—	—	3,3	—	—
Итого %	6,2	2335,9	25625,7	7596,4	490,4	39,1	1,1	36094,8	32,5	II,3
	—	6,5	71	21	1,4	0,1	—	100	10,5	I,3
	475,4	9203,2	1959,6	39,1	—	—	—	11639,1	1,1	IV,3
	4,1	79,1	16,8	0,3	—	—	—	100	—	—
	—	—	—	41,0	690,5	470,7	15,0	1217,2	—	—
	—	—	—	3,4	56,7	38,7	1,2	100	—	—
	—	—	4,6	42,6	—	—	—	47,2	—	—
	—	—	9,7	90,3	—	—	—	100	—	—
	5,3	2,5	9,7	17,0	—	—	—	34,5	—	—
	15,4	7,2	28,1	49,3	—	—	—	100	—	—
Итого	763,1	16325	59827,7	31220,3	2379,3	647,7	32,5	111195,6	100	II,3
%	0,7	14,7	53,8	28,1	2,1	0,6	—	100	—	—

Таблица 4.6  
Распределение покрытой лесом площади по преобладающим породам и полнотам, га

Преобладающий порода	Класс полноты										Итого	Средняя полнота
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0				
Сосна	60	634,1	2425,1	6892,2	11217,4	8451,8	370,5	2580,6	3596,69	0,69		
%	0,2	1,7	6,7	19,2	31,2	23,5	10,3	7,2	100			
Ель	20,3	888,3	1859,1	4752,2	7521,3	4163,3	745,6	793,3	20643,5	0,65		
%	0,1	4,3	9	23	36,4	20,2	3,6	3,4	100			
Пихта	2,1	204,2	380,6	845,1	2113,8	1225,2	324,6	76,7	5172,3	0,65		
%	—	3,9	7,4	16,3	40,9	23,7	60,3	1,5	100			
Лиственница	11,1	47,8	60	110	98,4	24,8	44,3	2,4	398,8	0,61		
%	2,8	12	15	27,6	24,7	6,2	11,1	0,6	100			
Клен	—	—	—	—	—	—	4,7	—	4,7	0,90		
%	—	—	—	—	—	—	100	—	100			
Ива	—	3,3	—	—	—	—	—	—	3,3	0,40		
%	—	100	—	—	—	—	—	—	100			
Береза	34,6	497,8	1036,3	3277,6	8454,7	9931,5	4784,8	4977,5	36094,8	0,72		
Осина	35,8	122,7	258,4	666,0	2058,1	3214,6	2392,1	2891,4	11639,1	0,79		
%	0,3	1,1	2,2	5,7	17,7	27,6	20,6	24,8	100			
Ольха	55,8	629,7	349,4	123,6	57,0	—	1,7	—	1217,2	0,50		
%	4,6	51,7	28,7	10,2	4,7	—	0,1	—	100			
Липа	—	0,5	0,7	16,8	15,3	8,3	4,6	1,0	42,2	0,73		
%	—	1,1	1,5	35,6	32,4	17,6	9,7	2,1	100			
Тополь	—	—	—	—	—	1,8	—	6,0	7,8	0,95		
%	—	—	—	—	—	23,1	—	76,9	100			
Итого	219,7	3028,4	6770,3	16683,5	31536,0	27021,4	14707,4	11228,9	111195,6	0,70		
%	0,2	2,7	6,1	15	28,4	24,3	13,2	10,1	100			

ленные примерно поровну. Явное превосходство ели в темнохвойных древостоях имеет место на влажных местоположениях и тяжелых по механическому составу почвах.

После рубок основным лесообразователем является береза, возобновляющаяся почти во всех типах леса. Площадь березняков превышает 32 %. Осина занимает 10,5 % площади, ольха – 1,1 %. Возобновление хвойными породами происходит с преобладанием ели (53 %), пихты (39 %) и сосны (3 %).

#### 4.3. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ШАМАРСКОГО ЛЕСХОЗА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Шамарский лесхоз Агентства лесного хозяйства по Свердловской области расположен на западе области в западной части Шалинского административного района. Удаленность лесхоза от районного центра составляет 40 км, от областного – 185 км. Территория лесхоза представляет собой сплошной массив леса, вытянутый в долготном направлении. Общая площадь лесхоза, по данным лесоустройства (Проект..., 2001), составляет 195 352 га и в административно-хозяйственном отношении разделена на пять лесничеств (табл. 4.7).

*Лесорастительная зона и климат.* По лесорастительному районированию Б.П. Колесникова (Колесников и др., 1973), большая часть территории Шамарского лесхоза входит в северную часть подзоны широколиственно-хвойных лесов Предуральной предгорной провинции Восточно-Европейской равнинной лесной области. Климат на территории определяется как умеренно-континентальный и в значительной мере отличается по климатическим показателям от Билимбаевского лесхоза в силу того, что территория лесхоза защищена с

Таблица 4.7

#### Административно-хозяйственная структура Шамарского лесхоза

Лесничество	Общая площадь, га	Местонахождение конторы лесничеств	Расстояние, км	
			До райцентра	До конторы лесхоза
Урминское	32812	с. Урми	83	43
Вогульское	37713	ст. Вогулка	20	20
Шутемское	35619	рзд. Шутем	51	11
Шамарское	46822	п. Шамары	40	—
Шалинское	43386	п.г.т. Шаля	—	40

Таблица 4.8  
Ежемесячные климатические данные по многолетним наблюдениям  
(Шамарская метеостанция)

Месяц	Температура, °С			Кол-во осадков, мм	Высота снежного покрова, см	Относительная влажность, %	Преобладающие ветры	
	Средняя	Абсолютная					Направление	Скорость, м/с
		Максимальная	Минимальная					
I	-13,7	-0,5	-35,8	53,3	48,8	90	ЮЗ	2,3
II	-12,6	+0,2	-35,7	28,3	63,1	85	ЮЗ	2,6
III	-8,2	+6,3	-29,0	31,6	63,2	80	ЮЗ	2,7
IV	+3,3	+19,1	-14,9	18,6	16,2	69	ЮЗ	2,5
V	+11,0	+26,1	-2,9	41,6	-	62	ЮЗ	2,6
VI	+14,9	+30,6	-0,6	53,7	-	68	ЮЗ	2,3
VII	+18,1	+31,4	+4,4	57,5	-	76	ЮЗ	1,9
VIII	+14,5	+28,2	+2,2	68,0	-	79	ЮЗ	1,7
IX	+7,2	+22,8	-4,3	91,4	-	77	ЮЗ	2,3
X	+1,8	+14,7	-10,2	61,8	4,0	84	ЮЗ	2,5
XI	-4,9	+5,5	-25,4	49,7	20,3	89	ЮЗ	2,8
XII	-13,1	0	-35,8	59,7	26,8	84	ЮЗ	2,4
За год	+2,9	+31,4	-35,8	625,2	20,2	79	ЮЗ	2,4

востока Уральским горным хребтом от неблагоприятных континентальных климатических колебаний Западной Сибири.

По многолетним данным метеорологической станции, расположенной в пос. Шамары на высоте 243,6 м над уровнем моря, преобладают ветры юго-западного и западного направлений (табл. 4.8), крайне редко – юго-восточные и северные, наибольшей скорости (2,5–2,8 м/с) ветры достигают в октябре – мае, наименьшей – в летний период. Средняя годовая температура составляет +2,9 °С, средняя температура самого холодного месяца (январь) –13,7 °С, самого теплого (июль) +18,1 °С.

Годовое колебание минимальной и максимальной абсолютной температуры достигает 67,2 °С (от –35,8 °С в январе до 31,4 °С в июле). Вегетационный период (число дней в году с температурой выше +5 °С) равен 153 дням и продолжается с мая по сентябрь.

Среднегодовое количество осадков составляет 625,2 мм, причем преобладают осадки в 5-месячный вегетационный период (50 % от годового количества). Число дней с осадками в год в среднем 173, которые распределяются по месяцам неравномерно – от 12

до 18 дней. Высота снегового покрова достигает 68 см в феврале-марте; появляется он во второй декаде октября, а исчезает в третьей декаде апреля. Устойчивость снегового покрова сохраняется в среднем 169 суток.

Относительная влажность воздуха в вегетационный период колеблется в пределах от 61 до 77 %: в мае – 61, июне – 64, июле – 70, августе – 74 и сентябре – 77 %.

Из неблагоприятных погодных явлений на территории Шамарского лесхоза отмечаются довольно часто поздневесенние и раннеосенние заморозки, которые повреждают молодые и недревесневшие побеги ели, пихты, лиственницы и кедра. Кроме заморозков, имеют место засухи (кратковременные и длительного характера), сильные ливни, обильные снегопады и ожеледи, а также сильные ветры, вызывающие катастрофические явления – ветровалы на огромных площадях.

Расчлененность поверхности горной полосы Среднего Урала и связанные с этим постоянные конвекционные потоки воздуха создают повышенную грозовую деятельность и способствуют увеличению облачности, являющейся существенной особенностью климата Шамарского лесхоза.

**Рельеф.** Лесной фонд лесхоза с 1956 г. отнесен к горным лесам Урала. Предуралье Среднего Урала представляет собой переходную территорию от Русской равнины к Уральскому горному хребту. Рельеф, образовавшийся в результате разрушения складчатых Уральских гор атмосферными, речными и ледниковыми водами, имеет увалисто-холмистый характер.

Наиболее ровным рельефом отличается северная часть лесхоза в пределах Урминского и части Вогульского лесничеств; наиболее всхолмленные участки расположены в южных частях Шамарского и Шалинского лесничеств и большей части Вогульского.

Средняя высота территории лесхоза над уровнем моря 300–350 м, речных долин – 200–300 м. Резко выраженных горных вершин или хребтов нет, имеются лишь небольшие вытянутые складки и вершины холмов. Из элементов рельефа преобладающими являются удлиненные склоны холмов различных экспозиций и крутизны и довольно ровные долины. Плоские водоразделы занимают незначительные площади. Крутизна отдельных склонов достигает 30°, однако наиболее распространены уклоны 5, 10, 20°.

На территории Шамарского лесхоза уничтожение леса на больших площадях в верхней части склонов вызывало различные эрозионные процессы в их средней и нижней частях вдоль дорог, по волокам и т. д., где через 5 лет после рубки размывы достигли глубины до 1 м.



Характеристика рек и речек, находящихся на территории Самарского лесхоза

Река	Место впадения реки	Протяженность (спрямленная)	Коэффициент извилистости	Скорость течения, м/с	Ширина, м	Глубина, м
Сылва	р. Чусовая	195	4,7	1,2	40–60	0,5–1,5
Вогулка	р. Сылва	95	2,2	1,2	20–30	0,5–1,0
Куриль	“_“	10	1,3	1,2	5–7	0,2–0,5
Березовка	“_“	10	1,5	1,2	5–6	0,5
Ломовка	“_“	10	1,5	1,2	5–6	0,5
Козьял	“_“	18	1,3	1,2	5–7	0,5
Урма	“_“	10	1,5	1,2	5–7	0,5
Малая Урма	“_“	14	1,3	1,2	5–6	0,5
Бизь	“_“	12	1,3	1,2	5–6	0,5
Большая Бизь	“_“	12	1,3	1,2	5–6	0,5
Большой Крюк	“_“	20	1,3	1,2	5–7	0,5
Баская	“_“	20	1,3	1,2	5–7	0,5
Унь	“_“	20	1,3	1,2	5–7	0,5
Дикая Утка	“_“	20	1,3	1,2	5–7	0,5
Правая Урма	“_“	14	1,1	1,0	4–6	0,5
Левая Урма	“_“	10	1,7	1,1	6–8	0,6
Малый Лип	р. Вогулка	11	1,6	1,2	4–6	0,5
Большой Лип	“_“	11	1,2	1,1	4–6	0,5
Бизь	“_“	19	1,3	1,2	5–8	0,7
Юрмыс	“_“	7	1,2	1,2	4–6	0,5
Вязовка	“_“	5	1,1	1,2	4–6	0,5
Гладкая	“_“	17	1,1	1,1	5–8	0,7
Безьямянка	“_“	4	1,1	0,9	3–4	0,5
Миасс	“_“	12	1,4	1,0	4–6	0,6
Куара	“_“	17	1,2	1,0	4–8	0,6
Быстрянка	“_“	5	1,1	1,2	3–4	0,5
Большой Миасс	“_“	12	1,4	1,0	5–6	0,5
Малый Бизь	р. Б. Бизь	20	1,3	1,2	5–6	0,5
Малый Крюк	р. Б. Крюк	10	1,3	1,2	5–6	0,5
Терси	р. Барда	10	1,1	1,1	4–6	0,5
Ивановка	р. Баская	12	1,3	1,1	4–6	0,5
Ильма	р. Молебка	17	1,3	1,2	5–6	0,5
Айва	р. Унь	7	1,3	1,2	4–6	0,5

Наиболее подвержены эрозии почвы, сформировавшиеся на осадочных породах, особенно на песчаниках и глинистых сланцах западного склона водоразделов. Только на участках, подстилаемых хорошо водопроницаемыми горными породами, и на вырубках, быстро зарастающих травянистой растительностью, эрозионные явления крайне редки. Поэтому на территории лесхоза защитная роль древесной растительности очень высока и необходимо постоянно обеспечивать сохранение оптимальной лесистости и преобладание темнохвойных насаждений на водораздельных пространствах.

*Гидрография и гидрологические условия.* Вся площадь Самарского лесхоза изрезана густой сетью извилистых оврагов, по которым протекают многочисленные ручьи и речки. Густота речной сети здесь доходит до 300 м на 1 км<sup>2</sup>, в 2 раза превышая показатели равнинных территорий Среднего Урала. Все речки (табл. 4.9) для судоходства непригодны, являются бассейном р. Сылвы, которая впадает в р. Чусовую. Ширина Сылвы около п. Самары достигает 60 м, а глубина до 1 м, местами – 5 м. Притоки р. Сылвы почти все правобережные и представляют собой речки различной протяженности, но многие из них функционируют круглый год. Озера в лесном фонде лесхоза отсутствуют. Болота встречаются очень редко (69 га), поэтому вся территория лесхоза хорошо дренирована.

Грунтовые воды находятся в среднем на уровне 0,5–1 м от поверхности почвы, в основном на ровных водоразделах и в нижних частях склонов. Выходы грунтовых вод на поверхность почвы многочисленны, в виде ключей, ручьев. Качество воды для бытовых целей вполне хорошее. Весной и летом после продолжительных обильных осадков в лесах наблюдается верховодка на глубине 0,3–0,5 м, которая может сохраняться длительное время.

*Почвенный покров.* Однообразие рельефа и почвообразующих пород всей западной части Шалинского административного района, занятой Самарским лесхозом, послужило причиной образования почв небольшого числа почвенных разностей двух типов почвообразования – подзолистого и дерново-подзолистого, а в понижениях рельефа и в поймах рек – дернового типа.

Основными почвообразующими (или материнскими) породами являются глинистые сланцы, песчаники и конгломераты (т. е. толщи гальки с редкими валунчиками до 10 см в диаметре, сцементированные кремнеземистыми или известкововидными отложениями). Цвет глинистых сланцев и песчаников темно-серый («перечный»). Глинистые сланцы содержат известь, которая на хорошо дренированных местоположениях приводит к образованию дерново-карбонатных почв.

Продуктами выветривания глинистых сланцев являются тяжелые темно-бурые глины с большим количеством гальки из уральских кристаллических пород, окрашенных в самые разнообразные, иногда очень яркие цвета.

Песчаник и конгломераты при выветривании дают породы более легкого механического состава – супеси, легкие суглинки, тоже с включением гальки. Выходы на дневную поверхность песчаников и конгломератов более редки, чем глинистых сланцев, большая часть площади лесхоза покрыта глинистыми почвообразующими породами, мощность которых колеблется в зависимости от элементов рельефа и, как правило, в понижениях глинистые образования наиболее мощные, толщиной до нескольких метров, а на водоразделах – всего 0,5–1,0 м.

По верхним частям склонов, особенно крутым, почвы мелкие, глубина их не достигает 0,5 м; рыхлый слой почвы лежит прямо на поверхности глинистых сланцев.

Под густыми елово-пихтовыми насаждениями образуются подзолистые почвы различной степени оподзоливания; в лиственных и смешанных насаждениях – дерново-подзолистые, главное отличие которых от подзолистых заключается в наличии мощного гумусового горизонта, лежащего выше подзолистого слоя. Если у подзолистых почв гумусовая прослойка не достигает и 5 см толщины, то у дерново-подзолистых она имеет мощность до 20 см. Дерново-подзолистые почвы отличаются от подзолистых и более темной окраской гумусового горизонта.

По распространенности почвы в лесных массивах на территории Шамарского лесхоза располагаются в следующий ряд:

1. Подзолистые.
2. Дерново-подзолистые.
3. Дерново-карбонатные.
4. Дерновые.

По механическому составу все почвы суглинистые с твердыми включениями гальки, реже щебня, песчаника и мелких валунов (табл. 4.10).

Совместимость почв с типами леса представляется в следующем виде (табл. 4.11):

- на дерновых слабоподзолистых и дерново-карбонатных почвах встречаются насаждения с типами леса ельник липняковый (Елп), на присутствие в почве извести указывает единичная примесь ильма в древостое или подлеске;

- на средне-подзолистых почвах развит ельник кисличниковый;

- на дерново-подзолистых почвах, на слабо дренированных понижениях водоразделов встречается ельник разнотравный (Ерт), на

Таблица 4.10

Распределение почв в Шамарском лесхозе по типам, механическому составу и влажности

Тип почв	Режим увлажнения	Лесная площадь		В т.ч. по механическому составу						Дерново-глеевая на глинне с галькой	Перегнойно-аккумулятивный суглинок	Торфяно-глеевая суглинистая	
		га	%	Суглинистые с включениями			песчаника и валунов	Дерново-глеевая на глинне с галькой					
				гальки	щебня	песчаника и валунов							
I	Подзолистые	134619	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	сухие	1754	-	-	248	1506	-	-	-	-	-	-	-
	свежие	129908	-	80010	31364	18534	-	-	-	-	-	-	-
	влажные	2957	-	492	468	1997	-	-	-	-	-	-	-
II	Дерново-подзолистые	31672	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	свежие	22928	-	16050	2751	2981	1146	-	-	-	-	-	-
III	влажные	8744	-	2186	2186	3498	874	-	-	-	-	-	-
	Дерново-карбонатные	15441	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	свежие	6697	-	-	2009	1272	201	201	201	201	201	201	201
IV	влажные	8744	-	-	1749	2623	874	-	-	-	-	-	-
	Дерновые	962	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	влажные сырые	897	-	-	-	-	179	-	-	-	269	449	59
Итого		182694	100	103938	40775	32411	3274	1788	508	1	1788	508	59
		%	100	57	22	18	2	1	1	1	1	1	1

Распределение почв по группам типов местообитаний (применительно к распределению лесной площади по типам леса) в Шамарском лесхозе

№ п.п.	Группа типов леса (шифр)	Почвообразующие породы	Рельеф	Генетическое определение почв	Лесная площадь, га / %
1	Сосняки брусничные, ельники осочковые и производные лиственные (Бр)	Суглинок со щебнем, подстилаемый тяжелой глиной и песчанником	Покатые и крутые придолин-ные склоны южной экспозиции	Горная лесная легкосуглинистая щебнистая на песчанниках	$\frac{16028}{8}$
2	Сосняки, ельники ягодничковые и производные от них лиственные насаждения (Яг)	Суглинок со щебнем и супесью, подстилаемый мощной глиной и тяжелым песчанником	Покатые и крутые придолин-ные склоны южной экспозиции	Горная лесная суглинистая оподзоленная щебнистая на супесях или песках	$\frac{23}{-}$
3	Ельники, сосняки липняковые и производные лиственные насаждения (Лп)	Тяжелый суглинок со щебнем и мелким песчанником, подстилаемый глиной. Встречается подзол	Покатые и крутые верхние и средние части склонов преимущественно южные	Горная лесная дерново-подзолистая суглинистая мелкощебнистая на супесчаннике и суглинке	$\frac{13675}{7}$
4	Сосняки, ельники разнотравные и производные от них лиственные насаждения (Рт)	Бурый тяжелый суглинок на глубоком песчаннике с известью	Выпуклые вершины возвышенности и перегибы длинных склонов	Горная лесная бурая суглинистая на песчанниках и конгломератах	$\frac{116345}{66}$
5	Сосняки, ельники травяно-зелено-мощные и производные от них лиственные насаждения (Тзм)	Тяжелый суглинок или глина с орштейнами из песка, гальки на поверхности – дернина	Очень длинные пологие придолинные склоны в основном южной экспозиции	Горная лесная дерново-подзолистая светло-серая суглинистая на песчаннике	$\frac{17982}{9}$

6	Сосняки, ельники крупнотравно-приручейные и производные от них лиственные насаждения (Крпр)	Суглинок с подзолом средней мощности, подстилаемый сланцем из песка и извести	Выпуклые и платообразные вершины и волгнутые склоны северной экспозиции	Выпуклые и платообразные вершины и волгнутые склоны северной экспозиции	$\frac{17012}{9}$
7	Сосняки, ельники мшисто-хвощовые и производные от них лиственные насаждения (Мшхв)	Маломощные торфяно-оглеенная глина, слабооподзоленный суглинок. Мощность дернины – до 30 см	Слабоволгнутые котловины на плоских водоразделах	Торфяноглеевая тяжелосуглинистая среднеподзолистая дерновая	$\frac{1566}{1}$
8	Сосняки, ельники, березняки сфагновы и травяно-болотные (Сфтр)	Торфяная дернина с гумифицированными растительными остатками на водоупорном песчаннике или глине	Надпойменные террасы и понижения на террасах	Дерновая торфяно-болотная иловая на террасах	$\frac{65}{-}$
Итого					$\frac{182694}{100}$

наносных (аллювиальных) почвах с примесью галечников – ельник приручейниковый (Епр).

Распределение почв по механическому составу выполнено по исследованиям почвенно-химической лаборатории Свердловского УЛХ в 1972 г.

#### 4.4. ХАРАКТЕРИСТИКА И СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОГО ФОНДА ШАМАРСКОГО ЛЕСХОЗА

По материалам последнего лесоустройства (2001г.), площадь покрытых лесом земель Шамарского лесхоза составила 182 694 га (94 % от общей площади лесхоза). За ревизионный период доля площади, покрытой лесом, возросла на 3,4 %. В лесхозе преобладают леса II группы, назначение которых кроме лесопользования – выполнение средообразующих функций. Состояние и динамика фонда приведены в табл. 4.12. В лесхозе отсутствуют естественные редины и невозобновившиеся гари. Площадь погибших насаждений в результате периодически повторяющихся ветровалов в последнем десятилетии составляет более 100 га.

Резко сокращаются площади, занятые пашней, сенокосом, ввиду падения спроса на эти категории земель и работы на них. Они активно возобновляются естественной древесно-кустарниковой растительностью и переводятся в покрытую лесом площадь.

Распределение древесных пород по типам лесорастительных условий (Колесников и др., 1973) показывает, что на территории лесхоза преобладают насаждения, приуроченные к покатым и крутым склонам со свежими, устойчиво свежими и периодически сухими почвами (табл. 4.13).

В лесном фонде лесхоза преобладают хвойные насаждения – 52,6 % покрытой лесом площади, мягколиственные занимают 47,6 %. Основными лесообразующими породами являются: ель (47,8 %), береза (35,9%), сосна (4,3%), осина (6,8 %) и липа (4,2 %). На долю остальных пород приходится 1 % покрытой лесом площади. Доля насаждений хвойных пород в различных категориях защитности лесов варьирует незначительно (табл. 4.14).

В Шамарском лесхозе среди хвойных преобладают насаждения I–II классов возраста (53,5 %), среди лиственных – III–IV классов (36,0 %), т.е. преобладают насаждения до 40 лет. В целом возрастная структура насаждений свидетельствует о том, что в составе лесного фонда доминируют (рис. 4.1) молодняки (36,5 % от общей площади) и средневозрастные (36,8), составляющие 3/4 от всей площади ле-

Таблица 4.12

Распределение лесного фонда Шамарского лесхоза по категориям земель и его динамика

Категория земель	По данным предыдущего лесоустройства		По данным настоящего лесоустройства		Изменения за ревизионный период	
	га	%	га	%	га	%
Общая площадь лесного фонда	194825	100	195352	100	+527	+0,6
Лесные земли, всего	185959	95,4	187778	96,1	+1819	+1,0
Покрытые лесом, всего	175625	90,1	182694	93,5	-7069	-4,0
В т. ч.						
лесные культуры	24262	12,4	29461	15,0	+5199	-21,4
не покрытые лесом, всего	10334	5,3	5084	2,6	-5250	-50,7
В т. ч.						
несомкнувшиеся лесные культуры	5499	2,8	2649	1,4	-2850	-51,8
лесные питомники, плантации	15		15			
редины естественные	—	—	—	—	—	—
фонд лесовосстановления, всего	4820	2,5	2420	1,2	-2400	-49,8
В т. ч.						
гари	—	—	—	—	—	—
погибшие насаждения	45		109		+64	+142
вырубки	4601	2,4	1954	1,0	-2647	-57,5
прогалины, пустыри	174	0,1	357	0,2	+183	+105
Нелесные земли, всего	8866	4,6	7574	3,9	-1292	-14,6
В т. ч.						
пашни	182	0,1	105	0,1	-77	-42,3
сенокосы	5658	2,9	4328	2,3	-1330	-23,5
пастбища	377	0,2	384	0,2	+7	+1,8
воды	669	0,3	697	0,3	+28	+4,2
дороги, просеки	1389	0,7	1613	0,8	+224	+16,1
усады и пр.	196	0,1	64		-132	-67,3
болота	69	0,1	61		-8	-11,6
прочие земли	326	0,2	322	0,2	-4	-1,2

Таблица 4.13

Распределение древесных пород по типам лесорастительных условий в Шамарском лесхозе (числитель – площадь, га; знаменатель – %)

ТЛУ*	Площади по преобладающим породам, га								Итого	
	С**	Е	П	Л	К	Б	Ос	Олс		Проч.
321	<u>39</u> 0,9	<u>550</u> 12,6	<u>21</u> 0,5	<u>25</u> 0,6		<u>3327</u> 76,0	<u>316</u> 7,2		<u>96</u> 2,2	<u>4374</u> 100
322	<u>1360</u> 81,0	<u>108</u> 6,4		<u>8</u> 0,5		<u>186</u> 11,1	<u>14</u> 0,8		<u>4</u> 0,2	<u>1680</u> 100
323	<u>7</u> 16,3	<u>5</u> 11,6				<u>31</u> 72,1				<u>43</u> 100
331	<u>1786</u> 96,7			<u>38</u> 2,1		<u>23</u> 1,2				<u>1847</u> 100
332	<u>867</u> 3,1	<u>11595</u> 41,1	<u>137</u> 0,5	<u>24</u> 0,1		<u>7708</u> 27,3	<u>1713</u> 6,1		<u>6154</u> 21,8	<u>28198</u> 100
333	<u>657</u> 9,5	<u>3522</u> 50,8	<u>9</u> 0,1			<u>2277</u> 32,9	<u>226</u> 3,3		<u>238</u> 3,4	<u>6929</u> 100
334	<u>514</u> 2,1	<u>12433</u> 50,0	<u>22</u> 0,1		<u>27</u> 0,1	<u>9252</u> 37,2	<u>2595</u> 10,4		<u>23</u> 0,1	<u>24866</u> 100
341	<u>43</u> 0,7	<u>1630</u> 24,7	<u>15</u> 0,2			<u>4225</u> 64,1	<u>573</u> 8,7		<u>105</u> 1,6	<u>6591</u> 100
342	<u>2428</u> 2,4	<u>54371</u> 53,9	<u>399</u> 0,4	<u>40</u> 0,1	<u>16</u> –	<u>35693</u> 35,4	<u>6819</u> 6,8		<u>1029</u> 1,0	<u>100795</u> 100
351		<u>717</u> 69,1				<u>280</u> 27,0	<u>8</u> 0,8	<u>12</u> 1,1	<u>21</u> 2,0	<u>1038</u> 100
361	<u>10</u> 0,2	<u>1790</u> 40,6	<u>3</u> 0,1			<u>2212</u> 50,1	<u>231</u> 5,2	<u>160</u> 3,6	<u>9</u> 0,2	<u>4415</u> 100
362	<u>14</u> 3,4	<u>295</u> 71,4				<u>93</u> 22,5	<u>7</u> 1,7	<u>4</u> 1,0		<u>413</u> 100
363		<u>5</u> 0,5				<u>204</u> 21,1		<u>757</u> 78,2	<u>2</u> 0,2	<u>968</u> 100
371	<u>134</u> 28,7	<u>235</u> 50,3				<u>92</u> 19,7		<u>6</u> 1,3		<u>467</u> 100
372	<u>46</u> 100									<u>46</u> 100
373						<u>24</u> 100				<u>24</u> 100
Итого: га / %	<u>7905</u> 4	<u>7256</u> 48	<u>606</u> 0,3	<u>135</u> 0,1	<u>43</u> –	<u>65627</u> 36	<u>12502</u> 7	<u>939</u> 0,6	<u>7681</u> 4	<u>182694</u> 100

\*ТЛУ – тип лесокультурных условий; \*\*С – сосна, Е – ель, П – пихта, Л – лиственница, К – кедр, Б – береза, Ос – осина, Олс – ольха серая, Проч. – прочие породы – липа, вяз, ива серая.

Таблица 4.14

Распределение площадей (числитель, га) и запасов (знаменатель, тыс. м<sup>3</sup>) насаждений по породам и классам возраста

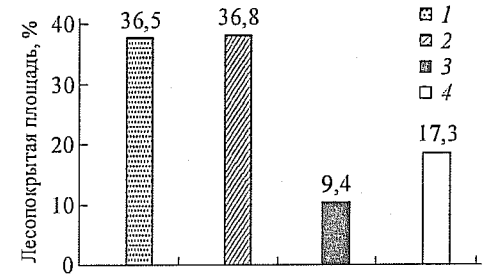
Преобладающая порода	Класс возраста					
	I	II	III	IV	V	VI
Сосна	<u>121</u> 7,4	<u>6638</u> 821,3	<u>820</u> 162,1	<u>76</u> 19,7	<u>92</u> 20,7	<u>151</u> 27,3
Ель	<u>12797</u> 404,5	<u>31681</u> 2916,3	<u>11704</u> 1867,7	<u>8559</u> 2031,2	<u>7645</u> 1985,4	<u>8055</u> 2139,6
Пихта	<u>2</u> –	<u>10</u> 1,0	<u>117</u> 22,4	<u>129</u> 27,5	<u>200</u> 52,4	<u>134</u> 37,3
Лиственница	<u>36</u> 2,4	<u>99</u> 14,8	–	–	–	–
Кедр	<u>43</u> 0,6	–	–	–	–	–
Итого хвойные	<u>12999</u> 414,9	<u>38428</u> 3753,4	<u>12641</u> 2052,2	<u>8764</u> 2078,4	<u>7937</u> 2058,5	<u>8340</u> 2204,2
%	13,5	40,0	13,2	9,1	8,3	8,7
Береза	<u>27.12</u> 40,5	<u>5195</u> 227,0	<u>6988</u> 536,5	<u>13956</u> 1614,6	<u>6598</u> 963,8	<u>7750</u> 1425,5
Осина	<u>1720</u> 25,5	<u>3398</u> 177,9	<u>4548</u> 482,1	<u>998</u> 164,1	<u>645</u> 131,7	<u>477</u> 110,8
Ольха серая	<u>17</u> 0,5	<u>159</u> 4,7	<u>159</u> 7,6	<u>473</u> 37,4	<u>124</u> 11,7	<u>5</u> 0,5
Липа	<u>339</u> 7,9	<u>1633</u> 123,0	<u>2319</u> 304,3	<u>1749</u> 288,8	<u>599</u> 114,4	<u>321</u> 76,2
Ива козья	<u>4</u> 0,1	<u>8</u> 0,7	<u>4</u> 0,7	<u>1</u> 0,2	–	–
Итого мелколиственные	<u>4792</u> 74,5	<u>10393</u> 533,3	<u>14015</u> 1330,8	<u>17177</u> 2105,1	<u>7966</u> 1221,6	<u>8553</u> 1613,0
%	5,5	12,0	16,2	19,8	9,2	9,9
Всего по лесхозу: га	<u>17791</u> 489,4	<u>48821</u> 4286,7	<u>26656</u> 3383,0	<u>25941</u> 4183,5	<u>15903</u> 3280,1	<u>16893</u> 3817,2
%	9,7	26,7	14,6	14,3	8,7	9,2

Окончание табл. 4.14

Преобладающая порода	Класс возраста					Всего
	VII	VIII	IX	X	XI	
Сосна	7	—	—	—	—	7905
	2,0	—	—	—	—	1060,5
Ель	6571	244	—	—	—	87256
	1750,6	65,1	—	—	—	13160,4
Пихта	14	—	—	—	—	606
	3,2	—	—	—	—	143,8
Лиственница	—	—	—	—	—	135
	—	—	—	—	—	17,2
Кедр	—	—	—	—	—	43
	—	—	—	—	—	0,6
Итого хвойные	6592	244	—	—	—	95945
	1755,8	65,1	—	—	—	14382,5
%	6,9	0,3	—	—	—	100
Береза	9170	6619	4963	1475	201	65627
	1811,9	1330,4	1007,1	304,0	39,3	9300,6
Осина	359	172	120	65	—	12502
	84,9	37,2	25,9	15,3	—	1255,4
Ольха серая	2	—	—	—	—	939
	0,2	—	—	—	—	62,6
Липа	220	216	217	48	—	7661
	52,2	54,7	51,4	10,8	—	1083,7
Ива козья	—	—	—	—	—	17
	—	—	—	—	—	1,4
Итого мелколиственные	9751	7007	5300	1591	201	86746
	1949,2	1422,3	1084,4	330,2	39,3	11703,7
%	11,2	8,1	6,1	1,8	0,2	100
Кустарники	—	—	—	3	—	3
	—	—	—	—	—	—
Всего по лесхозу	16343	7251	5300	1594	201	182694
	3705,0	1487,4	1084,4	330,2	39,3	26086,2
%	8,9	4,0	2,9	0,9	0,1	100

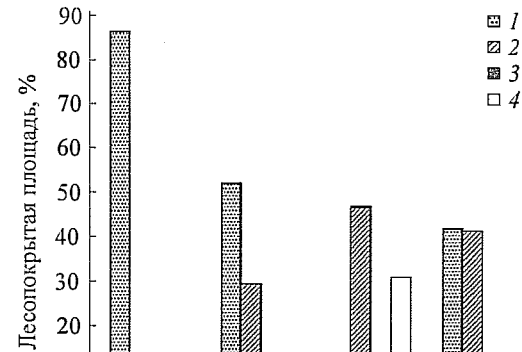
сов. В структуре молодняков по породному составу (рис. 4.2) лидируют хвойные, в т. ч. культуры сосны и ели I–II классов возраста; среди лиственных – порослевые осинники и березняки, возобновившиеся на сплошных вырубках в коренных типах леса. Эта категория

Рис. 4.1. Возрастная структура насаждений в Самарском лесхозе (% от лесопокрытой площади). Категории насаждений: 1 – молодняки; 2 – средневозрастные; 3 – приспевающие; 4 – спелые и перестойные



насаждений образует потенциальный фонд для проведения рубок ухода. Хвойные насаждения IV класса возраста и выше выявлены на площади 15 176 га (15,9 %), мягколиственные насаждения VI класса возраста и выше – 26 %.

Отрицательной особенностью возрастной структуры является наличие больших площадей молодняков, а также осинников старше V класса и березняков старше VII класса возраста, переходящих в группу перестойных и утрачивающих свои товарные качества. Учитывая современные экономические условия, растущий спрос на хвойную древесину, мягколиственные породы пока мало востребованы и исходя из лесоводственных соображений производные березовые и осиновые насаждения требуют замены на хвойные.



Категория насаждений по рис. 4.1	Сосна	Ель	Береза	Осина	Липа
Молодняки	85,5	51,0	12,0	40,9	25,7
Средневозрастные	12,1	28,8	45,9	40,6	67,0
Приспевающие	0,9	8,5	12,2	9,2	2,8
Спелые и перестойные	1,5	11,7	29,9	9,3	4,5

Рис. 4.2. Возрастная структура основных древесных пород (% от лесопокрытой площади). Категория насаждений по рис. 4.1



Таблица 4.15

Распределение площади покрытых лесом земель в Шамарском лесхозе по классам бонитета, га

Порода	Класс бонитета						Итого
	I	II	III	IV	V	Va	
Сосна	563	3344	3804	63	85	46	7905
Ель	—	8814	77063	1166	210	3	87256
Пихта	—	127	479	—	—	—	606
Лиственница	38	60	17	—	—	—	135
Кедр	—	—	43	—	—	—	43
Итого хвойных	601	12365	81406	1229	295	49	95945
%	0,6	12,9	84,9	1,3	0,3	—	100
Береза	—	25236	39667	606	114	4	65627
Осина	17	4594	7869	22	—	—	12502
Олс	—	—	148	675	116	—	939
Липа	—	695	6554	12	—	—	7661
Ива козья	—	—	1	16	—	—	17
Итого лиственных	17	30525	54639	1331	230	4	86746
%	—	35,2	63,0	1,5	0,3	—	100
Кустарники	—	—	3	—	—	—	3
Всего по лесхозу	618	42890	136048	2560	525	53	182694
%	0,3	23,5	74,5	1,4	0,3	—	100

Преобладают высокобонитетные (I–III классов) насаждения (табл. 4.15), доля которых составляет 98,3 %. Хвойные высокобонитетные насаждения занимают площадь 94 372 га (51,6 %), мягколиственные – 85 181 га (46,7 %). Высокополнотные насаждения (табл. 4.16) занимают 49 607 га (27,1 %), из них хвойные – 20 815 га (11,4 %), а низкополнотные насаждения – 11,5 % от площади покрытых лесом земель. В основном (61,4 %) лесной фонд представлен среднеполнотными (0,6 – 0,7) насаждениями.

Подрост хвойных пород в достаточном количестве имеется на площади 94,7 % спелых и перестойных насаждений (хвойных и лиственных), однако после сплошных рубок его сохранность крайне низкая и, по данным лесоустройства, в разрезе групп типов леса естественное возобновление возможно на 67 % площади вырубок, а на 33 % площади необходимы лесокультурные работы.

Таблица 4.16

Распределение площади покрытых лесом земель в Шамарском лесхозе по полнотам, га

Порода	Полнота								Итого
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Сосна	—	59	150	406	3393	3112	781	4	7905
Ель	162	3139	9074	21456	36764	12514	1932	2215	87256
Пихта	15	25	100	167	166	63	46	24	606
Лиственница	—	—	11	3	40	56	25	—	135
Кедр	—	—	—	—	—	43	—	—	43
Итого хвойных, га	177	3223	9335	22032	40363	15788	2784	2243	95945
%	0,2	3,3	9,7	23,0	42,1	16,5	2,9	2,3	100
Береза	125	1644	4453	9125	29736	17308	2957	279	65627
Осина	23	116	759	1951	3552	2924	2934	243	12502
Олс	2	153	428	301	55	—	—	—	939
Липа	9	185	414	855	4051	1703	370	74	7661
Ива	—	1	1	15	—	—	—	—	17
Итого лиственных, га	159	2099	6055	12247	37394	21935	6261	596	86746
%	0,2	2,4	7,0	14,1	43,1	25,3	7,2	0,7	100
Кустарники	—	—	3	—	—	—	—	—	3
Всего, га	336	5322	15393	34279	77757	37723	9045	2839	182694
%	0,2	2,9	8,4	18,8	42,6	20,6	4,9	1,6	100

*Искусственное лесовосстановление.* Лесными культурами в Шамарском лесхозе занимаются с 1938 г. Вначале проводились посе́вы на небольших площадях, промышленных объемов создания лесных культур лесхоз достиг во второй половине 50-х гг. 20-го века. Появление сплошных концентрированных вырубок с использованием гусеничной техники на заготовке древесины способствовало резкому возрастанию лесокультурного фонда и соответственно увеличению площадей лесных культур, в отдельные годы превышающих 1000 га. Длительное время в лесокультурной практике лесхоза использовался посев семян хвойных пород на вырубках. На суглинистых почвах по минерализованным полосам эффективность посевов была низкая, всходы часто выжимались либо вымокали, отмечалась массовая их гибель. По учету на 01.10.05 г. Шамарским лесхозом создано 30 797 га лесных культур (табл. 4.17), дополнительно пере-

дано в Гослесфонд от леспромхозов 10 122 га. Переведено в лесопокрытую площадь 88 % от общего объема созданных, но при этом списано 13 % площади лесных культур, переведенных в лесопокрытую площадь, и 2700 га несомкнувшихся лесных культур (при среднегодовом объеме создания 300–500 га).

*Содержание углерода в растительности.* По материалам последнего лесоустройства (2001 г.), в насаждениях Самарского лесхоза общее накопление углерода (табл. 4.18) составило 5334,1 т, к концу ревизионного периода – 2011–2012 гг. – планируется его увеличение на 28 т за счет возрастания лесопокрытой площади (бывшие пашни, сенокосы, возобновляющиеся древесной растительностью) и повышения запаса древесины в молодняках и средневозрастных насаждениях, по площади в несколько раз превышающих спелые и перестойные насаждения. Наибольшее количество углерода накопилось в еловых и березовых насаждениях, соответственно 46 и 41 % от общего количества.

Таблица 4.17

Анализ лесокультурного производства в Самарском лесхозе на 1 октября 2005 г., га (статистическая отчетность. Форма 10-лх)

Год учета	Произведено лесных культур лесхозом	Принято из леспромхозов лесных культур	Произведено путем реконструкции и предварительных культур	Переведено хвойных лесных культур в лесопокрытую площадь	Списано несомкнувшихся лесных культур в предыдущие годы	Погибло переведенных лесных культур	Осталось лесных культур, не переведенных в покрытую лесом площадь
1991	26970	10122	536	33715	2709	4857	81
С 1992 по 2005	3827	–	371	1411	–	–	1039
Итого	30797	10122	907	36132	2709	4857	1120

Таблица 4.18

Общее накопление углерода в насаждениях Самарского лесхоза по фактическому состоянию лесного фонда на начало ревизионного периода (2001 г.) и конец (2011 г.)

Порода	Площадь, га*	Запас, тыс. м <sup>3</sup> *	Запас углерода	
			2001	2011
			т / %	т / %
Сосна	<u>7905</u>	<u>1060,5</u>	<u>205,2</u>	<u>225,9</u>
	7969	1167,4	3,8	4,2
Пихта	<u>606</u>	<u>143,8</u>	<u>26,6</u>	<u>15,9</u>
	586	85,8	0,5	0,3
Ель	<u>87256</u>	<u>13160,4</u>	<u>2434,7</u>	<u>2615,0</u>
	96415	14135,1	45,6	48,8
Лиственница	<u>135</u>	<u>17,2</u>	<u>3,3</u>	<u>3,8</u>
	135	19,8	0,1	0,1
Кедр	<u>43</u>	<u>0,6</u>	<u>0,1</u>	<u>0,1</u>
	43	0,7	–	–
Береза	<u>65627</u>	<u>9300,6</u>	<u>2171,7</u>	<u>1948,6</u>
	59978	8345,0	40,7	36,3
Осина	<u>12502</u>	<u>1255,4</u>	<u>227,9</u>	<u>213,5</u>
	12344	1176,3	4,0	4,3
Ольха серая	<u>939</u>	<u>62,6</u>	<u>11,4</u>	<u>15,9</u>
	939	87,7	0,3	0,3
Липа	<u>7661</u>	<u>1083,7</u>	<u>253,0</u>	<u>323,1</u>
	7661	1383,7	5,0	5,7
Ива козья	<u>17</u>	<u>1,4</u>	<u>0,2</u>	<u>0,3</u>
	17	1,8	–	–
Кустарники	<u>3</u>	–	–	–
	3	–	–	–
Итого	<u>182694</u>	<u>26086,2</u>	<u>5334,1</u>	<u>5362,1</u>
	186126	26403,3	100	100

\* Начало ревизионного периода – числитель; конец ревизионного периода – знаменатель.

Глава 5

**ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ СОЗДАНИЯ И ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ**

Исследования проведены на базе четырех серий опытов, три из которых заложены в Билимбаевском лесхозе (рис. 5.1, 5.2), в 50 км к северо-западу от Екатеринбурга, а четвертая – в Шамарском лесхозе Свердловской области (рис. 5.3, 5.4).

**5.1. СЕРИЯ ОПЫТОВ 1**

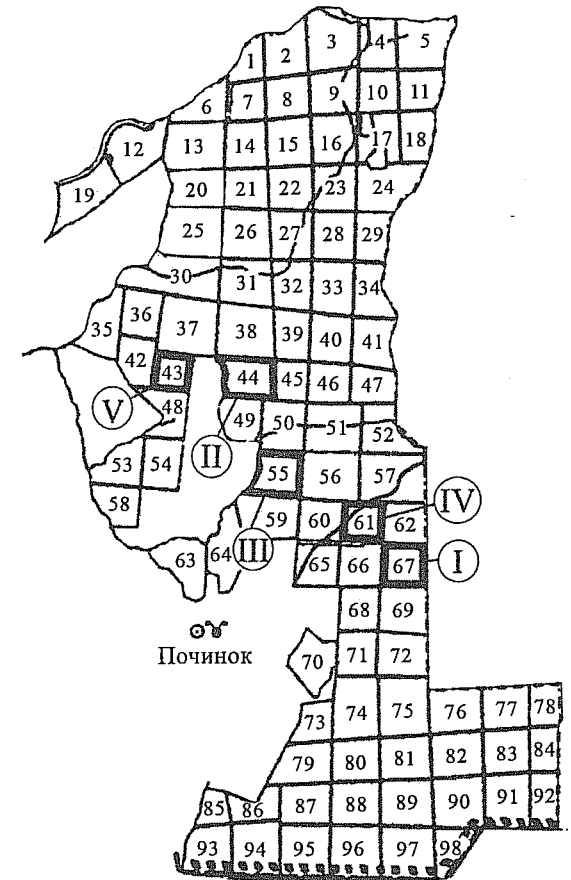
Серия опытов 1 заложена в 1986 г. в различных условиях произрастания как сеянцами, так и саженцами. Посадочный материал состоял из ели сибирской (*Picea obovata*) и ели европейской (*P. abies*). Серия опытов представлена тремя участками.

Участок № 1 заложен в квартале 67 Починковского лесничества (рис. 5.5 на вклейке) спустя 5 лет после рубки (зима 1980–1981 гг.) елово-соснового древостоя в разнотравном типе по неподготовленной почве с химической обработкой нитосоргом (10 кг/га) полосами шириной 1,5 м и защитной зоной 1,5–2,0 м; механизированная посадка МЛУ-1 с размещением 0,75 × 3,3 м. Густота посадки 4 тыс. экз/га, сохранность культур 84 %. В 1996 г. проведено однократное осветление культур по междурядьям с удалением лиственных пород. Повышенный элемент рельефа без верховодки на склоне юго-западной экспозиции; почва горно-лесная дерново-подзолистая, суглинистая.

Участок № 2 (квартал 44 Починковского лесничества) заложен на свежей вырубке елово-соснового древостоя (разнотравно-зелено-мошный тип) по грядам, сформированным в 1985 г. плугом ПЛМ-1,3 двойным встречным проходом; посадка под меч Колесова и лопату (см. рис. 5.1). Прополки и агротехнические уходы не проводились. Пониженный элемент рельефа со среднегодовым уровнем верховодки

Рис. 5.1. Расположение кварталов с опытными участками культур ели на общем плане квартальной сети Починковского лесничества Билимбаевского лесхоза (выделены жирной линией):

I, II и III – участки №№ 1, 2 и 3 (кварталы соответственно №№ 67, 44 и 55) серии опытов 1; IV – участок № 1 (квартал № 61) серии опытов 2; V – участок № 1 (квартал № 43) серии опытов 3



около 1 м; почва дерново-сильнопodzolistая, тяжелый суглинок. Склон западной экспозиции.

Участок № 3 заложен в квартале 55 Починковского лесничества (рис. 5.7 и 5.10 на вклейке) на вырубке 3-летней давности елово-соснового древостоя в ягодниковом типе леса по площади, расчищенной плугом ПЛП-135. Повышенный элемент рельефа без верховодки; почва дерново-подзолистая, слабо-щелнистая, суглинистая. Посадка по минерализованным полосам сажалкой СКЛ-1. Агротехнических уходов не было, но проведены два осветления по междурядьям с удалением лиственных пород. Посадочный материал на всех участках состоял из 4-летних сеянцев ели европейской (Полевской лесхоз), 4-летних сеянцев ели сибирской и 5-летних (3+2) саженцев ели сибирской (Билимбаевский лесхоз) (см. примечания к табл. 5.1).

Для определения фитомассы чистых культур по достижении ими 20-летнего возраста на каждом из трех участков заложено по три пробных площади (всего 9), характеристика которых дана в табл. 5.1.

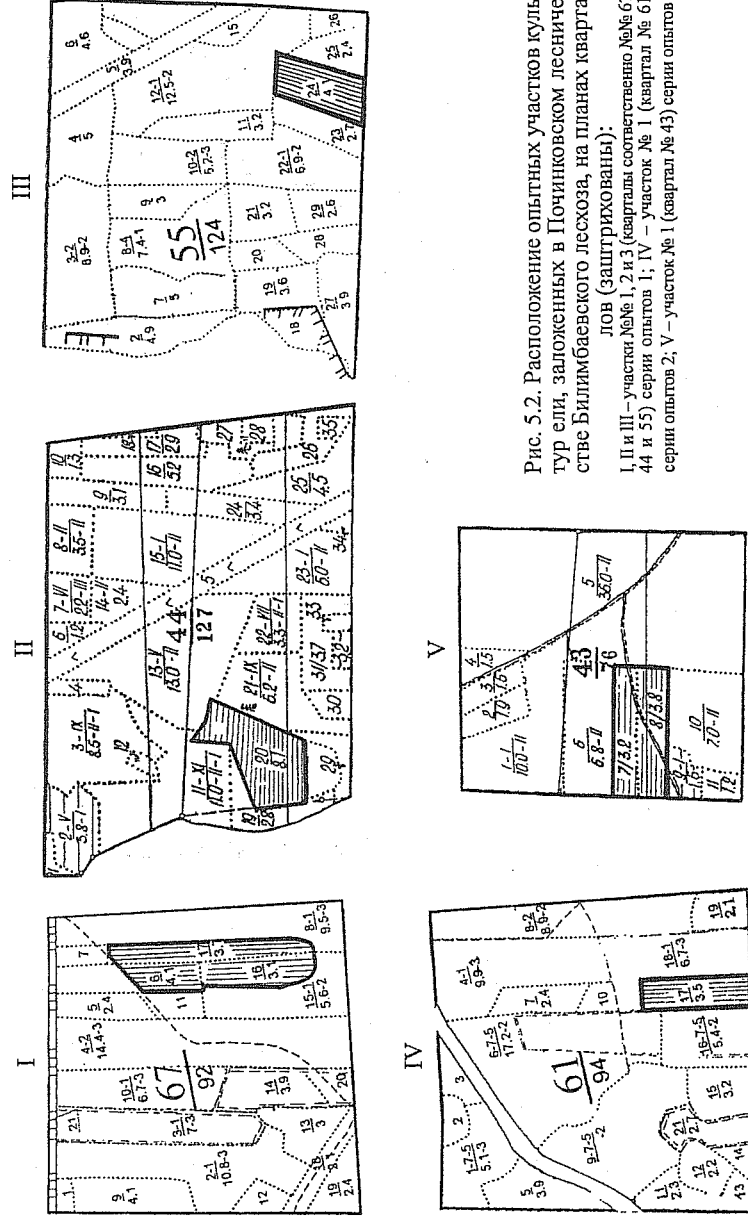


Рис. 5.2. Расположение опытных участков культур ели, заложённых в Починковском лесничестве Билимбаевского лесхоза, на планах кварталов (защтрихованы):

ЛОВО (защтрихованы):  
 I, II и III – участки №№ 1, 2 и 3 (кварталы соответственно №№ 67, 44 и 55) серии опытов I; IV – участок № 1 (квартал № 61) серии опытов 2; V – участок № 1 (квартал № 43) серии опытов 3

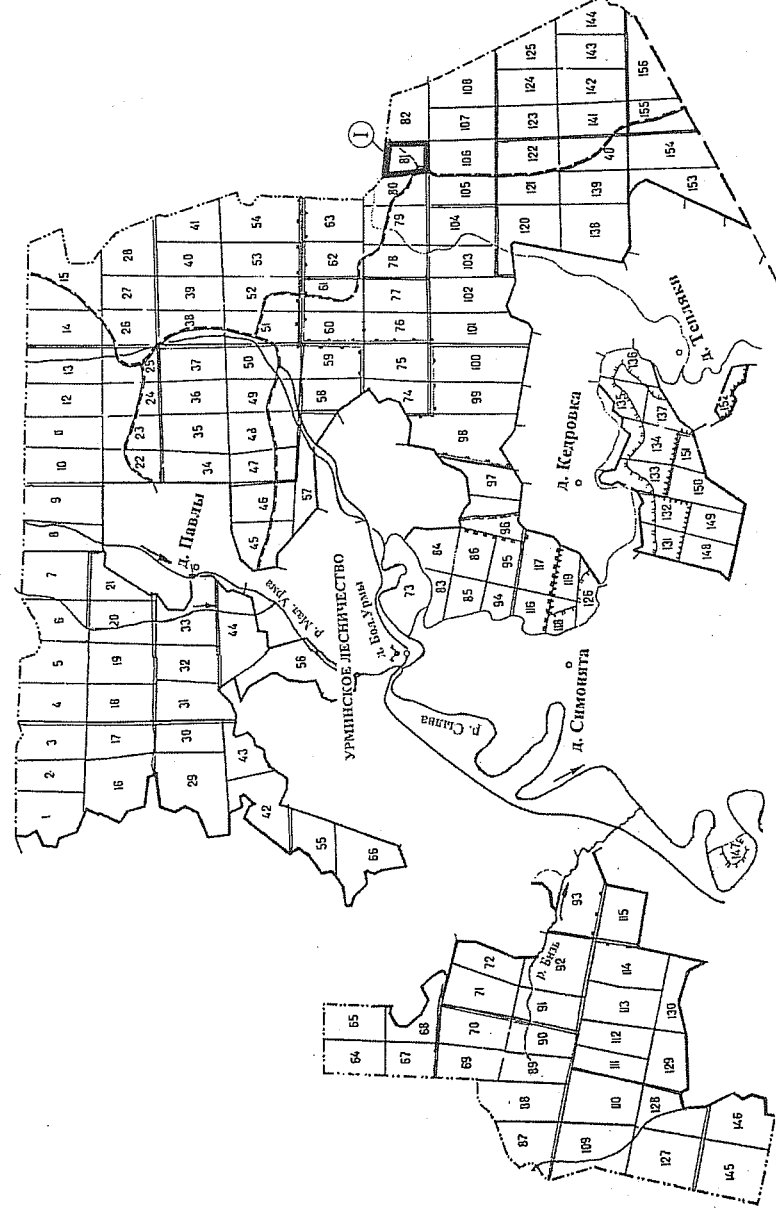


Рис. 5.3. Расположение опытного участка культур ели (квартал 81, выделен жирной линией) на общем плане квартальной сети Урминского лесничества Шарамского лесхоза

Таблица 5.1

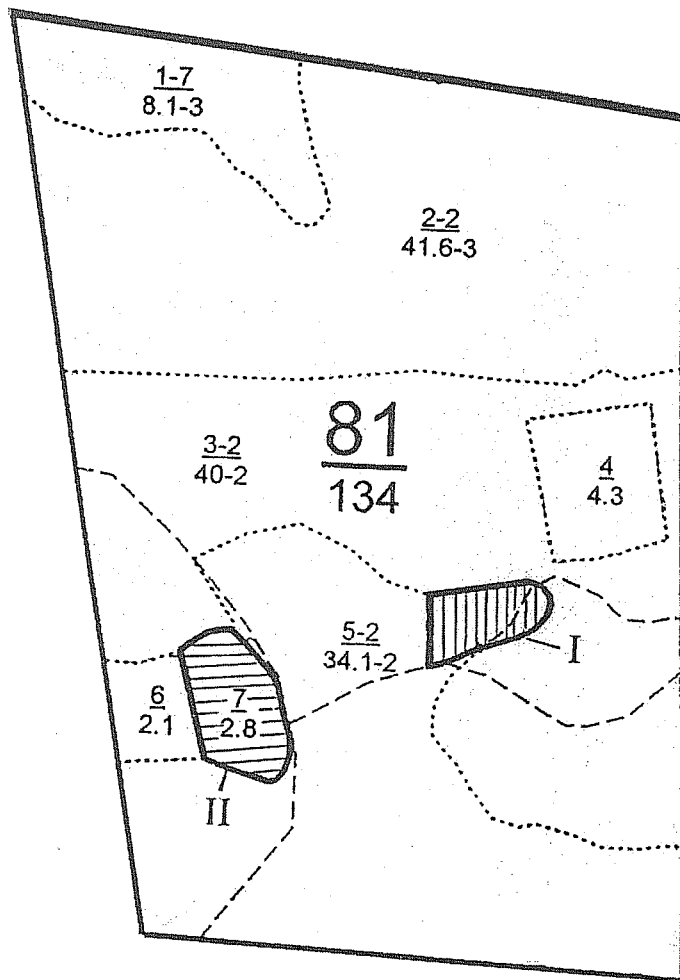


Рис. 5.4. Расположение опытных участков № 1 и 2 (заштрихованы и обозначены соответственно I в выделе 5 и II в выделе 7) культур ели, заложённых в Урминском лесничестве Шамарского лесхоза, в квартале № 81 (серия опытов 4)

Таксационная характеристика древостоев пробных площадей

№ пробной площади	Биологический возраст, лет	Средние		Густота, экз/га	Площадь сечений, м <sup>2</sup> /га	Класс бонитета
		Высота, м	Диаметр, см			
Участок № 1						
1	20	6,2	6,52	2525	8,44	II
2	20	6,4	6,87	3771	14,0	II
3	21	5,6	5,85	2395	6,45	III
Участок № 2						
4	19	3,2	3,67	2731	2,90	IV
5	19	3,0	3,75	2386	2,64	IV
6	20	3,4	4,17	2697	3,68	IV
Участок № 3						
7	20	4,2	4,25	2320	3,29	III,5
8	20	4,4	4,50	1829	2,91	III,5
9	21	4,4	5,73	2941	7,58	III,5

Примечание. Пробные площади 1, 2 и 3 на участке № 1; 4, 5 и 6 – на участке № 2 и 7, 8 и 9 – на участке № 3 заложены соответственно по вариантам: 4-летние сеянцы *Picea abies*; то же, *Picea obovata* и 5-летние саженцы *Picea obovata*.

## 5.2. СЕРИЯ ОПЫТОВ 2

Серия опытов 2 (рис. 5.6 на вклейке) представлена наибольшим количеством вариантов. Она заложена в 1985 г. на вырубке 5-летней давности в типе леса ельник разнотравно-зеленомошный (подзона южной тайги) в кв. 61 Починковского лесничества Билимбаевского лесхоза. Площадь участка 5,6 га. Он расположен в нижней части склона горного увала восточной экспозиции с уклоном 5–6°. Почва дерново-подзолистая, суглинистая при близком водоупоре (50–60 см от дневной поверхности) из глинистого элювия и плотных горных пород, периодически влажная. Подготовка почвы начата в 1984 г. на вырубке 4-летней давности с количеством пней 230–310 шт. на 1 га, большая часть которых находилась в полуразложившемся состоянии с отмершей корневой системой. Количество порубочных остатков и древесины (старый и свежий валеж, тонкомерный сухостой ели и пихты) не превышало 10 м<sup>3</sup> на 1 га. Возобновившиеся лиственные породы численностью 7,1–17,8 тыс. экз. на 1 га высотой 0,7–2,8 м достигли сомкнутости крон 40–60 %.

Площадь на участке расчищалась технологическими полосами шириной 2,7 м через 3,5–4,3 м поперек склона. Для этого использо-

вался плуг ПЛП-135, оборудованный на каждом отвале уширителем по 0,65 м, что исключало сильное заглубление его в почву (не более 6–10 см).

Приняты следующие варианты посадочных мест: пласты, гряды, химическая обработка почвы (всего 9) и контроль на «целинной» части вырубки.

По технологическим полосам нарезались пласты плугом ПЛП-135 на базе трактора Т-130 и гряды плугом ПЛМ-1,3 на базе трактора ТДТ-55. Толщина обычных пластов 20–25 см, сдвоенных (встречным проходом плуга) – 35–40 см, ширина 0,55–0,65 м, при этом образовывались борозды шириной 135 см и глубиной до 35 см при одном проходе и до 40 см – при двойном проходе. Гряды сформированы двойным встречным проходом плуга, высота их превышала поверхность целины на 30–40 см, ширина по гребню 60 см, у основания – 80–90 см. Вдоль гряды с каждой стороны нарезалась дренажирующая канава глубиной до 30 см и шириной 18–20 см.

Известно, что в кисличном типе лесорастительных условий северо-запада таежной зоны культуры ели, начиная со второго года после посадки, испытывают отрицательное влияние интенсивного травяного покрова, высота которого превосходит высоту культур (Редько и др., 1989). Поэтому в качестве одного из вариантов, ограничивающих развитие травостоя в посадочных местах, нами принята химическая обработка почвы, которая проводилась 5 июля 1984 г. полосами с помощью тракторного опрыскивателя. Ширина обработанных полос составила 1,5 м, размещение их через 3,5 м (полоса шириной 2 м оставлена в качестве защитной зоны). В качестве гербицида использован нитосорг в дозе 10 кг/га по действующему веществу в расчете на сплошную обработку площади. Контрольным вариантом послужила часть вырубки (целина) без обработки почвы, непосредственно примыкающая выше по склону к опытным вариантам.

Посадка растений ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) выполнена весной следующего после обработки почвы года 3-и 4-летними сеянцами (СН) и 4-летними 2+2 саженцами (СЖ) по опытным и контрольным вариантам вручную, не менее 300 экз. на вариант. Приживаемость растений определялась в процентах от количества посаженных.

Расчистка площади клиновидным орудием позволила сохранить верхний почвенный покров на большей части (не менее 50 % по протяженности) технологических полос, неглубоких и прямолинейных. После обработки почвы листовенных пород, сохранившихся в междурядьях, насчитывалось 2,9–7,1 тыс. экз. на 1 га, сомкнутость крон была лишь в биогруппах и куртинах, занимавших 30–60 % площади.

На влажных и сырых почвах целью механической обработки почвы было создание благоприятных водно-физических и термических условий, улучшение режима питания и уменьшение конкуренции со стороны нежелательной растительности в зоне корневых систем и надземной части посаженных растений.

Для ежедекадных наблюдений за уровнем верховодки в летний период на участке выкопаны скважины: среди опытных вариантов 6 экз. и на контроле 3 экз. Глубина скважины до 1 м, размещение их через 70 м друг от друга вдоль склона и через 100 м – поперек склона.

Многолетние наблюдения за верховодкой показали, что на целинной части (контроль) она отмечается длительное время: весной понижается медленно, в 50-сантиметровом слое находится до конца июня, а при обильных осадках в июне она поднимается до 20 см от поверхности почвы и опускается до прежнего уровня в течение июля. Среди опытных вариантов ее уровень на 7–12 см в мае и 5–8 см в июне ниже, чем на контроле, однако при обильных и частых осадках в первой половине июня верховодка сохранялась по дну борозд и дренажирующих канав до конца июня, в междурядьях культур на 20–30-сантиметровом уровне – до середины июля. В скважинах на глубине 0,7–0,8 м присутствие воды отмечалось все лето.

Видовой состав травянистой растительности в посадочных местах растений ели изучался на учетных площадках размером 1 м<sup>2</sup> (2 × 0,5 м) в 24–32-кратной повторности на каждый вариант, фитомасса травостоя определена на каждой второй учетной площадке. Укосы надземной части брались со всей учетной площадки, а корни из почвенных монолитов – в 3–4-кратной повторности на площадку (48–64 экз. на вариант). Размер почвенных монолитов 20 × 20 × 15 см (6 дм<sup>3</sup>).

Изучение динамики и видового разнообразия травянистой растительности на вырубке ельника разнотравно-зеленомошного показало, что спустя 4 года после рубки, т. е. перед началом работ, на большей части участка сформировался покров с устойчивым доминированием в составе злаковой растительности (щучка дернистая, мятлик луговой, вейник тростниковидный, ежа сборная, пырей ползучий, тимopheевка луговая), сохранившей господство на контроле до появления сомкнутого полога молодняков листовенных пород. Механическое воздействие на почвенный покров в начальный момент существенно изменило видовой состав, фитомассу, характер развития травостоя. В опытных вариантах по сравнению с контролем увеличилось количество двудольных видов (кипрей болотный, иван-чай, сныть обыкновенная, малина, таволга вязолистная, кровохлебка лекарственная, дудник лесной, осот розовый, вероника дубравная, манжетка обыкновенная, подмаренник цепкий).



Динамика приживаемости культур ели в серии опытов 2 (вырубка 5-летней давности)

Вариант посадочного места	Посадочный материал		Приживаемость культур, %			
	Вид	Возраст, лет	1-летних	3-летних	5-летних	10-летних
Гряда	СН	4	99	89	85	82
Гряда	СН	3	97	88	81	78
Гряда	СЖ	2 + 2	99	96	93	92
Пласт	СН	3	80	71	58	54
Пласт	СН	4	86	73	64	59
Пласт	СЖ	2 + 2	88	74	71	68
Двойной пласт	СН	4	91	80	75	71
Химическая обработка	СН	4	99	86	82	82
Химическая обработка	СЖ	2+2	98	89	81	78
Контроль	СН	4	76	61	50	42

Возобновление травостоя и развитие его за первые 3 года наиболее было выражено по пластам, в меньшей степени по грядам и крайне ограничено при химической обработке почвы. В посадочных местах растений ели в 3-летних культурах фитомасса надземной части травостоя достигла на контроле  $288 \pm 20,2$ , по пластам –  $171,4 \pm 14,9$ , по грядам –  $57,9 \pm 4,9$  и при химической обработке –  $49,7 \pm 4,6$ , а корневой системы соответственно  $490,3 \pm 38,9$ ;  $445,6 \pm 40,1$ ;  $231,8 \pm 20,8$  и  $189,4 \pm 11,7$  г/м<sup>2</sup>. Кроме корней травостоя, на контроле и по пластам через 2–3 года после посадки в зоне корневых систем растений ели появились корни лиственных пород, фитомасса которых составила  $11,2–21,9$  г/м<sup>2</sup>, а в 5-летних культурах ели достигла величины фитомассы корней ели.

Приживаемость и сохранность лесных культур – важнейшие показатели, на начальном этапе формирования зависящие от многих факторов: типа посадочного места и его агрофона, вида, возраста и морфологических характеристик посадочного материала (линейные и весовые размеры органов), а также погодно-климатических условий, складывающихся на протяжении первой половины вегетационного периода в год посадки, и конкурентных отношений со стороны естественных лесных фитоценозов.

После посадки растений ели в отдельные декады с 10 мая по 10 июля осадков выпало меньше средней многолетней нормы на 30–60 %, а в целом за этот период – на 28 %, температура воздуха, наоборот, превышала среднюю многолетнюю в отдельные декады на  $2,2–5,1$  °С. В результате длительного засушливого периода, особенно во II–III декадах июня, влажность почвы по пластам в верхнем слое 0–10 см оказалась меньше на 47–61%, чем под пластами на глубине 30–40 см, а в слое 11–20 см – на 36–48 %. Находившаяся между пластом и целинной частью прослойка, состоящая из неразложившейся надземной части травостоя толщиной 2–4 см, оказала неблагоприятное влияние на перемещение капиллярной влаги от нижних почвенных горизонтов целины к пластам. На контроле со второй половины июня и до конца июля в посадочных местах с хорошо развитым травостоем влажность почвы в верхнем слое 0–20 см была меньше на 31–59 %, чем в слое почвы 30–40 см, а в начале июня это различие не превышало 7–14 %. Здесь иссушающее действие в посадочных местах вызвано травостоем.

На грядках из-за более плотного сложения почвенных горизонтов лучше выражена усадка их в предпосадочный период. Плотность почвы в профиле расположения корней растений ели в однолетних культурах по грядкам была выше, чем по пластам, и составляла  $0,79–1,05$  г/см<sup>3</sup>. Количество пустот в профиле гряд в десятки раз меньше,

чем между пластами и целиной, влажность почвы по слоям 0–10 и 11–20 см отличалась от влажности на глубине 40–50 см не более чем на 15–20 %.

В варианте с химической обработкой почвы из-за массового отмирания надземной части хорошо развитого травостоя, а также с учетом опада травостоя прошлых лет на поверхности почвы образовался опад толщиной 0,8–1,0 см, который сохранялся в течение 2–3 лет. Отсутствие минерализованной поверхности почвы, какого-либо живого травостоя на полосах и выполнение опадом роли мульчи, препятствующей испарению влаги из почвы, создало оптимальные условия роста в посадочных местах. Температура почвы через месяц после посадки в слое 0–10 см была ниже на  $0,5–1,0$  °С, в слое 11–20 см – на  $1,5–2,0$  °С, чем в вариантах с механической обработкой почвы, а влажность почвы в этих слоях была выше на 18–68 %.

Приживаемость растений ели в однолетних культурах (табл. 5.2) была наиболее высокой в вариантах с химической обработкой почвы и по грядкам. В конце первого вегетационного периода отпад растений ели в культурах составил на контроле 18–24, по пластам – 12–20, по грядкам и при химической обработке 1–4 %.

Изучение причин отпада растений ели через 2 месяца после посадки на контроле и по пластам выявило, что произошло усыхание

Возобновление травостоя и развитие его за первые 3 года наиболее было выражено по пластам, в меньшей степени по грядам и крайне ограничено при химической обработке почвы. В посадочных местах растений ели в 3-летних культурах фитомасса надземной части травостоя достигла на контроле  $288 \pm 20,2$ , по пластам –  $171,4 \pm 14,9$ , по грядам –  $57,9 \pm 4,9$  и при химической обработке –  $49,7 \pm 4,6$ , а корневой системы соответственно  $490,3 \pm 38,9$ ;  $445,6 \pm 40,1$ ;  $231,8 \pm 20,8$  и  $189,4 \pm 11,7$  г/м<sup>2</sup>. Кроме корней травостоя, на контроле и по пластам через 2–3 года после посадки в зоне корневых систем растений ели появились корни лиственных пород, фитомасса которых составила  $11,2–21,9$  г/м<sup>2</sup>, а в 5-летних культурах ели достигла величины фитомассы корней ели.

Приживаемость и сохранность лесных культур – важнейшие показатели, на начальном этапе формирования зависящие от многих факторов: типа посадочного места и его агрофона, вида, возраста и морфологических характеристик посадочного материала (линейные и весовые размеры органов), а также погодно-климатических условий, складывающихся на протяжении первой половины вегетационного периода в год посадки, и конкурентных отношений со стороны естественных лесных фитоценозов.

После посадки растений ели в отдельные декады с 10 мая по 10 июля осадков выпало меньше средней многолетней нормы на 30–60 %, а в целом за этот период – на 28 %, температура воздуха, наоборот, превышала среднюю многолетнюю в отдельные декады на 2,2–5,1 °С. В результате длительного засушливого периода, особенно во II–III декадах июня, влажность почвы по пластам в верхнем слое 0–10 см оказалась меньше на 47–61%, чем под пластами на глубине 30–40 см, а в слое 11–20 см – на 36–48 %. Находившаяся между пластом и целинной частью прослойка, состоящая из неразложившейся надземной части травостоя толщиной 2–4 см, оказала неблагоприятное влияние на перемещение капиллярной влаги от нижних почвенных горизонтов целины к пластам. На контроле со второй половины июня и до конца июля в посадочных местах с хорошо развитым травостоем влажность почвы в верхнем слое 0–20 см была меньше на 31–59 %, чем в слое почвы 30–40 см, а в начале июня это различие не превышало 7–14 %. Здесь иссушающее действие в посадочных местах вызвано травостоем.

На грядах из-за более плотного сложения почвенных горизонтов лучше выражена усадка их в предпосадочный период. Плотность почвы в профиле расположения корней растений ели в однолетних культурах по грядам была выше, чем по пластам, и составляла  $0,79–1,05$  г/см<sup>3</sup>. Количество пустот в профиле гряд в десятки раз меньше,

Таблица 5.2

Динамика приживаемости культур ели в серии опытов 2 (вырубка 5-летней давности)

Вариант посадочного места	Посадочный материал		Приживаемость культур, %			
	Вид	Возраст, лет	1-летних	3-летних	5-летних	10-летних
Гряда	СН	4	99	89	85	82
Гряда	СН	3	97	88	81	78
Гряда	СЖ	2 + 2	99	96	93	92
Пласт	СН	3	80	71	58	54
Пласт	СН	4	86	73	64	59
Пласт	СЖ	2 + 2	88	74	71	68
Двойной пласт	СН	4	91	80	75	71
Химическая обработка	СН	4	99	86	82	82
Химическая обработка	СЖ	2+2	98	89	81	78
Контроль	СН	4	76	61	50	42

чем между пластами и целиной, влажность почвы по слоям 0–10 и 11–20 см отличалась от влажности на глубине 40–50 см не более чем на 15–20 %.

В варианте с химической обработкой почвы из-за массового отмирания надземной части хорошо развитого травостоя, а также с учетом опада травостоя прошлых лет на поверхности почвы образовался опад толщиной 0,8–1,0 см, который сохранялся в течение 2–3 лет. Отсутствие минерализованной поверхности почвы, какого-либо живого травостоя на полосах и выполнение опадом роли мульчи, препятствующей испарению влаги из почвы, создало оптимальные условия роста в посадочных местах. Температура почвы через месяц после посадки в слое 0–10 см была ниже на 0,5–1,0 °С, в слое 11–20 см – на 1,5–2,0 °С, чем в вариантах с механической обработкой почвы, а влажность почвы в этих слоях была выше на 18–68 %.

Приживаемость растений ели в однолетних культурах (табл. 5.2) была наиболее высокой в вариантах с химической обработкой почвы и по грядам. В конце первого вегетационного периода отпад растений ели в культурах составил на контроле 18–24, по пластам – 12–20, по грядам и при химической обработке 1–4 %.

Изучение причин отпада растений ели через 2 месяца после посадки на контроле и по пластам выявило, что произошло усыхание

Динамика роста ели в культурах в серии опытов 2

корневой системы из-за плохого зажатия, отсутствия заиливания посадочных щелей, слабого соприкосновения корней с почвой и сильного развития корневой системы травянистой растительности. Значительная часть растений ели по пластам погибла в результате того, что при посадке основная часть их корневой системы оказалась в неразложившейся прослойке из травостоя или в рыхлой части пластов, где плотность почвы не превышала 0,63 г/см<sup>3</sup>. На контроле и при химической обработке почвы отмечалось единичное выжимание 1–3-летних растений ели.

Наибольший отпад растений ели в культурах произошел в первые три года после посадки, в небольших объемах он продолжался вплоть до возраста перевода лесных культур в покрытые лесом площади (10 лет), а в целом на контроле и по пластам уровень отпада достиг соответственно 58 и 32–46 % от количества посаженных растений, в то время как при химической обработке почвы и по грядам отпад был в 1,5–5,0 раз меньше.

В возрасте трех и более лет культуры по пластам и грядам, созданные саженцами, имели более высокую приживаемость по сравнению с посадкой сеянцами (см. табл. 5.2). Аналогичный результат получен в работе О.А. Конюшатова с соавторами (2004), где в условиях юга Вологодской области на покровных суглинках и супесях показано, что на 2–9-й годы после посадки саженцами приживаемость растений была на 26–36 % выше, чем при посадке сеянцами. Высокую приживаемость культур ели, созданных саженцами, на второй год после посадки отмечают также другие исследователи (Родин, Шапкин, 1972; Родин, 1977; Пигарев и др., 1979; Смирнов, Годнев, 1983; Беляев, 1990). Это согласуется с выводом А.Д. Карцева с соавторами (1980), что с уменьшением размеров посадочного материала сохранность культур ели снижается даже при регулярных агротехнических уходах, что свидетельствует о меньшей конкурентоспособности 2–3-летних сеянцев по сравнению с более крупными саженцами на почвах, сильно зарастающих травянистой растительностью.

Высота растений ели в культурах за первый пятилетний период после посадки увеличилась на контроле в 1,8 раза (табл. 5.3), в опытных вариантах – в 2,6–2,9 раза. В этот период на контроле и по пластам самые высокие стволы ели были в 2 раза ниже средней высоты травостоя, произраставшего в посадочных местах, что требовало проведения агротехнических уходов. По грядам и при химической обработке почвы затенение растений в культурах носило единичный характер, в результате показатели роста у основной части растений ели в этих вариантах были более высокими.

Посадочный материал		Биометрические показатели				
Вид	Возраст, лет	Диаметр корневой шейки, мм	Высота стволика, см	Текущий прирост последнего 5-летия, см	Проекция кроны, см	
					вдоль ряда	поперек ряда
<i>Перед посадкой (посадочный материал)</i>						
СН	3	2,7±0,11	10,0±0,45	–	–	–
СН	4	4,9±0,22	23,4±1,39	–	–	–
СЖ	2+2	5,7±0,44	26,1±0,78	–	–	–
<i>5-летние культуры</i>						
Контроль						
СН	4	6,3±0,39	43,3±4,21	5,8±0,33	28,7±2,34	27,3±2,61
Сдвоенные пласты						
СЖ	2+2	10,9±3,46	65,8±3,41	8,5±0,61	44,1±2,86	45,6±2,49
Пласты						
СН	3	5,6±0,38	45,2±2,84	7,0±0,51	36,3±1,38	35,4±4,05
СН	4	8,4±0,27	67,3±3,98	8,9±0,64	40,3±3,97	40,1±2,68
СЖ	2+2	10,2±0,56	68,0±4,13	7,8±0,65	41,7±2,05	42,0±2,28
Гряды						
СН	3	6,8±0,23	57,3±3,97	9,5±0,41	38,3±2,03	39,0±2,96
СН	4	10,1±0,35	68,8±4,71	9,4±0,57	44,0±2,18	47,3±3,38
СЖ	2+2	11,9±0,42	70,2±4,49	10,1±0,63	45,3±2,69	48,1±4,09
Химическая обработка почвы						
СН	4	10,9±0,61	51,8±3,30	5,6±0,29	38,1±2,49	42,4±3,19
СЖ	2+2	11,2±0,89	56,3±3,11	6,0±0,41	42,4±3,01	45,6±4,06
<i>10-летние культуры</i>						
Контроль						
СН	4	17,5±1,16	107,9±7,50	12,8±2,48	63,0±4,18	63,2±4,16
Сдвоенные пласты						
СЖ	2+2	34,7±2,26	186,1±11,4	22,6±4,03	105,4±5,7	112,5±5,4
Пласты						
СН	3	21,4±2,81	148,1±14,5	20,5±3,01	97,7±10,6	101,4±6,7
СН	4	24,7±2,38	156,4±7,09	18,1±3,19	83,8±7,24	89,4±3,95
СЖ	2+2	29,5±2,15	156,2±7,73	19,7±1,99	98,3±7,92	105,6±4,6

Посадочный материал		Биометрические показатели				
Вид	Возраст, лет	Диаметр корневой шейки, мм	Высота стволика, см	Текущий прирост последнего 5-летия, см	Проекция кроны, см	
					вдоль ряда	поперек ряда
Гряды						
СН	3	30,7±2,54	194,5±10,4	29,4±2,66	9,58±4,68	10,53±8,3
СН	4	31,1±2,21	195,8±12,4	27,3±3,14	96,6±3,18	106,4±3,5
СЖ	2+2	34,5±2,81	205,1±9,29	27,4±2,68	103,7±5,1	110,1±8,5
Химическая обработка почвы						
СН	4	28,9±1,79	158,0±9,32	23,2±2,40	95,1±5,17	98,1±9,05
СЖ	2+2	29,8±1,49	162,6±9,49	24,3±1,96	105,6±4,7	112,5±9,4
15-летние культуры (открытые)						
Контроль						
СН	4	<u>49,4±5,04</u> 37,0±4,96	274,1±26,4	33,4±3,77	130,6±9,8	144,5±11,09
Сдвоенные пласты						
СЖ	2+2	<u>64,4±3,56</u> 42,9±3,15	406,4±19,1	42,8±3,66	147,4±16,2	169,6±14,18
Пласты						
СН	3	<u>55,4±4,66</u> 38,6±2,66	386,9±21,3	47,8±3,86	139,5±16,8	178,8±14,49
СН	4	<u>60,3±2,98</u> 42,1±3,81	403,1±26,7	49,3±4,11	141,4±13,1	180,1±11,03
СЖ	2+2	<u>67,1±3,38</u> 42,4±3,99	407,4±29,2	50,2±5,01	159,8±14,2	181,4±16,98
Гряды						
СН	3	<u>60,8±5,91</u> 41,3±2,43	388,4±31,2	38,8±2,98	131,4±12,9	166,4±12,18
СН	4	<u>65,4±2,49</u> 42,1±3,81	399,6±35,2	40,8±3,66	146,4±4,28	171,8±13,66
СЖ	2+2	<u>67,8±6,09</u> 46,8±4,80	409,64±38,8	40,9±4,10	162,3±5,43	183,9±4,38
Химическая обработка почвы						
СН	4	<u>63,4±5,88</u> 43,8±4,09	364,5±33,9	41,3±3,16	141,4±10,8	162,3±14,29
СЖ	2+2	<u>64,1±6,14</u> 42,2±3,73	376,5±30,17	42,7±2,86	152,4±11,7	164,8±8,43

Посадочный материал		Биометрические показатели				
Вид	Возраст, лет	Диаметр корневой шейки, мм	Высота стволика, см	Текущий прирост последнего 5-летия, см	Проекция кроны, см	
					вдоль ряда	поперек ряда
15-летние культуры (в коридорах из лиственных пород)						
Контроль						
СН	4	<u>35,6±2,82</u> 26,2±3,07	202,4±17,41	17,5±2,27	110,6±5,14	120,2±4,86
Сдвоенные пласты						
СЖ	2+2	<u>58,6±4,01</u> 36,6±3,18	351,1±18,02	22,9±1,46	146,1±4,88	153,4±6,09
Пласты						
СН	3	<u>46,6±3,39</u> 38,1±2,46	381,4±27,41	36,9±3,26	149,1±5,04	158,6±4,49
СН	4	<u>44,0±1,97</u> 38,7±1,83	322,4±17,09	31,2±2,09	151,6±4,08	160,4±5,29
СЖ	2+2	<u>49,9±2,11</u> 40,1±1,92	370,4±18,22	33,5±4,16	156,2±4,23	160,6±4,24
Гряды						
СН	3	<u>46,5±2,57</u> 38,0±2,31	370,6±22,49	36,7±2,89	150,4±4,23	161,3±5,16
СН	4	<u>50,2±2,35</u> 39,3±2,46	341,2±17,19	30,4±4,92	153,4,4±2,9	164,4±4,88
СЖ	2+2	<u>54,8±2,34</u> 42,3±2,37	384,1±18,05	35,3±6,14	166,2±3,81	172,2±5,26
Химическая обработка почвы						
СН	4	<u>42,9±2,61</u> 35,3±2,64	296,1±20,04	29,2±2,05	147,4±3,89	155,1±4,20
СЖ	2+2	<u>46,8±2,13</u> 37,0±2,81	317,4±24,41	32,4±2,89	154,4±4,08	158,6±4,63

Примечание. Числитель – диаметр ствола на высоте 0,1 м, знаменатель – то же, на высоте 1,3 м; СН – сеянцы, СЖ – саженцы.

К 10-летнему возрасту культур у деревьев ели максимальные показатели роста (высота стволика, диаметр корневой шейки, проекция кроны) отмечались в варианте по грядам и сдвоенным пластам. За второе пятилетие высота деревьев ели увеличилась по сравнению с первым на контроле в 2,0 раза, по пластам – в 2,5–3,0 раза, грядам –

2,8–3,0, при химической обработке почвы – 2,9–3,0 раза. Десятилетние культуры ели на контроле имели среднюю высоту деревьев на 11 % ниже стандартной (ОСТ 56-99-93. Культуры лесные. Оценка качества). По опытным вариантам отмечалось превышение: по пластам на 23–30 %, грядам – 62–71 % и при химической обработке – 32–36 %. По требованиям ОСТ, культуры ели на контроле не могут быть переведены в покрытые лесом площади как не достигшие необходимых показателей по высоте и приживаемости. На опытных вариантах культуры отнесены к I классу качества при отличном состоянии.

Следует также отметить, что во втором пятилетии у деревьев ели в культурах по опытным вариантам произошло полное смыкание крон в ряду, а на контроле это отмечено далеко не у всех деревьев. Кроме того, в этот же период деревья ели в культурах по пластам, при химической обработке и на контроле стали испытывать отрицательное влияние со стороны лиственных пород.

За 9-летними культурами ели был проведен первый лесоводственный уход – осветление. Участок был разделен на две части: на первой – полное удаление лиственных пород из рядов и междурядий, на второй части – полное удаление лиственных пород из рядов коридорным способом (ширина коридоров составляла 1,5–2,0 средней высоты деревьев ели) и изреживание до полноты 0,3–0,4 лиственных пород в междурядьях, прежде всего вырубкой крупных деревьев осины, березы, ольхи. Высота оставшихся лиственных деревьев и кустарников (рябина, черемуха, ива) не превышала двукратной высоты деревьев ели.

Деревья ели в 10-летних культурах на опытных вариантах по морфологическому состоянию стволиков различались незначительно. Больше всего отмечено повреждений осевых побегов у деревьев максимального роста по грядам (11–17 %), по пластам (10–12 %), при химической обработке (6–10 %) и на контроле (2–4 % от общего количества сохранившихся). В последнем варианте из-за меньшей высоты деревьев ели и более близкого соседства древесно-кустарниковой растительности влияние заморозков практически отсутствовало. По пластам и при химической обработке, как правило, отмечалось одностороннее затенение, а вторая сторона деревьев ели сохранялась открытой. Именно у этой части кроны чаще повреждались боковые побеги текущего года.

На грядах у большинства растений ели в культурах первого десятилетия разverzание почек осевого побега и их линейный рост начались раньше на 3–5 дней, чем в контроле, и раньше на 2–3 дня, чем по пластам и химической обработке, что способствовало более частому повреждению их поздневесенними заморозками, особенно

до начала массового облиствения древесно-кустарниковой растительности в междурядьях. В третьем пятилетии на секции с отсутствием лиственных пород влияние заморозков продолжилось по всем вариантам, в коридорах из лиственных пород – единично, лишь в местах отсутствия лиственных пород, так называемых «окнах», площадь которых была около 150 м<sup>2</sup>. В результате на первой секции в опытных вариантах число деревьев, поврежденных заморозками, увеличилось на 10–13, на контроле – на 1, на второй секции в первом случае – не более чем на 2–3, а на контроле – 0 %.

За послерубочный шестилетний период в коридорах из лиственных пород текущие приросты осевых побегов у деревьев ели снизились в 1,8–2,0 раза по сравнению с деревьями ели на открытой секции. Наибольшее снижение темпов прироста отмечено в последние два года. Другие показатели роста (диаметр, проекция кроны) также снизились на второй секции, когда активизировался рост оставшихся лиственных пород по краям междурядий. У многих деревьев ели в культурах осевая точка роста находилась под кроной лиственных пород, а у большинства ее освещенность не превышала 30–40 % от полной, что потребовало проведения второго лесоводственного ухода. При этом ширина коридоров составляла 2,8–3,5 м, а высота оставшихся деревьев лиственных пород на корню превышала высоту близлежащих деревьев ели в культурах не более чем на 1,0–1,5 м. Крупные деревья осины и березы по центру междурядий окольцовывались на высоте 1,3–1,5 м от поверхности почвы.

Таким образом, при выращивании культур ели на сплошных вырубках ельника разнотравно-зеленомошного в условиях постоянного присутствия естественного возобновления лиственных древесно-кустарниковых пород количество деревьев с нормальной формой кроны и ствола было выше на 16–26 % по сравнению с открытой частью участка, а основные биометрические показатели (высота, диаметр ствола, проекция кроны), наоборот, ниже на 11–34 %. Это согласуется с выводами О.А. Конюшатова с соавторами (2004) для культур ели в условиях Вологодской области, а также с выводом Ф.Н. Дружинина (2003), что рост ели под пологом мелколиственного древостоя даже в лучших условиях произрастания не выходит за пределы III–IV классов бонитета.

На начальном этапе роста культур ели было уделено специальное внимание формированию их корневых систем.

Исследование развития корневых систем у растений ели начато с первого года после посадки. На целине у саженцев и укрупненных сеянцев довольно часто наблюдался загиб корневой системы, а сама она в первый год сохранялась в пучке, сжатая почвой при посадке, у

части корней, поврежденных (обрезанных) при выкопке или посадке растений, появились мелкие сосущие корешки в количестве 4–6 шт. длиной 2–5 см и толщиной менее 0,5 мм, расположенные в пределах посадочных мест, т. е. в почве, перемещенной в момент посадки растений. Через 2 года количество таких корешков увеличилось, образовались мочки, состоящие из 3–8 корешков, а некоторые из них удлинились до 8–13 см. Корни предшествующего года достигли толщины 1 мм и более, но направление всех вновь появившихся корней не выражено, большая часть их сосредоточена в почве в пределах посадочной щели. Общая длина появившихся за 2 года корней достигла у семян 15–45 и у саженцев 20–50 см, прирост фитомассы составил за первый год соответственно 7–13 и 3–9 %, а за два года – 16–22 и 7–18 %.

Развитие корневых систем у растений ели в опытных вариантах было более интенсивным по сравнению с контролем. По пластам, где корневая система не зависала, всюду появились новые корешки, которых в конце первого вегетационного периода насчитывалось 7–11 шт. как у стержневого корня, так и у корней первого порядка ветвления. В местах обрыва корней образовались мочки из 3–4 корешков длиной 1,5–6,0 см.

Фитомасса вновь появившихся корешков составила у 3-летних семян 11–25, у 4-летних семян 9–18 и у саженцев 9–15 % от общей их массы. К концу второго года количество корней у растений по пластам увеличилось в 1,5–2,8 раз, а общая длина – в 3–5 раз. Диаметр корней первого порядка достигал 1,5–2,0 мм. Общее количество корешков к концу второго года составило 34–69 шт., а их общая длина у 3-летних семян, 4-летних семян и саженцев соответственно 66–109, 77–186 и 98–191 см, фитомасса корешков увеличилась соответственно на 79–98, 53–81 и 48–76 %. За первые два года корни не вышли за пределы минеральной части пласта.

В культурах по грядкам корневые системы в первые два года в большинстве случаев развивались так же, как и в культурах по пластам, однако общее количество корешков в конце второго года было больше на 15–24 %, длина более на 18–43 % и фитомасса – на 18–39 %. Наибольшего распространения корневые системы достигли вдоль гряды и в пределах микроповышений.

По дну борозд у растений в однолетних культурах корневая система находилась в пучке, сжатая почвой. Появилось до 4–9 новых корешков длиной 1,5–2,5 см. За первый год прирост корешков по массе составил у 3-летних семян 18–31 и у 4-летних 11–23 %. Через год почти все корни погибли от анаэробноз вследствие длительного застаивания воды по дну борозд.

На пятый год после посадки формирование корневых систем растений определялось прежде всего типом посадочного места. На контроле на 3–5-й год появились придаточные корешки длиной 27–42 см у 80 % растений. Развитие стержневого корня выражено слабо, длина составляла 8–11 см, а на глубине более 8 см отмечалось его отмирание. Якорные корни отсутствовали. Основная масса корней первого порядка ветвления сформировалась в верхнем 2–6-сантиметровом слое почвы. Отдельные корни проникли на глубину до 11 см, но при этом развернулись по направлению к поверхности почвы. В горизонтальной плоскости удаление боковых корней от стержневого корня составило 14–28 см при максимальном диаметре 3,5 см. Общая протяженность корневой системы 2,9–4,6 м, характер распространения поверхностный: 93 % корней приходилось на верхний 8-сантиметровый слой почвы. Корневые системы ели густо переплелись с корнями злаков – щучки дернистой, вейника лесного, мятлика лугового, ежи сборной. Корни растений лиственных пород проникли в сферу распространения корневых систем ели по всему профилю. Смыкание корневых систем елей на 5-й год в контроле практически не наблюдалось.

В опытных вариантах посадки отмечено мощное развитие корней, особенно в варианте по грядкам (Терехов, 2004). Корневые системы елей сомкнулись на 2–3-й годы при шаге посадки 0,7–1,0 м. Отдельные корни первого порядка ветвления вышли за пределы микроповышений, используя ходы сгнивших корней предшествующей древесно-кустарниковой растительности. Выражен стержневой корень с утолщением в верхней части. Глубина проникновения корней 12–16 см, в отдельных случаях более глубокого проникновения (до 21 см) отмечалось их искривление. По всей поверхности стержневого корня образовались корешки в количестве 11–31 шт. при толщине более 1 мм до трех порядков ветвления. Максимальный диаметр корней первого порядка у основания достигал 5,5 мм, протяженность корневой системы по пластам достигала 7,9–19,9 м, а в варианте по грядкам – 9,8–26,4 м. На 3-й (реже – на 2-й) год после посадки появляются 3–4 придаточных корня в местах заиливания стволиков минеральной частью почвы, распространяющихся на расстояние 65–85 см в варианте по пластам и на 70–113 см – в варианте по грядкам.

Спустя 5 лет после посадки, т. е. по достижении насаждениями биологического возраста 9 лет, проведена таксация насаждений (табл. 5.4) и определена фитомасса культур по каждому варианту, а также объем надземной и подземной части деревьев методом километрии.

Таблица 5.4

Таксационные показатели 5-летних культур ели (биологический возраст 8–9 лет) по вариантам подготовки почвы в сравнении с контролем

Посадочный материал		Биологический возраст культур, лет	Диаметр корневой шейки, мм	Высота стволика, см	Текущая густота, экз/га	Объем стволиков, дм <sup>3</sup> /га
Вид*	Возраст, лет					
<i>Гряды</i>						
СН	3	8	6,8	57,3	5836	410
СН	4	9	10,1	68,8	3618	280
СЖ	2+2	9	11,9	70,2	3082	290
<i>Пласты</i>						
СН	3	8	4,6	45,2	2665	123
СН	4	9	8,4	67,3	3375	233
СЖ	2+2	9	10,2	68,0	2426	185
<i>Химическая обработка</i>						
СН	4	9	10,0	59,4	2456	154
СЖ	2+2	9	10,2	64,3	2081	136
<i>Контроль</i>						
СН	4	9	5,3	43,3	2395	68
СЖ	2+2	9	8,6	50,1	1927	127

\*Обозначения см. табл. 5.3.

По достижении биологического возраста 20 лет таксационные показатели и фитомасса культур в серии опытов 2 определены вторично, но по спектру вариантов, более широкому по сравнению с определениями в 9-летнем возрасте.

Кроме того, все варианты имеют в этом случае дубли – на открытом месте и под пологом 25-летнего мелколиственного древостоя, возобновившегося сразу после рубки материнского ельника. Всего в биологическом возрасте ели 20 лет заложено 17 пробных площадей (табл. 5.5): пробная площадь (ПП) № 2 – культуры заложены 4-летними (2+2) саженцами; ПП № 3 – 4-летними сеянцами; ПП № 4 – 3-летними сеянцами; ПП № 7 – 4-летними сеянцами; ПП № 8 – 4-летними сеянцами; ПП № 10 – 4-летними саженцами; ПП № 14 – 4-летними саженцами; ПП № 17 – 3-летними сеянцами; ПП № 24 – 4-летними сеянцами.

Спустя год после определения биологической продуктивности 20-летних культур ели в серии опытов 2 проведено изреживание деревьев ели в рядах. На рис. 5.8 на вклейке показан вариант «на открытом месте» перед уборкой вырубленных деревьев. Об интенсивности проведенного изреживания дает представление рис. 5.9 на вклейке, где слева показан изреженный ряд, а справа – ряд без изреживания ели.

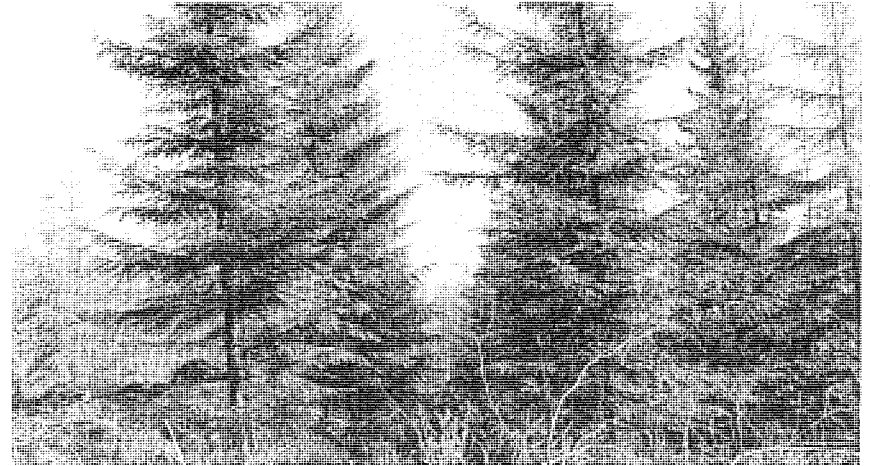


Рис. 5.5. Культуры ели в возрасте 21 года; серия опытов 1, участок № 1 в кв. 67 Починковского лесничества. Посадка по неподготовленной почве с химической обработкой нитосоргом. Осветление культур через 10 лет после закладки участка с удалением всех лиственных пород в междурядьях, но без удаления ели



Рис. 5.6. Общий вид участка 20-летних культур ели; серия опытов 2 в кв. 61 Починковского лесничества





Рис. 5.7. Культуры ели в возрасте 21 года; серия опытов 1, участок № 3 квартал № 55 Починковского лесничества.

Посадка по минерализованным полосам. Спустя 10 лет после закладки участка проведено два осветления культур с удалением всех лиственных пород в междурядьях, но без удаления ели



Рис. 5.8. Культуры ели в возрасте 22 лет, вариант «на открытом месте». Изреживание деревьев ели в рядах через год после определения их биологической продуктивности; вырубленные деревья еще не вытравлены



Рис. 5.9. Культуры ели в возрасте 22 лет, вариант «на открытом месте». Изреживание деревьев ели в рядах (слева) через год после определения их биологической продуктивности; справа – ряд без изреживания ели



Таксационные показатели культур ели в биологическом возрасте 20 лет с разными вариантами их создания и ухода

Варианты подготовки и обработки почвы	№ пробной площади	Возраст, лет	Средние		Густота, экз/га	Площадь сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
			Высота, м	Диаметр, см				
Гряды	2*	20	4,45	5,2	3884	6,97	25,7	IV
	2**	20	4,05	4,0	2248	2,58	6,2	IV
Гряды	3*	20	4,3	5,0	4351	8,27	23,3	IV
	3**	20	3,55	3,9	3277	3,65	10,2	IV
Гряды	4*	19	3,70	4,5	4266	6,40	19,1	IV
	4**	19	4,05	4,0	3776	4,46	14,3	IV
Пласт	8*	20	4,1	5,1	4885	10,2	29,2	IV
	8**	20	3,5	3,7	2082	4,09	15,7	IV
Пласт	17*	19	4,0	4,5	4786	7,01	16,2	IV
	17**	19	3,9	4,4	3044	3,92	12,4	IV
Двойной пласт	10*	20	4,4	5,2	2915	7,70	18,5	IV
Химическая обработка	7*	20	4,8	4,7	2667	4,35	19,5	III
	7**	20	3,0	3,2	2253	1,46	3,3	IV
Химическая обработка	14*	20	4,04	4,5	2662	4,31	11,4	IV
	14**	20	2,2	2,9	2378	1,15	2,1	V
Контроль (без обработки почвы)	24*	20	3,5	3,6	2060	2,63	3,6	IV
	24**	20	2,5	2,5	2149	0,94	1,2	V

\*Открытое место; \*\*под пологом (в коридорах) мелколиственного древостоя.

### 5.3. СЕРИЯ ОПЫТОВ 3

Исследования выполнены на участке площадью 8,6 га в 33–35-летних культурах ели (*Picea obovata* Ledeb.), заложенных в 1977 г. Г.Г. Тереховым в кв. 78 Починковского лесничества Билимбаевского лесхоза в подзоне южнотаежных горных лесов Среднеуральской низкогорной провинции Уральской горно-лесной области (Колесников и др., 1973). Участок приурочен к верхней трети макросклона юго-западной экспозиции с уклоном до 5°. Почва на участке дерново-слабоподзолистая суглинистая на элювии осадочных пород.

Перед обработкой почвы в составе травяного покрова доминировали (по проективному покрытию площади участка) злаковые

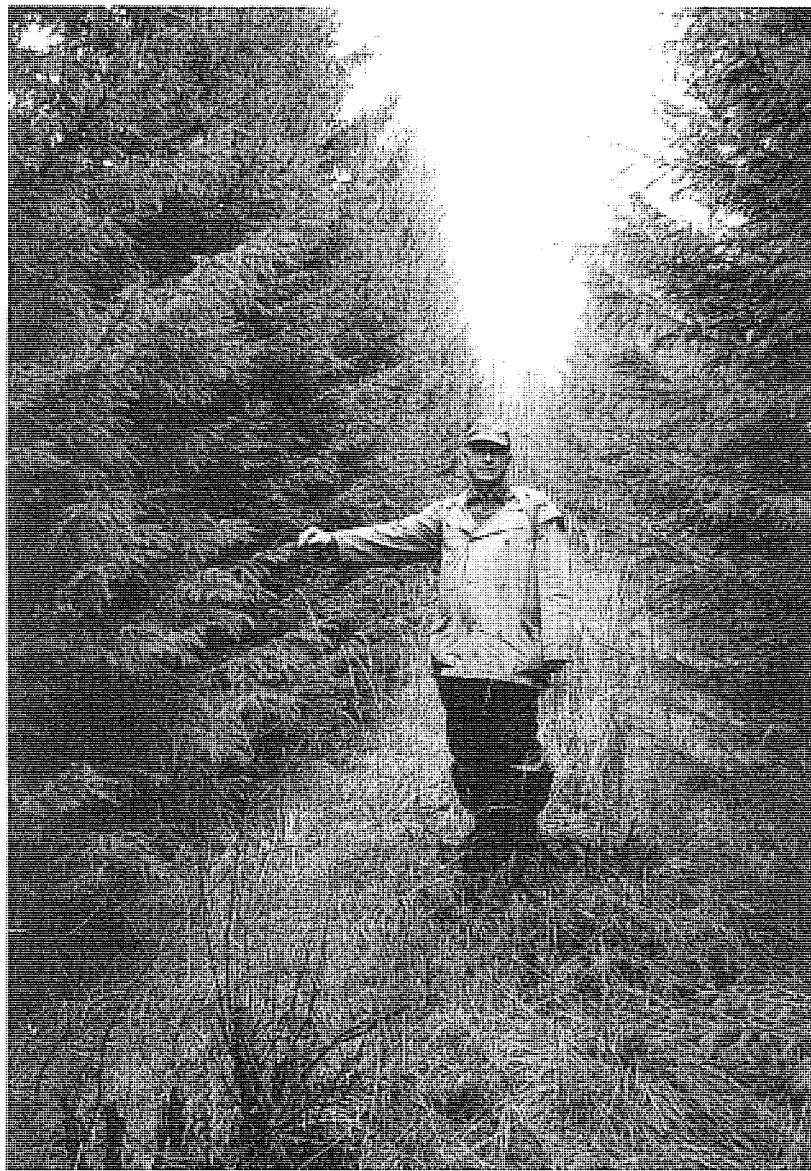


Рис. 5.10. Разработчик проекта по закладке и формированию опытных культур ели Терехов Г.Г. на участке № 3, квартал № 55 (серия опытов 1)

Биометрические и весовые показатели посадочного материала

Вид и возраст посадочного материала	Высота стволика, см	Диаметр корневой шейки, мм	Воздушно-сухая масса, г		Соотношение надземной части и корней
			надземной части	корневой системы	
СН-3	14,8±0,52	2,7±0,24	1,04±0,181	0,35±0,164	2,9
СЖ-5	20,8±0,65	7,2±0,25	8,68±0,821	4,53±0,362	1,9

\*СН – сеянцы 3-летнего возраста; СЖ – саженцы 5-летнего возраста (3+2).

виды: вейник тростниковый (*Galamagrostis arundinaceae* (L.) Roth.), вейник тупочешуйный (*G. obtusata* Trin.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), местами ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) и тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.). Из двудольных чаще отмечались звездчатка лесная (*Stellaria nemorum* L.) и злаковая (*S. graminea* L.), иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub), лапчатка прямостоячая (*Potentilla erecta* (L.) Raeusch.), зверобой продырявленный (*Hypericaceae perforatum* L.). Средняя высота травостоя составляла 85 см, а проективное покрытие – 90–100 %. Задернение поверхности почвы злаковыми видами достигало 60–75 % от территории участка (особенно по пластам и в междурядьях прошлых культур сосны). Лиственные породы (береза, осина, ива, рябина) на участке возобновились вегетативным путем мозаично, находились в несомкнутом состоянии, высота их составила 0,6–1,9 м, а численность – 1,5–4,0 тыс. шт/га.

Обработка почвы на участке проведена химическим и механическим способами по секциям шириной 30–40 м. Химическая обработка выполнена с помощью тракторного опрыскивателя по травостой без механического воздействия на почвенный покров в посадочных местах. Ширина обработанных полос 1,5 м, размещение их через 3,5–4,0 м; необработанную полосу шириной 2,0–2,5 м оставляли в качестве защитной зоны. Рабочий раствор на водной основе состоял из смеси противозлаковых и противодвудольных гербицидов – пропината (далапон) в дозе 20 кг/га (в расчете на сплошную обработку почвы) и 2,4-Д аминной соли в дозе 3 кг/га.

Механическая обработка почвы осуществлена плугом ПКЛ-70, с помощью которого нарезалась борозда и одновременно формировались пласты. В качестве контрольного варианта оставлена целинная часть вырубki между вариантами механической обработки почвы.

Посадка растений ели сибирской выполнена весной (10–13 мая 1977 г.) 3-летними сеянцами и 5-летними (3+2) саженцами, выращенными в питомнике Билимбаевского лесхоза из местных семян. Характеристика посадочного материала приведена в табл. 5.6. Сеянцы ели соответствовали 1-му сорту, саженцы – 2-му сорту. Ручная посадка выполнена по всем вариантам обработки почвы сеянцами и саженцами, механическая – с помощью сажалки СКЛ-1 по дну борозд, по химической обработке и по целине (контроль) только саженцами. Все варианты посадки закладывались в 3–4-кратной повторности, что составило 800–1400 шт. растений на вариант. Шаг посадки 5-летних саженцев 1 м, 3-летних сеянцев – 0,5 м. Дополнения растений ели в рядах не проводились.

Ежегодно за культурами ели вручную выполнялись агротехнические уходы: 1) за растениями из сеянцев по пластам 3-кратный – на 2-, 3- и 4-й год после посадки; по дну борозд 3-кратный, в те же годы; при химической обработке 2-кратный – на 3-й и 4-й год выборочно; 2) из саженцев на целине 3-кратный – в первые три года, по дну борозд 1–2-кратный выборочный (на пластах удалялась сильно разросшаяся высокостебельчатая травянистая растительность), после химической обработки уходов не требовалось.

Развитие лиственных пород по вариантам было крайне неравномерное. Осветление проведено за 8-летними культурами ели коридорным методом. При этом вырубались все лиственные деревья, возобновившиеся в рядах культур, а также те деревья в междурядьях, которые нижними ветвями затеняли осевой побег деревьев ели. Ширина коридоров составляла 1,5–2,0 м. Прочистка в смешанном елово-лиственном молодняке проведена комбинированным методом. Разреживание деревьев ели при этом не проводилось.

Период проведения лесопосадочных работ и приживания однолетних культур по метеорологическим условиям был благоприятным. Среднемесячные температуры превышали среднеголетние в мае на 3,1 °С, в июне – на 2,3 °С. Осадки за этот период составили 138 мм, что превышало многолетние на 20 %. Июль также был благоприятным для приживания и роста растений. Среднемесячная температура составила 17,1 °С, а осадки – 85 мм, что близко к среднеголетним данным. Первая декада августа характеризовалась необычайно жаркой погодой (температура 18,5 °С, осадки – 7 мм), а затем погода сменилась на прохладную и дождливую, когда показатели температуры были ниже среднеголетней, а количество осадков превышало среднеголетнюю величину. Таким образом, в первой половине вегетационного периода 1977 г. погодные условия были благоприятными для приживания растений ели в культурах.

Несмотря на благоприятные погодные условия, складывавшиеся в послепосадочный период, приживаемость однолетних культур на

Таблица 5.7

Динамика приживаемости 10-летних культур ели на участке

Вариант подготовки почвы	Способ посадки	Вид посадочного материала*	Приживаемость по годам, %				
			1	2	3	5	10
Дно борозды	Ручной	СН	99	90	85	79	71
	Ручной	СЖ	98	93	89	82	79
	Механ.	СЖ	99	95	90	86	80
Пласт	Ручной	СН	96	93	90	90	88
Химическая обработка	Ручной	СН	98	94	90	88	83
	Механ.	СЖ	92	89	85	80	78
Целина (контроль)	Ручной	СЖ	83	70	59	48	45
	Механ.	СЖ	91	89	87	79	76

\*СН – сеянцы 3 лет, СЖ – саженцы 5 (3+2) лет.

участке была различной по вариантам посадочных мест (табл. 5.7).

Более низкая приживаемость культур в первый год (87 %) и в последующий период отмечена на целине при ручной посадке. К 10-летнему возрасту сохранилось только 45 % растений от общего количества посаженных. Наибольший отпад произошел в первые два года вследствие того, что на большей части лесокультурной площади в послепожарный период в составе травостоя доминировали злаковые виды с хорошо развитой корневой системой. Пятилетние саженцы с развитой корневой системой при ручной посадке слабо зажимались в посадочной щели. Через 1,0–1,5 месяца после посадки у них происходило иссушение корней и осыпалась хвоя с побегов. При механизированной посадке саженцев также отмечена более низкая приживаемость на контроле по сравнению с опытными вариантами. Дополнительный отпад растений ели в культурах вызвали агротехнические уходы, проводившиеся ручным способом.

Химическая обработка почвы способствовала полному отмиранию всей части травянистых растений как злаковых видов, так и двудольных. По дну борозд также отсутствовала корневая система травостоя. Поэтому на опытных вариантах качество посадки сеянцев и саженцев было значительно выше, чем на контроле (целина).

Исследования биологической продуктивности культур ели на опытном участке проведены спустя 30 лет после посадки. Таксационная характеристика древостоев по вариантам обработки почвы приведена в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Таксационные показатели 33–35-летних культур ели с разными вариантами их создания и ухода

Варианты подготовки и обработки почвы	№ пробной площади	Возраст, лет	Средние		Густота, экз/га	Площадь сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
			Высота, м	Диаметр, см				
Борозда	7*	35	8,0	7,9	1197	5,88	24,8	IV
	7**	35	4,8	4,8	1281	2,29	7,8	V
Борозда	9*	33	7,6	7,3	2138	9,00	34,9	IV
	9**	33	4,1	4,2	1765	2,40	10,6	V
Борозда	18*	35	9,4	9,2	1868	12,4	42,6	III
	18**	35	5,8	6,0	1972	5,52	15,9	V
Пласт	2*	33	12,8	10,8	2003	18,4	62,7	I
Химическая обработка	2a*	33	9,4	8,5	1010	5,78	22,6	III
Химическая обработка	3*	35	11,4	10,6	1258	11,2	38,9	II
	3**	35	5,1	5,5	873	2,05	6,8	V
Химическая обработка	1*	35	10,5	10,8	1313	12,0	52,1	III
	1**	35	6,9	6,7	1175	4,18	14,8	IV
Контроль	6**	35	4,9	4,7	1481	2,57	10,0	V
Контроль	19*	35	7,0	7,4	1302	5,63	21,0	IV
	19**	35	4,6	4,9	1008	1,89	6,9	V

\*Открытое место; \*\*в коридорах, под пологом мелколиственного древостоя.

#### 5.4. СЕРИЯ ОПЫТОВ 4

Серия опытов 4 заложена Г.Г. Тереховым под руководством к.с.-х.н. Ю.П. Путятин в 1972 г. на вырубке 3-летней давности в Шамарском лесхозе Свердловской области, территория которого относится к подзоне хвойно-широколиственных лесов Предуральской предгорной провинции Восточно-Европейской равнинной лесной области (Колесников и др., 1973). Почвы подстилаются пермскими глинами, по режиму увлажнения они относятся к свежим периодически влажным. Было заложено два опытно-производственных участка (ОПУ 1-72 и ОПУ 2-72).

ОПУ 1-72 площадью 4,6 га расположен в кислотно-разнотравном типе леса на плакоре с серыми лесными оподзоленными слабооглееными суглинистыми почвами. ОПУ 2-72 площадью 5,2 га расположен в травяно-зеленомошном типе леса в нижней трети макро-

склона юго-западной экспозиции с дерново-подзолистыми суглинистыми почвами. На обоих участках выполнены три варианта подготовки почвы: 1) пласты, сформированные плугом ПЛП-135 в агрегате с трактором Т-100М; 2) минерализованные полосы (минполосы), нарезанные передним отвалом бульдозера Д-494А в агрегате с трактором Т-100 МГП, и 3) валы, сформированные плугом ПКЛ-70 встречным проходом по центру минерализованных полос. Толщина пластов 20–25 см; ширина минерализованных полос 3,0 м, глубина минерализации 10–20 см; высота валов 15–25 см.

Посадка выполнена 3-летними сеянцами в количестве до 300 экз. в каждом варианте, дополнения не проводились. Сеянцы размещались по следующим схемам: по пластам и валам – в один ряд; по минполосе – в два ряда на удалении 0,4–0,6 м от кромок при расстоянии между рядами 1,6–2,0 м. Шаг посадки по всем вариантам 0,5 м. Среднее расстояние между рядами в варианте по пластам 4,0 м, по минполосам – 4,5 м и по валам – 5,5 м.

Названные варианты выполнены в двух повторностях – без уходов (контроль) и с уходами на обоих участках. Агротехнические уходы проведены на 2-, 3- и 4-м годах после посадки в варианте «по пластам» и на 3-й год в вариантах «по минполосам» и «по валам». Лесоводственные уходы выполнены на обоих участках на 8-й и 13-й годы после посадки (осветление, т. е. удаление листовенных пород коридорным методом) и на 17-й год (прочистки путем удаления и окольцовывания крупных деревьев листовенных пород в междурядьях и изреживания ели в рядах).

На приживаемость ели по пластам в первые три года оказывали отрицательное влияние засухи мая-июня 1973 г., интенсивное зарастание посадочных мест травянистой растительностью начиная со 2-го года после посадки, механические повреждения растений при уходах, а также близкое расположение листовенных деревьев со стороны междурядий. По минполосам на суглинистых почвах при близком водоупоре, а также по валам, напаханным по минполосам, весной и осенью отмечено выжимание молодых растений ели, продолжающееся в течение 5–7 лет после посадки.

В рядах культур последних двух вариантов обработки почвы на обоих участках образовались пропуски длиной 2–8 м вследствие того, что сдирание поверхности почвы на свежей вырубке с помощью переднего отвала бульдозера было крайне неравномерным, а также из-за длительного застоя воды в местах расположения пней.

Основной отпад растений ели (28–37 %) по всем вариантам обработки почвы произошел в первые 5 лет, а затем он сократился до 2–3 % в год. К 10–15 годам приживаемость деревьев ели была выше

Таблица 5.9

Приживаемость растений ели в культурах серии опытов 4, % к количеству высаженных растений

Вариант подготовки почвы	Исходная густота, экз/га	Возраст культур, лет						
		1	2	3	5	7	10	15
<i>ОПУ 1-72. Ельник кислотно-разнотравный</i>								
Пласт	5000	96	81	70	64	60	54	51
Минполоса	4400	96	78	69	63	58	55	52
Вал по минполосе	3650	95	76	70	65	57	50	48
<i>ОПУ 2-72. Ельник травяно-зеленомошный</i>								
Пласт	5000	94	83	78	69	61	57	54
Минполоса	4400	96	82	76	70	65	60	57
Вал по минполосе	3650	98	86	79	72	67	62	59

Таблица 5.10

Таксационные показатели 31-летних культур ели по вариантам подготовки почвы в сравнении с контролем

№ ОПУ	Вариант	Подвариант*	Средние		Густота, экз/га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
			Высота, м	Диаметр, см			
1-72	Пласт	1	7,0	6,6	1801	19,5	IV
		2	7,3	6,8	1075	12,7	IV
	Минполоса	1	8,6	8,5	1712	25,8	III
		2	8,9	7,4	1317	21,0	III
	Вал по минполосе	1	7,8	7,3	1277	17,0	III
		2	8,9	8,7	924	13,9	III
2-72	Пласт	1	4,8	4,5	2351	16,5	V
		2	5,4	5,3	1861	29,0	V
	Минполоса	1	6,4	4,7	2068	19,3	IV
		2	7,0	5,9	1694	25,1	IV
	Вал по минполосе	1	4,8	4,2	1533	10,5	V
		2	5,1	4,8	1169	8,9	V

\*1 – без ухода (контроль); 2 – с уходом.

в ельнике травяно-зеленомошном на 3–11 %, а в пределах участка различие между вариантами было несущественным (3 и 5 %). Наибольшая сохранность деревьев была в варианте по пластам – 1081–2351 экз/га (табл. 5.9).

Смыкание крон деревьев в рядах наступило в возрасте 5–7 лет, при этом во всех вариантах с высокой сохранностью деревьев сильно выражена их дифференциация по высоте вследствие высокой теневыносливости ели. При высоте деревьев I класса Крафта до 11,8 м в возрасте 31 год некоторые угнетенные, но живые деревья не достигали высоты 1,3 м. Некоторые деревья высотой до 1,5 м по минпосе в микропонижениях отпали из-за вымокания. Таксационные показатели культур приведены в табл. 5.10.

## Глава 6

### ФИТОМАССА ДЕРЕВЬЕВ В ОПЫТНЫХ КУЛЬТУРАХ ЕЛИ

---

#### 6.1. СЕРИЯ ОПЫТОВ 1

Хотя по своим морфологическим и биологическим свойствам *Picea abies* и *P. obovata* очень близки, различия все же есть: по сравнению с первой вторая более зимо- и морозоустойчива, к почвам менее требовательна, может расти в условиях как избыточного увлажнения, так и в горах на относительно сухих, бедных, часто каменистых почвах. Значительная часть ареала *P. obovata* лежит в области вечной мерзлоты. Поэтому в серии опытов 1 представляет интерес установить различие названных двух видов по структуре фитомассы в культуре.

Известно, что культуры ели, созданные саженцами, в первые годы после посадки имеют лучшие приживаемость, рост и конкурентоспособность по сравнению с культурами, созданными сеянцами (Родин, 1977; Пигарев и др., 1979; Карцев и др., 1980; Конюшатов и др., 2004). Поэтому в серии опытов 1 представляет интерес сопоставить культуры ели сибирской, созданные сеянцами и саженцами, по структуре фитомассы.

Подобное сопоставление фактических данных о фитомассе деревьев, приведенных в табл. 6.1, выполнено нами с использованием блоковых фиктивных переменных (Дрейпер, Смит, 1973), кодирующих принадлежность той или иной совокупности исходных данных к той или иной сравниваемой их категории. В нашем случае упомянутых категорий три: 4-летние сеянцы *Picea abies*, 4-летние сеянцы *Picea obovata* и 5-летние саженцы *Picea obovata*. Обозначим их соответственно СН(4)Ра, СН(4)Ро и СЖ(5)Ро и кодируем, согласно табл. 6.1 следующим образом:  $X_1 = 0, X_2 = 1$  – для СН(4)Ра;  $X_1 = 0, X_2 = 0$  – для СН(4)Ро и  $X_1 = 1, X_2 = 0$  – для СЖ(5)Ро. Тогда в каждую из трех сравниваемых совокупностей фитомассы модельных деревьев войдет 18 значений (по 6 деревьев с каждого из трех участков).

Таблица 6.1

Продолжение табл. 6.1

Экспериментальные данные фитомассы в абсолютно сухом состоянии модельных деревьев в культурах ели

Диаметр, см	Высота, м	Фитомасса, кг							X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
		Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя		Корни	Сухие ветви		
					кроны	ствола				
<i>Участок № 1</i>										
Пробная площадь № 1. Посадка 4-летними сеянцами <i>Picea abies</i>										
3	3,3	0,60	0,13	0,23	0,38	0,01	0,36	2,1	0	1
3	3,37	0,61	0,11	0,30	0,52	0,01	—	12,5	0	1
6,5	6,42	4,46	0,46	2,00	1,98	0,03	1,70	20,0	0	1
6,5	6,08	4,38	0,42	1,72	2,05	0,01	—	7,8	0	1
11	7,37	11,70	1,73	7,01	9,79	0,03	7,24	30,7	0	1
11	7,15	12,39	0,73	4,97	8,34	0,02	—	11,6	0	1
Пробная площадь № 2. Посадка 4-летними сеянцами <i>Picea obovata</i>										
3	2,73	0,50	0,08	0,32	0,53	0,005	0,39	9,1	0	0
3	2,87	0,33	0,07	0,14	0,35	0,007	—	11,0	0	0
7	6,81	5,97	0,51	1,90	3,17	0,05	8,12	28,0	0	0
7	6,07	4,81	0,61	2,46	3,79	0,02	—	33,3	0	0
10	7,00	7,69	0,72	4,36	7,03	0,03	—	11,0	0	0
10	7,22	8,11	0,71	2,78	4,26	0,04	8,90	11,7	0	0
Пробная площадь № 3. Посадка 5-летними саженцами <i>Picea obovata</i>										
3	2,58	0,59	0,13	0,62	0,9	0,005	—	6,1	1	0
3	2,55	0,59	0,09	0,24	0,36	0,004	0,45	61,7	1	0
6	5,38	2,42	0,34	0,81	1,11	0,02	1,25	8,40	1	0
6	5,90	2,83	0,38	1,35	2,00	0,01	—	16,5	1	0
8	6,35	6,27	0,51	2,29	3,64	0,008	—	28,0	1	0
8	6,56	7,59	0,81	2,52	2,87	0,02	3,03	12,4	1	0
<i>Участок № 2</i>										
Пробная площадь № 4. Посадка 4-летними сеянцами <i>Picea abies</i>										
1	1,64	0,18	0,1	0,26	0,42	0,002	—	—	0	1
1	1,7	0,3	0,11	0,31	0,53	0,002	—	—	0	1
4	3,22	1,1	0,42	1,89	2,61	0,007	1,35	—	0	1
4	3,35	1,11	0,36	0,97	2,05	0,006	—	—	0	1
6	3,86	2,22	0,74	3,41	4,71	0,01	—	—	0	1
6	4,38	2,79	0,84	2,75	4,5	0,007	—	—	0	1

Диаметр, см	Высота, м	Фитомасса, кг							X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
		Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя		Корни	Сухие ветви		
					кроны	ствола				
Пробная площадь № 5. Посадка 4-летними сеянцами <i>Picea obovata</i>										
1	1,9	0,17	0,07	0,28	0,36	0,004	—	—	0	0
1	1,9	0,29	0,11	0,31	0,5	0,004	—	—	0	0
4	3	1,09	0,36	1,73	2,92	0,006	—	—	0	0
4	2,76	1,01	0,34	1,78	1,63	0,004	1,27	—	0	0
6	3,4	2,39	0,75	3,66	4,35	0,004	—	—	0	0
6	4,63	2,05	0,61	1,53	2,68	0,01	—	—	0	0
Пробная площадь № 6. Посадка 5-летними саженцами <i>Picea obovata</i>										
1	1,5	0,1	0,05	0,15	0,18	0,002	—	—	1	0
1	1,9	0,2	0,08	0,18	0,27	0,004	—	—	1	0
3	2,8	0,63	0,24	0,49	0,75	0,002	—	—	1	0
3	2,97	0,67	0,27	0,84	1,31	0,004	0,78	—	1	0
6	4,21	2,34	0,59	1,89	2,19	0,01	—	—	1	0
6	4,14	2,27	0,6	1,45	2,22	0,01	—	—	1	0
<i>Участок № 3</i>										
Пробная площадь № 7. Посадка 4-летними сеянцами <i>Picea abies</i>										
1,0	1,75	0,21	0,06	0,12	0,19	0,018	0,15	3,1	0	1
1,0	1,50	0,14	0,06	0,10	0,25	0,004	0,16	1,05	0	1
4,9	5,01	1,73	0,47	0,91	1,49	0,006	1,37	3,00	0	1
4,9	4,94	1,70	0,42	0,82	2,05	0,007	1,46	12,0	0	1
7,0	4,26	3,40	0,54	1,81	3,31	0,010	1,95	26,1	0	1
7,0	6,14	3,56	0,69	2,24	4,98	0,010	1,48	2,00	0	1
Пробная площадь № 8. Посадка 4-летними сеянцами <i>Picea obovata</i>										
1,0	1,74	0,16	0,04	0,08	0,17	0,003	0,11	3,3	0	0
1,0	1,73	0,18	0,07	0,16	0,34	0,004	0,20	3,8	0	0
4,2	4,35	1,24	0,34	0,61	1,32	0,010	—	—	0	0
4,2	3,97	1,25	0,35	0,70	1,45	0,010	1,03	9,0	0	0
8,0	6,63	4,74	1,01	3,94	5,01	0,020	—	13,9	0	0
8,0	6,50	6,07	1,12	4,65	5,36	0,030	3,92	—	0	0

Окончание табл. 6.1

Диаметр, см	Высота, м	Фитомасса, кг							X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
		Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя		Корни	Сухие ветви		
					кроны	ствола				
Пробная площадь № 9. Посадка 5-летними саженцами <i>Picea obovata</i>										
3,0	2,94	0,76	0,26	0,76	1,76	0,006	1,05	—	1	0
3,0	3,16	0,65	0,17	0,19	0,39	0,010	0,23	2,3	1	0
6,4	5,62	3,41	0,80	1,55	2,64	0,010	—	27,1	1	0
6,4	4,54	2,49	0,62	2,40	3,30	0,010	2,24	29,2	1	0
9,0	7,07	7,37	1,25	4,99	7,51	0,010	—	63,2	1	0
9,0	6,66	7,39	1,40	4,15	7,30	0,006	5,81	42,9	1	0

Сопоставление наших трех совокупностей исходных данных фитомассы деревьев выполняется с помощью уравнения

$$P_i = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2, \quad (6.1)$$

где  $P_i$  – фитомасса  $i$ -й фракции дерева (ствол, ветви, хвоя, корни) в абсолютно сухом состоянии, кг.

Поскольку необходимо выявить степень достоверности различий структуры фитомассы деревьев названных трех категорий СН(4)Ра, СН(4)Ро и СЖ(5)Ро, то в уравнении (6.1) нас интересуют не столько значения констант  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$ , сколько степень достоверности отличия  $a_1$  и  $a_2$  от  $a_0$ . Эта степень достоверности определяется величиной критерия Стьюдента  $t_{05}$  при константах  $a_1$  и  $a_2$ . Если  $t_{\text{факт}} > t_{05} = 2,0$ , то структура фитомассы деревьев категории СН(4)Ро достоверно отличается от таковой категорий СН(4)Ра и СЖ(5)Ро.

Расчет уравнения (6.1) показал, что ни для одной фракции фитомассы нет достоверного отличия по названным совокупностям и категориям, поскольку во всех случаях  $t_{\text{факт}} < t_{05} = 2,0$  (табл. 6.2).

Для практических целей, а именно при лесоинвентаризационных работах и при расчетах запасов фитомассы и углерода на лесопокрытых площадях, необходимы обобщенные регрессионные уравнения и составленные на их основе таблицы фитомассы деревьев по образцу традиционных объемных или сортиментных таблиц с двумя входами. Обычно при оценке фитомассы деревьев в качестве регрессоров используются легко измеряемые массообразующие показатели – диаметр и высота дерева. Оценочное уравнение по своей экспериментальной базе данных должно быть адекватно диапазону

Таблица 6.2

Показатели достоверности отличия фитомассы совокупностей деревьев категории СН(4)Ро от фитомассы категорий СН(4)Ра и СЖ(5)Ро, согласно уравнению (6.1)

Константа	Значения критерия Стьюдента при константах $a_1$ и $a_2$ для фракций фитомассы				
	Стволы	Ветви	Хвоя	Корни	Надземная
$a_1$	0,32	-0,02	-0,18	0,05	0,08
$a_2$	0,21	0,01	0,11	-0,26	0,13

названных массоопределяющих показателей генеральной совокупности, т. е. данные о фитомассе должны быть репрезентативными для местообитания или региона и взяты в пределах всего размаха их варьирования по каждому показателю.

Опыт расчета подобных уравнений и составления подобных таблиц для различных пород изложен в литературе (Токмурзин, Байзаков, 1970; Усольцев, Усольцева, 1977; Семечкина, 1978; Биологическая продуктивность..., 1982; Baker et al., 1984), и подходы авторов далеко не однотипны.

Обычно используется двухфакторная зависимость

$$P_i = f(H, D), \quad (6.2)$$

которая в форме линеаризованного уравнения множественной статической аллометрии имеет вид

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln D + a_3 \ln H \ln D, \quad (6.3)$$

где  $H$  и  $D$  – соответственно высота ствола (м) и диаметр на высоте груди (см).

Для составления подобных таблиц для фитомассы культур ели необходимо предварительно выяснить, достоверны ли отличия фитомассы деревьев упомянутых выше трех категорий, т. е. достоверно ли влияние древесного вида и вида посадочного материала на структуру фитомассы, при условии, что стволы имеют одни и те же линейные размеры  $H$  и  $D$ .

Чтобы ответить на этот вопрос, вводим модификацию уравнения (6.3), в частности, дополняем его блоковыми фиктивными переменными  $X_1$  и  $X_2$  (см. табл. 6.1). Модифицированное уравнение имеет вид

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln D + a_3 \ln H \ln D + a_4 X_1 + a_5 X_2, \quad (6.4)$$

Расчет уравнения (6.4) показал (табл. 6.3), что и в этом случае ни для

Таблица 6.3

Показатели достоверности отличия фитомассы равновеликих деревьев категории СН(4)Ро от фитомассы категорий СН(4)Ра и СЖ(5)Ро согласно уравнению (6.4)

Константа	Значения критерия Стьюдента при константах $a_1$ и $a_2$ для фракций фитомассы				
	Стволы	Ветви	Хвоя	Корни	Надземная
$a_4$	0,19	-0,83	-1,31	-1,16	-0,82
$a_5$	0,98	-0,04	0,21	-1,46	0,35

одной фракции фитомассы нет достоверного отличия по названным совокупностям и категориям, поскольку везде  $t_{факт} < t_{05} = 2,0$ .

Таким образом, значения фитомассы деревьев, приведенные в табл. 6.1, не различаются по древесным видам и виду посадочного материала и входят в одну генеральную совокупность, которая может быть использована в целом для составления соответствующих нормативов.

## 6.2. СЕРИЯ ОПЫТОВ 2

Как уже упоминалось, культуры в серии опытов 2 протаксированы с определением фитомассы деревьев дважды, в биологическом возрасте 8–9 и 20 лет. Соответственно структура фитомассы деревьев этой серии опытов проанализирована в два этапа.

*Структура фитомассы деревьев в возрасте 9 лет.* На начальном этапе формирования культур индивидуальная изменчивость фитомассы деревьев выражена довольно слабо вследствие использования отсортированного стандартного посадочного материала. Поэтому сопоставление вариантов посадки по величине фитомассы выполнено с использованием средних показателей. Результаты статистической обработки данных фитомассы модельных деревьев сведены в табл. 6.4.

У культур из 4-летних семян установлены достоверные различия по фитомассе деревьев как общей, так и отдельных фракций, между контролем и всеми опытными вариантами ( $t_{факт} = 2,5-10,1$ ) (см. табл. 6.4). У культур из саженцев различие фитомассы достоверно лишь в варианте между контролем и грядами ( $t_{факт} = 3,0-7,5$ ), а между контролем и пластами достоверность различий не подтвердилась. Различия фитомассы культур между вариантами по пластам и грядам достоверны в опыте с 3-летними сеянцами по всем фрак-

Таблица 6.4

Фитомасса 8–9-летних растений ели спустя 5 лет после посадки в серии опытов 2

Посадочный материал		Фитомасса растений по фракциям, г				
Вид*	Возраст, лет	Ствол	Ветви	Хвоя	Корни	Общая
<i>Перед посадкой (посадочный материал)</i>						
СН	3	0,82±0,06	0,24±0,01	1,0±0,06	0,7±0,05	2,81±0,12
СН	4	1,19±0,09	0,61±0,04	2,1±0,18	1,9±0,02	5,76±0,35
СЖ	2+2	2,05±0,16	1,37±0,09	2,5±0,22	2,9±0,03	8,87±0,77
<i>Контроль</i>						
СН	4	8,5±0,78	2,6±0,31	7,1±0,69	8,5±0,91	26,7±2,89
СЖ	2+2	19,7±1,46	3,7±0,37	18,8±1,63	14,9±1,51	57,1±3,83
<i>Пласты</i>						
СН	3	13,8±1,24	2,9±0,19	15,6±1,24	12,3±0,64	44,6±3,61
СН	4	20,7±1,62	3,9±0,27	19,2±2,26	14,7±1,26	58,5±3,67
СЖ	2+2	22,9±1,89	4,1±0,33	23,5±1,88	17,2±1,94	67,7±4,89
<i>Гряды</i>						
СН	3	21,1±1,35	3,7±0,28	21,2±1,61	16,8±0,86	62,8±4,48
СН	4	23,2±2,16	4,6±0,37	23,4±1,72	18,5±1,34	69,7±3,97
СЖ	2+2	28,2±2,31	6,7±0,52	29,8±1,81	23,1±2,08	87,8±5,64
<i>Химическая обработка</i>						
СН	4	18,8±1,27	2,9±1,09	19,0±2,01	18,1±1,96	58,8±3,96
СЖ	2+2	19,6±1,66	3,4±1,53	20,3±1,46	18,9±1,43	62,7±4,01
Значения критерия Стьюдента, характеризующие достоверность отличия фитомассы совокупностей деревьев по сравниваемым парам вариантов						
<i>Контроль и пласты</i>						
СН	4	6,80	3,09	4,39	2,45	6,72
СЖ	2+2	1,31	0,83	1,89	0,93	1,71
<i>Контроль и гряды</i>						
СН	4	6,43	4,07	10,1	3,84	8,78
СЖ	2+2	7,50	5,32	4,51	5,76	2,95
<i>Контроль и химическая обработка</i>						
СН	4	6,92	1,04	7,63	6,61	5,47
СЖ	2+2	0,18	0,25	0,60	1,93	1,22
<i>Пласты и гряды</i>						
СН	3	2,67	2,42	2,77	4,21	3,17
СН	4	0,91	2,28	1,48	2,06	1,85
СЖ	2+2	1,64	4,19	2,64	2,59	2,56



циям, в опыте с саженцами – лишь по ветвям, хвое и корням, а в опыте с 4-летними сеянцами различия недостоверны.

Доля массы стволтиков в общей массе растений во всех вариантах довольно стабильна и колеблется в пределах 31–35 %, а доля массы ветвей – 6–10 %.

Отношение массы хвои к массе корней в контроле заметно снизилось, а в опытных вариантах, напротив, повысилось по сравнению с исходным посадочным материалом, что свидетельствует о более высокой степени развития ассимиляционного аппарата в условиях меньшей конкуренции со стороны травостоя. В вариантах по грядам и пластам названный показатель мало зависит от вида и возраста посадочного материала и колеблется незначительно, соответственно от 1,26 до 1,29 и от 1,27 до 1,37.

В целом, судя по данным табл. 6.4, на начальном этапе формирования культур ели более благоприятные условия для реализации продукционного потенциала местообитания обеспечиваются при посадке по грядам, несколько хуже – при посадке по пластам и после химической обработки, и наихудшие – в контроле (т. е. без подготовки почвы).

*Структура фитомассы деревьев в возрасте 20 лет.* В 20-летних культурах ели получены фактические данные о структуре фитомассы деревьев в количестве 102 моделей по разным вариантам, приведенным в табл. 5.5. Различия фитомассы деревьев по вариантам закладки и формирования культур проанализированы, как и в серии опытов 1, с использованием фиктивных, в данном случае бинарных (т. е. принимающих значения либо 1, либо 0) переменных. Структурирование фактических данных фитомассы по вариантам и соответствующим блокам бинарных переменных показано в табл. 6.5.

На основе предварительного сравнительного анализа фактических значений фитомассы деревьев в связи с массообразующими параметрами выделено два варианта попарного сравнения уравнений (6.3), характеризующих способы выращивания культур ели соответственно на открытых местах и под пологом вторичного лиственного древостоя, возникшего после рубки. В пределах каждого выделены пары подвариантов, и каждая пара закодирована бинарной переменной  $X_j$ , где  $j = 1, 2, 3, \dots, 7$ . Для первой составляющей названной пары бинарная переменная  $X_1$  принята равной 1, а для второй – 0.

При расчете уравнений (6.3) по названным семи вариантам бинарная переменная  $X_j$  поочередно вводилась в уравнения в качестве независимой переменной, и значимость константы при ней, по Стьюдену, характеризовала наличие или отсутствие достоверности различий сравниваемых попарно уравнений (табл. 6.6). Константы, характеризующие достоверные различия уравнений, выделены в табл. 6.6 шрифтом.

Таблица 6.5

**Фитомасса (в абсолютно сухом состоянии) модельных деревьев, взятых в 20-летних культурах ели серии опытов 2 при различных вариантах способов выращивания, закодированных бинарными переменными**

Вариант способа выращивания	№ пробной модели	№ модели	Диаметр, см	Высота, м	Фракционный состав фитомассы, кг									Бинарные переменные													
					Ствол, всего	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни	Общая	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$									
Гряды		1	2,0	2,41	0,63	0,11	0,55	0,668	1,848	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		2	2,0	2,20	0,48	0,06	0,44	0,535	1,455	0,183	—	1,64	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2*	3	5,7	5,13	2,97	0,41	1,34	2,63	6,94	—	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		4	5,6	4,88	2,87	0,42	2,50	3,48	8,85	2,29	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5	8,0	6,46	6,31	0,81	3,24	4,78	14,3	4,43	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		6	7,6	6,00	4,83	0,49	2,51	3,13	10,5	—	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Гряды		7	1,1	1,88	0,38	0,05	0,15	0,232	0,762	0,176	1,70	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8	1,0	1,50	0,39	0,06	0,40	0,301	1,09	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2**	9	4,0	3,56	1,31	0,16	1,23	0,946	3,49	0,810	4,30	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		10	4,0	3,44	1,43	0,20	0,61	1,035	3,08	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		11	6,9	6,36	4,57	0,50	2,02	3,13	9,72	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		12	7,1	6,61	5,00	0,52	2,43	2,99	10,4	1,70	12,1	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Гряды		13	0,7	1,42	0,24	0,04	0,25	0,241	0,731	0,104	0,835	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		14	1,1	1,66	0,25	0,05	0,23	0,203	0,683	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3*	15	5,0	4,30	2,00	0,31	1,60	2,05	5,65	1,52	7,17	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		16	5,2	4,63	2,27	0,31	1,96	2,36	6,59	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		17	7,1	6,05	5,36	0,74	4,09	5,41	14,9	3,56	18,4	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		18	7,2	5,46	5,86	0,74	6,58	10,25	22,7	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Вариант способа выращивания	№ пробной площадки	№ модели	Диаметр, см	Высота, м	Фракционный состав фитомассы, кг							Бинарные переменные																	
					Свод. всего	Кора ствол	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни	Общая	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>											
Гряды	3**	19	1,2	1,70	0,26	0,04	0,14	0,212	0,612	—	—	—	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
		20	0,6	1,61	0,31	0,03	0,12	0,182	0,612	0,140	0,752	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
		21	4,8	5,10	1,86	0,25	1,19	1,39	4,44	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		22	4,2	4,24	1,44	0,19	0,64	0,88	2,96	0,630	3,59	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		23	6,0	5,37	3,35	0,38	2,00	2,83	8,18	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Гряды	4*	24	5,9	4,67	2,81	0,48	2,04	2,89	7,74	1,47	9,21	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		25	1,0	1,65	0,28	0,04	0,26	0,394	0,934	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		26	0,9	1,46	0,23	0,03	0,20	0,181	0,611	0,129	0,74	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		27	4,6	4,19	1,68	0,27	1,17	1,41	4,26	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		28	4,6	4,54	1,91	0,26	0,85	1,48	4,24	0,935	5,18	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Гряды	4**	29	5,5	4,40	3,07	0,51	3,69	3,81	10,6	1,61	12,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		30	6,6	5,30	3,46	0,56	2,38	2,98	8,82	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		31	1,0	1,97	0,27	0,05	0,16	0,224	0,654	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		32	1,2	1,77	0,32	0,05	0,25	0,522	1,09	0,188	1,28	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		33	3,9	3,97	1,61	0,15	0,70	1,47	3,78	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Гряды	4**	34	4,2	4,08	1,44	0,18	0,93	1,22	3,59	0,934	4,52	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		35	6,0	5,82	3,30	0,38	2,06	4,22	9,58	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		36	5,9	6,52	3,40	0,38	1,43	2,88	7,71	1,68	9,39	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		37	1,0	1,60	0,22	0,03	0,11	0,216	0,546	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		38	1,4	1,77	0,64	0,13	0,64	0,584	1,86	0,331	2,19	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Химическая обработка	14*	39	4,6	4,43	2,40	0,23	1,39	2,48	6,27	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		40	5,7	4,53	2,36	0,32	2,82	3,13	8,31	1,76	10,1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		41	7,5	6,20	5,20	0,80	3,84	4,52	13,6	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		42	7,6	6,38	5,66	0,63	4,10	5,65	15,4	3,98	19,4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		43	0,9	1,57	0,19	0,03	0,11	0,102	0,402	0,072	0,474	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Химическая обработка	14**	44	1,0	1,78	0,24	0,04	0,11	0,123	0,473	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		45	3,3	3,4	0,78	0,14	0,35	0,690	1,82	0,395	2,22	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		46	2,9	2,98	0,73	0,15	0,52	0,701	1,95	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		47	5,4	3,80	1,87	0,16	0,91	1,54	4,32	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		48	4,7	4,45	1,87	0,23	1,17	1,98	5,02	0,945	5,97	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Химическая обработка	7*	49	1,0	1,79	0,23	0,03	0,14	0,226	0,596	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		50	1,0	1,45	0,23	0,05	0,10	0,212	0,542	0,091	0,633	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		51	4,3	3,40	1,40	0,18	1,34	1,74	4,48	0,990	5,47	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		52	4,7	3,86	1,83	0,21	1,85	1,83	5,51	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		53	8,7	6,16	7,76	0,95	4,80	5,90	18,5	3,69	22,2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Химическая обработка	7**	54	8,3	6,76	7,48	0,87	4,29	5,77	17,5	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		55	1,0	1,53	0,22	0,04	0,15	0,232	0,602	0,111	0,713	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		56	1,0	1,59	0,27	0,04	0,18	0,180	0,630	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		57	3,4	3,27	0,91	0,13	1,32	1,42	3,65	—	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		58	3,4	3,20	0,80	0,12	0,77	0,744	2,31	0,371	2,69	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Химическая обработка	7**	59	5,8	5,14	3,05	0,42	2,44	2,74	8,23	—	—	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		60	6,7	5,19	3,11	0,38	2,70	3,05	8,86	1,87	10,7	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Окончание табл. 6.5

Вариант способа выращивания	№ пробной площадки	№ модели	Диаметр, см	Высота, м	Фракционный состав фитомассы, кг						Общая	Бинарные переменные					
					Стебель	Кора	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
Пласт	8*	61	2,1	2,30	0,63	0,09	0,33	0,476	1,44	-	-	1	1	1	1	1	
		62	1,7	2,47	0,36	0,04	0,19	0,397	0,947	0,132	1,08	1	1	1	1	1	
		63	4,8	4,46	2,12	0,31	1,79	1,82	5,73	0,882	6,61	1	1	1	1	1	
		64	4,8	5,42	2,88	0,25	0,95	1,43	5,26	-	-	1	1	1	1	1	
		65	8,0	6,96	6,84	0,92	5,42	7,19	19,5	-	-	1	1	1	1	1	
		66	8,0	6,61	6,70	0,74	4,11	4,46	15,3	3,04	18,3	1	1	1	1	1	
Пласт	8**	67	1,1	1,95	0,27	0,05	0,14	0,222	0,632	0,083	0,715	0				1	
		68	1,0	1,67	0,24	0,04	0,20	0,282	0,722	-	-	0				1	
		69	3,4	3,55	1,06	0,28	0,62	0,886	2,57	0,439	3,00	0				1	
		70	4,0	4,18	1,48	0,20	0,60	1,59	3,67	-	-	0				1	
		71	6,8	6,00	4,20	0,46	2,97	4,35	11,5	-	-	0				1	
		72	7,0	5,24	4,07	0,55	4,64	6,24	15,0	2,18	17,1	0				1	
Двойной пласт	10*	73	2,0	1,70	0,43	0,046	0,25	0,253	0,933	-	-					1	
		74	1,3	1,91	0,39	0,07	0,21	0,283	0,883	0,107	0,99					1	
		75	5,4	5,30	3,23	0,40	2,83	3,22	9,28	-	-					1	
		76	5,0	4,38	2,13	0,26	1,58	2,17	5,88	0,92	6,80					1	
		77	9,1	6,80	10,4	1,00	5,43	8,45	24,3	-	-					1	
		78	9,0	6,66	13,1	1,29	5,24	6,71	25,1	3,44	28,5					1	

Пласт	17*	79	0,6	1,40	0,19	0,03	0,17	0,213	0,373	-	-	1	1	1	1	1	
		80	0,9	1,68	0,24	0,03	0,13	0,283	0,653	0,134	0,787					1	
		81	4,1	4,35	1,47	0,15	0,63	1,56	3,66	0,793	4,45					1	
		82	4,1	4,07	1,22	0,09	0,77	1,62	3,61	-	-					1	
		83	7,0	5,52	4,58	0,66	3,03	5,65	13,3	-	-					1	
		84	7,1	5,83	4,38	0,46	2,99	5,47	12,8	2,83	15,7					1	
Пласт	17**	85	0,9	1,51	0,28	0,038	0,17	0,322	0,772	0,138	0,910	0				1	
		86	1,0	1,72	0,25	0,032	0,14	0,310	0,700	-	-					1	
		87	3,4	3,60	1,18	0,16	1,43	1,70	4,31	0,711	5,02					1	
		88	3,4	3,85	1,08	0,14	0,52	0,877	2,48	-	-					1	
		89	7,0	6,97	5,55	0,65	2,74	4,32	12,6	-	-					1	
		90	6,8	6,18	4,38	0,58	2,95	5,54	12,9	2,04	14,9					1	
Контроль (без обработки)	24*	91	0,8	1,61	0,15	0,03	0,15	0,170	0,470	0,192	0,662	0	0	0	0		
		92	1,0	1,60	0,37	0,05	0,16	0,230	0,760	-	-					0	
		93	3,5	3,41	1,93	0,20	0,87	1,03	3,83	0,498	4,33					0	
		94	3,8	3,27	1,21	0,19	1,40	1,88	4,49	-	-					0	
		95	5,9	4,82	3,42	0,44	2,83	3,34	9,59	2,20	11,8					0	
		96	5,7	4,15	2,41	0,26	2,09	2,40	6,90	-	-					0	
Контроль (без обработки)	24**	97	0,8	1,39	0,21	0,03	0,18	0,220	0,610	-	-					0	
		98	1,0	1,42	0,16	0,06	0,13	0,100	0,390	0,065	0,455					0	
		99	2,1	2,06	0,50	0,13	0,52	0,293	1,31	-	-					0	
		100	2,2	2,19	0,54	0,11	0,60	0,464	1,60	0,454	2,05					0	
		101	3,6	2,97	1,18	0,16	0,93	1,30	3,41	0,736	4,15					0	
		102	3,7	3,42	1,10	0,12	1,03	1,15	3,28	-	-					0	

Таблица 6.6

Показатели достоверности (по Стьюденту) различия попарных уравнений (6.3), описывающих (по способам выращивания) зависимости фитомассы деревьев от определяющих предикторов

Способ выращивания	Фракционный состав фитомассы							$X_j$	
	Ствол в коре	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни	Общая		
Все способы на открытых местах Все способы под пологом	1,5	0,4	1,5	1,8	1,8	1,6	1,1	$X_1$	
Все способы Контроль	Открытые места	0,9	0,3	0,3	0,4	0,3	1,2	0,7	$X_2$
Посадка по грядкам и пластам Контроль		0,9	0,2	0	0,4	0,1	1,7	0,9	$X_3$
Посадка по грядкам и пластам Способы с химобработкой		0,1	0,7	0,8	0,3	0,5	0,3	0	$X_4$
Все способы Контроль	Под пологом	0,4	1,1	0,7	0,9	0,3	0,4	0,3	$X_5$
Посадка по грядкам и пластам Контроль		1,4	0,3	0,1	1,7	1,3	0,2	1,1	$X_6$
Посадка по грядкам и пластам Способы с химобработкой		3,0	1,6	1,1	2,4	2,5	1,9	2,5	$X_7$

Данные этой таблицы дают возможность судить о степени достоверности различия способов выращивания культур (объединенных в некоторые группы) по значениям фитомассы деревьев, описываемой зависимостями от массообразующих показателей. Иными словами, как уже упоминалось, речь идет о достоверном или недостоверном различии фитомассы деревьев по вариантам и подвариантам выращивания при условии, что их массообразующие показатели (высота и диаметр ствола) в вариантах одни и те же.

Результаты регрессионного анализа показывают (см. табл. 6.6), что фитомасса равновеликих деревьев достоверно не различается между вариантами создания культур:

1) на открытых местах и под пологом вторичного древостоя ( $t_{\text{факт}} = 0,4-1,8 < t_{05} = 2,0$ );

и между подвариантами:

1) с обработкой почвы и без нее (контролем) ( $t_{\text{факт}} = 0,3-1,2 < t_{05} = 2,0$  на открытых местах и  $t_{\text{факт}} = 0,3-1,1 < t_{05} = 2,0$  под пологом);

2) посадкой по грядкам и пластам и контролем ( $t_{\text{факт}} = 0-1,7 < t_{05} = 2,0$  на открытых местах и  $t_{\text{факт}} = 0,2-1,7 < t_{05} = 2,0$  под пологом);

3) посадкой по грядкам и пластам и с химической обработкой на открытых местах ( $t_{\text{факт}} = 0-0,8 < t_{05} = 2,0$ ).

Единственные подварианты, между которыми различия фитомассы достоверны по некоторым фракциям, – это закладка культур по грядкам (пластам) и с химической обработкой под пологом (бинарная переменная  $X_7$ ). Конкретно, при одних и тех же значениях определяющих факторов в уравнениях (6.3) показатели фитомассы (в частности, стволов, хвои, надземной и общей фитомассы) достоверно ( $t_{\text{факт}} = 2,4-3,0 > t_{05} = 2,0$ ) на грядках (пластах) выше, чем в вариантах с химобработкой. Это означает, что таблицы для подеревной оценки фитомассы необходимо составлять отдельно для культур, выращиваемых по грядкам (пластам) и в варианте с химической обработкой, причем только в варианте «под пологом вторичного древостоя».

Тем не менее есть основания пока воздержаться от составления подобных дифференцированных по двум подвариантам подеревных таблиц фитомассы, поскольку фактических данных (12 модельных деревьев в варианте с химобработкой и 24 – в вариантах «по грядкам и пластам») недостаточно для составления нормативов и, что более важно, – нет пока объяснения, почему нет достоверного различия между названными подвариантами в варианте «на открытых местах».

### 6.3. СЕРИЯ ОПЫТОВ 3

Уравнения (6.3) взяты за основу при анализе и моделировании фракционной структуры фитомассы 33–35-летних культур ели на уровне дерева. Всего включено в расчет 90 модельных деревьев, взятых на пробных площадях с разными вариантами создания и формирования культур. Их структурирование по блоковым фиктивным переменным показано в табл. 6.7.

На основе предварительного сравнительного анализа фактических значений фитомассы деревьев в связи с массообразующими параметрами выделено два уровня попарного сравнения уравнений (6.3). Первый характеризует варианты выращивания культур ели на открытых местах и под пологом вторичного листового древостоя, возникшего после рубки. На втором уровне в пределах каждого варианта выделены пары подвариантов, и каждая пара закодирована

Фитомасса модельных деревьев, взятых на опытно-производственном участке Билимбайского лесхоза в 33–35-летних культурах или при различных вариантах выращивания, закодированных бинарными переменными

Вариант способа выращивания	№ пробной площади	№ модели	А, лет	D, см	H, м	Фитомасса, кг***				Бинарные переменные***					
						P <sub>ш</sub>	P <sub>б</sub>	P <sub>пр</sub>	P <sub>ф</sub>	P <sub>обо</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
Борозда	7*	37	35	5,00	4,68	2,24	0,884	1,9	0,938	5,08	1	1		1	
		38	35	5,40	6,46	3,18	0,384	1,414	0,806	5,40	1	1		1	
		39	35	8,90	11,74	11,98	1,09	3,22	2,74	17,94	1	1		1	
		40	35	9,20	10,54	13,18	1,226	3,72	2,28	19,18	1	1		1	
		41	35	13,40	13,0	28,68	4,04	9,56	6,70	44,94	1	1		1	
		42	35	13,00	13,0	26,6	4,06	9,26	5,02	40,88	1	1		1	
Борозда	7**	31	35	3,20	3,10	0,692	0,224	0,738	0,212	1,64	0		1		1
		32	35	3,00	3,30	0,912	0,318	0,736	0,274	1,92	0		1		1
		33	35	6,10	6,17	3,06	0,434	1,582	0,664	5,31	0		1		1
		34	35	6,00	5,03	3,36	0,366	2,64	1,398	7,40	0		1		1
		35	35	8,70	10,0	9,78	1,924	2,98	2,6	15,36	0		1		1
		36	35	8,50	7,01	8,86	0,724	4,92	3,14	16,92	0		1		1
Борозда	9*	49	33	4,00	5,11	1,314	0,216	0,73	0,196	2,24	1	1		1	
		50	33	3,90	4,14	1,36	0,138	1,068	0,476	2,90	1	1		1	
		51	33	8,60	7,28	5,48	1,408	4,5	1,824	11,80	1	1		1	
		52	33	8,60	9,40	8,28	0,976	3,74	1,632	13,65	1	1		1	
		53	33	14,00	13,48	34,24	3,44	13,32	8,1	55,66	1	1		1	
		54	33	12,70	13,29	26,14	3,00	6,74	5,24	38,12	1	1		1	

Борозда	9**	43	33	1,80	2,78	0,224	0,04	0,148	0,066	0,438	0		1		1
		44	33	2,10	2,70	0,504	0,09	0,272	0,204	0,98	0		1		1
		45	33	4,90	4,80	2,28	0,508	1,782	0,526	4,588	0		1		1
		46	33	4,90	6,12	2,86	0,45	1,816	1,034	5,71	0		1		1
		47	33	7,60	8,35	7,38	1,072	3,38	1,944	12,7	0		1		1
		48	33	7,20	9,40	11,24	1,902	2,5	1,436	15,2	0		1		1
Борозда	18*	61	35	4,50	4,41	1,654	0,378	1,442	0,606	3,70	1	1		1	
		62	35	4,50	5,54	1,706	0,438	1,128	0,332	3,17	1	1		1	
		63	35	8,20	9,64	9,56	1,72	3,44	2,10	15,1	1	1		1	
		64	35	7,20	7,80	7,24	1,182	3,34	1,252	11,83	1	1		1	
		65	35	13,7	11,0	23,34	1,774	12,98	6,96	43,28	1	1		1	
		66	35	14,6	12,1	29,14	3,32	19,28	6,88	55,3	1	1		1	
Борозда	18**	55	35	3,50	3,88	1,152	0,316	0,952	0,258	2,36	0		1		1
		56	35	3,60	3,93	0,48	0,284	0,664	0,176	1,32	0		1		1
		57	35	6,00	5,80	3,20	0,72	1,532	0,848	5,58	0		1		1
		58	35	6,20	6,51	4,24	0,512	1,906	1,222	7,37	0		1		1
		59	35	9,60	10,03	6,50	1,706	5,58	3,98	16,1	0		1		1
		60	35	10,80	10,72	15,22	3,00	5,48	3,50	24,2	0		1		1
Плост	2*	1	33	6,20	7,3	3,6	0,598	1,474	0,302	5,38	1	1			
		2	33	5,20	5,83	2,7	0,412	1,49	0,612	4,80	1	1			
		3	33	10,6	10,3	16,68	1,606	7,92	3,18	27,8	1	1			
		4	33	12,6	11,06	21,04	3,02	11,82	7,30	40,2	1	1			
		5	33	17,4	10,8	37,74	8,4	30,44	11,26	79,4	1	1			
		6	33	16,6	10,9	39,28	6,6	19,46	8,42	67,2	1	1			

Вариант способа выращивания	№ пробной площади	№ модели	А, лет	D, см	H, м	Фитомасса, кг***						Бинарные переменные***				
						Pst	Pb	Pbr	Pf	Pabo	X1	X2	X3	X4	X5	
Химическая обработка	2а*	7	33	3,85	4,05	1,866	0,248	2,84	0,598	5,304	1	1			0	
		8	33	5,70	5,97	3,00	0,534	1,092	0,71	4,802	1	1			0	
		9	33	8,00	8,60	9,14	2,2	3,06	2,06	14,26	1	1			0	
		10	33	10,30	10,36	14,3	2,68	6,98	4,12	25,4	1	1			0	
		11	33	13,70	10,9	24,66	1,71	15,98	6,5	47,1	1	1			0	
		12	33	13,10	11,3	27,12	4,54	14,52	8,08	49,7	1	1			0	
	Химическая обработка	3*	13	35	5,20	5,7	2,62	0,378	1,064	0,812	4,50	1	1			0
			14	35	5,10	6,1	2,84	0,332	1,184	0,682	4,71	1	1			0
			15	35	10,30	8,25	11,86	1,976	4,64	3,24	19,7	1	1			0
			16	35	10,20	9,4	13,26	1,91	5,22	3,76	22,2	1	1			0
			17	35	15,00	11,8	32,16	4,08	20,96	12	65,1	1	1			0
			18	35	14,00	11,2	25,9	3,26	13,32	5,46	44,7	1	1			0
Химическая обработка	3**	19	35	3,20	3,1	1,032	0,1	0,81	0,102	1,94	0		1		0	
		20	35	3,50	3,76	1,00	0,234	0,482	0,136	1,62	0		1		0	
		21	35	5,40	4,52	2,38	0,326	2,52	0,82	5,72	0		1		0	
		22	35	5,40	5,05	2,30	0,286	1,71	0,352	4,36	0		1		0	
		23	35	10,40	11,03	16,2	1,988	6,50	3,68	26,4	0		1		0	
		24	35	10,10	9,6	8,2	2,18	6,78	4,50	19,5	0		1		0	
		85	35	6,35	9,25	6,32	0,772	1,42	1,134	8,87	1	1			0	
		86	35	6,25	8,4	5,22	0,818	2,36	1,47	9,05	1	1			0	
		87	35	10,20	10,1	14,6	2,24	6,98	4,76	26,3	1	1			0	
		88	35	10,15	10,31	14,9	2,04	4,26	3,30	22,5	1	1			0	
89	35	14,60	12,6	35,12	3,4	16,1	10,96	62,2	1	1			0			
90	35	14,60	12,4	42,34	3,18	17,1	8,52	68,0	1	1			0			

Химическая обработка	1**	79	35	4,30	4,66	1,812	0,266	1,342	0,41	3,564	0		1		0
		80	35	3,95	5,64	1,628	0,182	0,66	0,19	2,478	0		1		0
		81	35	6,50	6,45	4,00	0,622	2,28	1,376	7,656	0		1		0
		82	35	6,50	7,26	5,02	0,952	2,40	1,22	8,64	0		1		0
		83	35	8,90	8,6	11,22	2,38	4,06	3,08	18,4	0		1		0
		84	35	8,50	8,10	9,24	1,234	4,48	2,32	16,0	0		1		0
Контроль	6**	25	35	3,90	4,99	1,402	0,304	0,654	0,322	2,38	0		0		
		26	35	4,40	4,81	1,68	0,428	0,732	0,326	2,74	0		0		
		27	35	7,70	6,79	5,32	0,854	3,94	1,594	10,85	0		0		
		28	35	7,90	8,1	7,20	0,794	2,46	1,386	11,05	0		0		
		29	35	12,70	13,65	24,46	2,70	11,7	6,28	42,4	0		0		
		30	35	13,40	11,44	24,22	2,52	9,24	5,16	38,6	0		0		
Контроль	19*	73	35	4,40	4,39	1,588	0,45	0,88	0,418	2,886	1	0			
		74	35	5,20	6,36	3,5	0,698	1,598	0,706	5,804	1	0			
		75	35	9,00	8,24	9,22	1,748	4,28	3,36	16,86	1	0			
		76	35	8,70	10,03	11,9	2,06	4,60	4,90	21,4	1	0			
		77	35	12,10	11,36	22,1	3,66	11,0	7,1	40,2	1	0			
		78	35	11,50	9,29	15,34	3,68	5,4	3,1	23,8	1	0			
Контроль	19**	67	35	2,60	3,32	0,606	0,182	0,686	0,11	1,402	0		0		
		68	35	3,20	2,98	0,88	0,198	0,66	0,37	1,91	0		0		
		69	35	6,80	6,86	4,16	0,846	2,96	0,868	7,99	0		0		
		70	35	6,30	6,09	3,92	0,562	2,14	1,112	7,17	0		0		
71	35	8,90	8,92	10,92	2,16	4,62	2,72	18,3	0		0				
72	35	10,20	9,67	12,92	1,772	5,24	2,54	20,7	0		0				

\*Открытое место; \*\*в коридорах, под поломом мелколистного древостой; \*\*\*обозначения см. по тексту.

Таблица 6.8

Показатели достоверности (по Стьюденту) различия попарных уравнений (6.3), описывающих (по способам выращивания) зависимости фитомассы деревьев от определяющих предикторов

Сравниваемые способы выращивания	Фракционный состав фитомассы*				$X_j$	
	$Pst$	$Pbr$	$Pf$	$Pabo$		
Все способы на открытых местах Все способы под пологом	1,0	0,6	0,3	1,0	$X_1$	
Химическая обработка и борозды Контроль	Открытые места	-1,0	0,4	-1,4	-0,6	$X_2$
Обработка бороздами Химическая обработка		-3,3	-0,9	-2,6	-2,6	$X_4$
Химическая обработка и борозды Контроль	Под пологом	-0,1	0,5	1,1	0,6	$X_3$
Обработка бороздами Химическая обработка		-0,4	-0,1	1,9	0,2	$X_5$

\*Обозначения см. по тексту.

бинарной переменной  $X_j$ , где  $j = 1, 2, 3, 4$  и  $5$ . Для первой составляющей названной пары бинарная переменная  $X_j$  принята равной 1, а для второй – 0 (см. табл. 6.7).

При расчете уравнений (6.3) по названным пяти вариантам бинарная переменная  $X_j$  поочередно вводилась в уравнения в качестве независимой переменной, и значимость константы при ней по Стьюденту характеризовала наличие или отсутствие достоверности различий сравниваемых попарно уравнений (табл. 6.8). Достоверные показатели различия уравнений выделены в табл. 6.8 жирным шрифтом. Данные таблицы дают возможность судить о степени достоверности различия способов выращивания культур (объединенных в некоторые группы) по значениям фитомассы деревьев, описываемой зависимостями от массообразующих показателей. Как и в предыдущей серии опытов, речь идет о достоверном или недостоверном различии фитомассы деревьев по вариантам и подвариантам выращивания при условии, что их массообразующие показатели (высота и диаметр ствола) в вариантах одни и те же.

Как следует из табл. 6.8, на открытых пространствах фитомасса всех фракций у равновеликих деревьев несколько больше, чем под пологом древостоя, но это различие статистически недостоверно ( $t_{факт} = 0,3-1,0 < t_{0,5} = 2,0$ ). Обработка почвы по сравнению с контро-

лем также достоверно не влияет на показатели фитомассы равновеликих деревьев:  $t_{факт}$  варьирует от  $-1,0$  до  $+1,1$ , но во всех случаях  $t_{факт} < t_{0,5} = 2,0$ . Довольно неопределенным оказалось влияние на фитомассу равновеликих деревьев двух различных способов обработки почвы – создание борозд и химической обработки. Если под пологом древостоя показатель фитомассы деревьев не зависит от способа подготовки почвы, то на открытых местах фитомасса стволов, хвои и надземная в бороздах достоверно ниже, чем при химической обработке целинного участка ( $t_{факт} = 2,6-3,3 > t_{0,5} = 2,0$ ).

Таким образом, можно с некоторым допущением принять, что, как и в предыдущей серии опытов, по большинству сравниваемых вариантов и подвариантов достоверных различий по показателям фитомассы равновеликих деревьев нет.

#### 6.4. СЕРИЯ ОПЫТОВ 4

Показатели фитомассы деревьев в культурах серии опытов 4 приведены в табл. 6.9.

Судя по данным табл. 5.10, бонитет на опытно-производственном участке (ОПУ) 2-72 примерно на один класс ниже, чем на 1-72, по-видимому, вследствие худших лесорастительных условий и периодических повреждений молодых побегов ели заморозками в пониженном местообитании, где скапливаются холодные массы воздуха. Видимо поэтому фитомасса деревьев на участке 1-72 существенно выше, чем на участке 2-72, во всех вариантах без ухода и в большинстве вариантов – с уходом.

Уход за культурами значительно повысил фитомассу деревьев, причем в лучших условиях произрастания (ОПУ 1-72) повышение составило 1–23 %, а в худших (ОПУ 2-72) 39–63 %.

Таблица 6.9

Фитомасса деревьев по фракциям в абсолютно сухом состоянии в культурах серии опытов 4, кг

№ участка	Подвариант	Вариант*	Стволы		Ветви		Хвои	Надземная
			Древесина	Кора	Живые	Отмершие		
1-72	Пласт	1	5,3±0,89	0,4±0,03	2,1±0,14	0,2±0,01	1,8±0,23	10,3±0,87
		2	5,8±0,47	0,4±0,02	2,2±0,18	0,2±0,01	2,0±0,08	10,6±0,98
	Минполоса	1	7,1±0,56	0,8±0,09	3,2±0,19	0,3±0,01	3,4±0,30	14,8±1,09
		2	7,5±0,66	0,9±0,03	3,5±0,29	0,3±0,02	3,7±0,27	15,9±1,04
	Вал по минполосе	1	6,5±0,41	0,5±0,02	2,5±0,09	0,1±0,006	2,2±0,19	12,0±0,95
		2	7,3±0,51	0,6±0,04	3,8±0,31	0,3±0,03	2,8±0,29	14,8±1,22

Окончание табл. 6.9

№ участка	Подвариант	Вариант*	Стволы		Ветви		Хвоя	Надземная
			Древесина	Кора	Живые	Отмершие		
2-72	Пласт	1	3,4±0,20	0,3±0,02	2,4±0,18	0,1±0,01	2,2±0,14	8,4±0,73
		2	7,7±0,63	0,5±0,04	3,0±0,29	0,2±0,02	2,3±0,16	13,7±1,26
	Минполоса	1	4,5±0,33	0,4±0,02	1,7±0,09	0,1±0,01	1,4±0,09	8,1±0,91
		2	7,1±0,70	0,6±0,04	2,6±0,19	0,2±0,01	2,3±0,22	12,8±1,09
	Вал по минполосе	1	3,4±0,31	0,2±0,01	1,1±0,07	0,1±0,01	1,1±0,06	5,9±0,48
		2	3,8±0,23	0,2±0,01	2,3±0,19	0,1±0,01	1,8±0,16	8,2±0,73

\*1 – без ухода (контроль); 2 – с уходом.

**6.5. НОРМАТИВНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ПОДЕРЕВНОЙ ОЦЕНКИ ФИТОМАССЫ В КУЛЬТУРАХ ЕЛИ СИБИРСКОЙ I – II КЛАССОВ ВОЗРАСТА**

Для получения наиболее надежных регрессионных моделей фитомассы и составленных на их основе нормативных (оценочных) таблиц материалы оценки фитомассы культур ели, полученные в сериях опытов 2 и 3, совмещены.

Сводные данные фитомассы включают в себя 13 модельных деревьев в возрасте от 3 до 9 лет, 156 деревьев в возрасте 20 лет, 12 деревьев в возрасте 31 года и 90 деревьев в возрасте 33–35 лет. Таким образом, обобщенный массив данных по фитомассе модельных деревьев культур ели состоит из 271 дерева, из которых данные по 90 деревьям в возрастном диапазоне от 3 до 20 лет получены не только по надземной фитомассе, но и по массе корней. Все они включены в расчет регрессионных уравнений.

Необходимо отметить одну особенность моделирования фитомассы деревьев первых двух классов возраста, а именно: составление обобщенных моделей и таблиц для всего возрастного диапазона от 1 до 35 лет невозможно по той причине, что одним из входов в таблицы служит диаметр на высоте груди (1,3 м), а деревья ели достигают высоты 1,3 м лишь к возрасту 10–15 лет, а иногда и позднее.

С учетом этой особенности нами рассчитаны модели и составлены соответствующие таблицы двух видов: в одном случае по данным модельных деревьев 20–35-летнего возраста рассчитаны уравнения вида (6.3) с независимыми переменными  $D$  и  $H$ , а в другом – уравнения (6.5) с независимыми переменными  $A$  и  $H$ . В последнем случае уравнения (6.5) и соответствующие таблицы действительны

Таблица 6.10

Характеристика уравнений (6.3) зависимости фитомассы деревьев от определяющих независимых переменных\*

$\ln P_i$	Константы и независимые переменные						$R^2$	SE
	$a_0$	$a_1$ ( $\ln D$ )	$a_2$ ( $\ln H$ )	$a_3$ ( $\ln D \ln H$ )	$a_4$ ( $\ln Pst$ )	$a_5$ ( $\ln Pbr$ )		
$\ln Pst$	-1,3737	0,6134	–	0,4875	–	–	0,973	0,229
$\ln Pbr$	0,4915	0,7756	-1,2286	0,1475	0,7887	–	0,939	0,322
$\ln Pf$	0,8851	1,0821	-1,8227	0,2885	–	0,5916	0,815	0,522
$\ln Pr$	-0,3857	0,3277	–	–	0,8055	–	0,934	0,336

\*Обозначения см. по тексту.

Таблица 6.11

Характеристика уравнений (6.5) зависимости фитомассы деревьев от определяющих независимых переменных

$\ln P_i$	Константы и независимые переменные						$R^2$	SE
	$a_0$	$a_1$ ( $\ln A$ )	$a_2$ ( $\ln H$ )	$a_3$ ( $\ln A \ln H$ )	$a_4$ ( $\ln Pst$ )	$a_5$ ( $\ln Pbr$ )		
$\ln Pst$	-1,7642	-0,3215	2,6653	-0,0823	–	–	0,965	0,339
$\ln Pbr$	-0,7707	0,6096	0,1279	-0,2596	1,1967	–	0,956	0,394
$\ln Pf$	4,6739	-1,5837	1,8310	-0,3664	–	0,7589	0,960	0,317
$\ln Pr$	1,6236	-0,5120	–	–	1,0046	–	0,974	0,326

в возрастном диапазоне от 3 до 35 лет:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln A + a_3 \ln H \ln A, \quad (6.5)$$

где  $A$  – возраст дерева, лет. Характеристика уравнений (6.3) и (6.5) дана в табл. 6.10 и 6.11. Они рассчитаны не только для надземной фитомассы, но и для массы корней ( $Pr$ ). Уравнения имеют достаточно высокие показатели адекватности экспериментальным данным, поскольку объясняют изменчивость запаса углерода в фитомассе деревьев по уравнениям (6.3) на 82–97 % и по уравнениям (6.5) – на 96–97 %.

Нормативные таблицы 6.12 и 6.13 составлены путем табулирования уравнений (6.3) и (6.5), приведенных в табл. 6.10 и 6.11. Табличные значения общей фитомассы деревьев ели в табл. 6.12 и 6.13 получены путем сложения соответствующих значений составляющих их фракций.

Закономерности изменения фитомассы деревьев, представленного в табл. 6.12 и 6.13, требуют некоторого комментария. В табл. 6.12, где входами служат диаметр ствола и высота дерева, имеется четкая тенденция возрастания фитомассы по мере увеличения диаметра ствола при условии стабильности высоты дерева. Но с увеличением



Таблица 6.12

Нормативная таблица для определения фитомассы деревьев в абсолютно сухом состоянии в культурах ели I—II классов возраста по высоте и диаметру ствола на высоте груди, кг

Диаметр, см	Фракция фитомассы*	Высота дерева, м														
		1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
0,5	<i>Pst</i>	0,144	0,131	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pbr</i>	0,070	0,044	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pf</i>	0,069	0,030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pr</i>	0,065	0,060	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Итого	0,349	0,265	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	<i>Pst</i>	0,253	0,253	0,254	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pbr</i>	0,195	0,137	0,104	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pf</i>	0,292	0,140	0,080	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pr</i>	0,129	0,129	0,128	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Итого	0,868	0,659	0,566	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	<i>Pst</i>	0,352	0,372	0,390	0,404	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pbr</i>	0,354	0,264	0,210	0,176	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pf</i>	0,676	0,348	0,208	0,136	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pr</i>	0,192	0,201	0,208	0,214	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Итого	1,573	1,185	1,016	0,930	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	<i>Pst</i>	0,444	0,490	0,528	0,562	0,618	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pbr</i>	0,541	0,422	0,348	0,298	0,232	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pf</i>	1,226	0,664	0,412	0,280	0,152	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pr</i>	0,254	0,275	0,292	0,306	0,332	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Итого	2,465	1,851	1,582	1,446	1,334	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3	<i>Pst</i>	0,617	0,720	0,812	0,894	1,044	1,176	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pbr</i>	0,984	0,818	0,708	0,63	0,524	0,454	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pf</i>	2,840	1,650	1,084	0,768	0,446	0,292	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pr</i>	0,378	0,428	0,472	0,51	0,578	0,636	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Итого	4,819	3,616	3,074	2,802	2,590	2,558	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4	<i>Pst</i>	0,779	0,947	1,100	1,246	1,512	1,738	1,988	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pbr</i>	1,504	1,306	1,170	1,070	0,930	0,832	0,762	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pf</i>	5,154	3,148	2,148	1,572	0,960	0,656	0,480	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pr</i>	0,501	0,586	0,662	0,732	0,856	0,966	1,066	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Итого	7,939	5,987	5,082	4,618	4,256	4,212	4,296	—	—	—	—	—	—	—	—	
6	<i>Pst</i>	—	—	1,692	1,984	2,550	3,100	3,634	4,158	4,68	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pbr</i>	—	—	2,376	2,26	2,088	1,964	1,868	1,790	1,72	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pf</i>	—	—	5,638	4,314	2,828	2,038	1,558	1,242	1,02	—	—	—	—	—	—	
	<i>Pr</i>	—	—	1,068	1,216	1,488	1,740	1,980	2,206	2,42	—	—	—	—	—	—	
	Итого	—	—	10,78	9,772	8,954	8,840	9,040	9,396	9,84	—	—	—	—	—	—	
8	<i>Pst</i>	—	—	—	—	3,696	4,634	5,574	6,516	7,46	8,40	9,36	—	—	—	—	
	<i>Pbr</i>	—	—	—	—	3,708	3,608	3,530	3,464	3,40	3,36	3,32	—	—	—	—	
	<i>Pf</i>	—	—	—	—	6,082	4,556	3,598	2,946	2,48	2,12	1,86	—	—	—	—	
	<i>Pr</i>	—	—	—	—	2,204	2,644	3,070	3,480	3,88	4,28	4,66	—	—	—	—	
	Итого	—	—	—	—	15,69	15,442	15,77	16,408	17,22	18,16	19,18	—	—	—	—	—
10	<i>Pst</i>	—	—	—	—	—	7,768	9,234	10,72	12,24	13,78	15,34	16,92	—	—	—	
	<i>Pbr</i>	—	—	—	—	—	5,782	5,780	5,78	5,78	5,78	5,76	5,76	—	—	—	—
	<i>Pf</i>	—	—	—	—	—	6,884	5,756	4,92	4,30	3,80	3,40	3,08	—	—	—	—
	<i>Pr</i>	—	—	—	—	—	4,314	4,958	5,60	6,22	6,84	7,46	8,08	—	—	—	—
	Итого	—	—	—	—	—	24,74	25,72	27,02	28,54	30,20	31,98	33,82	—	—	—	—

Диаметр, см	Фракция фитомассы*	Высота дерева, м																			
		1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0					
12	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,44	16,64	18,92	21,22	23,58	25,98	28,42	
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,90	8,98	9,08	9,16	9,24	9,30	9,36	
	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,64	7,64	6,84	6,18	5,64	5,20	4,80	
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,54	8,46	9,38	10,30	11,20	12,12	13,02	
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39,52	41,74	44,2	46,86	49,66	52,60	55,62	
14	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,72	27,94	31,24	34,64	38,10	
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,32	13,54	13,74	13,94	14,12	
	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,22	10,24	9,42	8,74	8,14	
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,22	10,24	9,42	8,74	8,14	
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,48	61,98	63,86	66,04	68,50	
16	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39,86	44,42	49,10
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,40	19,80	20,16
	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,70	13,70	12,84
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,78	20,50	22,22
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,76	98,42	104,3

\**Pst*, *Pbr*, *Pf* и *Pr* – фитомасса фракции дерева в абсолютно сухом состоянии, соответственно ствола в коре, ветвей, хвон и корней, кг (здесь и в табл. 6.13).

Таблица 6.13

Нормативная таблица для определения фитомассы деревьев в абсолютно сухом состоянии в культурах ели I–II классов возраста по высоте и возрасту дерева, кг

Возраст, лет	Фракция фитомассы*	Высота дерева, м																							
		0,2	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0											
2	<i>Pst</i>	0,0021	0,0225	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Pbr</i>	0,0002	0,0034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	0,0026	0,0948	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	0,0036	0,0392	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	0,0085	0,1599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	<i>Pst</i>	0,0018	0,0187	0,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	0,00036	0,0047	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	0,00202	0,0484	0,156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	0,0022	0,0229	0,054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	0,0064	0,0947	0,266	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	<i>Pst</i>	0,0017	0,0168	0,040	0,096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	0,0005	0,0057	0,014	0,036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	0,0017	0,0326	0,096	0,302	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	0,0016	0,0167	0,040	0,096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	0,0055	0,0718	0,188	0,530	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	<i>Pst</i>	0,0016	0,0156	0,036	0,088	0,242	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	0,00062	0,0066	0,016	0,040	0,110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	0,00154	0,0247	0,068	0,200	0,682	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	0,00134	0,0133	0,030	0,076	0,210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	0,00510	0,0602	0,150	0,402	1,244	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 6.13

Возраст, лет	Фракция фито-массы*	Высота дерева, м													
		0,2	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	
10	<i>Pst</i>	0,00152	0,0147	0,034	0,082	0,224	0,46	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	0,00074	0,0073	0,016	0,042	0,112	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	0,00142	0,0199	0,052	0,146	0,470	1,08	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	0,00114	0,0112	0,026	0,062	0,172	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	0,00482	0,0531	0,128	0,332	0,978	2,12	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>Pst</i>	0,0015	0,0140	0,032	0,078	0,210	0,42	2,34	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	0,0009	0,0079	0,018	0,042	0,114	0,22	1,24	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	0,0013	0,0166	0,042	0,114	0,346	0,76	5,20	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	0,0010	0,0097	0,022	0,054	0,148	0,30	1,66	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	0,0047	0,0483	0,114	0,286	0,818	1,72	10,44	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>Pst</i>	0,0014	0,0134	0,030	0,074	0,198	0,40	2,18	5,90	-	-	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	0,0010	0,0085	0,018	0,044	0,116	0,22	1,18	3,10	-	-	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	0,0012	0,0143	0,036	0,090	0,268	0,58	3,66	10,78	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	0,0009	0,0086	0,020	0,048	0,128	0,26	1,44	3,88	-	-	-	-	-	-
	Итого	0,0046	0,0449	0,104	0,256	0,710	1,46	8,46	23,66	-	-	-	-	-	-
16	<i>Pst</i>	-	0,013	0,030	0,070	0,188	0,38	2,06	5,54	11,16	-	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	-	0,009	0,020	0,046	0,118	0,22	1,14	2,94	5,74	-	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	-	0,013	0,030	0,076	0,214	0,46	2,70	7,66	16,08	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	-	0,0078	0,018	0,042	0,114	0,24	1,26	3,42	6,90	-	-	-	-	-
	Итого	-	0,0424	0,098	0,234	0,634	1,30	7,16	19,54	39,88	-	-	-	-	-
18	<i>Pst</i>	-	-	0,028	0,068	0,182	0,36	1,96	5,24	10,54	18,10	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	-	-	0,020	0,046	0,118	0,22	1,10	2,80	5,40	8,98	-	-	-	-

18	<i>Pf</i>	-	-	0,026	0,064	0,176	0,36	2,06	5,66	11,64	20,36	-	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	-	-	0,016	0,038	0,104	0,20	1,14	3,04	6,12	10,56	-	-	-	-	-
	Итого	-	-	0,092	0,216	0,578	1,16	6,24	16,74	33,70	58,00	-	-	-	-	-
20	<i>Pst</i>	-	-	-	0,066	0,174	0,34	1,88	4,98	10,00	17,16	26,66	-	-	-	-
	<i>Pbr</i>	-	-	-	0,048	0,120	0,22	1,08	2,68	5,10	8,42	12,70	-	-	-	-
	<i>Pf</i>	-	-	-	0,054	0,148	0,30	1,62	4,32	8,72	15,04	23,44	-	-	-	-
	<i>Pr</i>	-	-	-	0,036	0,094	0,18	1,02	2,74	5,50	9,48	14,76	-	-	-	-
	Итого	-	-	-	0,204	0,536	1,06	5,58	14,74	29,34	50,10	77,56	-	-	-	-
22	<i>Pst</i>	-	-	-	-	0,168	0,34	1,80	4,76	9,54	16,34	25,36	36,78	-	-	-
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	0,120	0,22	1,04	2,58	4,86	7,96	11,92	16,74	-	-	-
	<i>Pf</i>	-	-	-	-	0,126	0,24	1,30	3,40	6,72	11,42	17,62	25,4	-	-	-
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	0,086	0,18	0,94	2,50	5,00	8,60	13,36	19,42	-	-	-
	Итого	-	-	-	-	0,502	0,98	5,08	13,22	26,12	44,32	68,26	98,34	-	-	-
24	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	0,32	1,72	4,58	9,14	15,64	24,22	35,10	48,38	-	-
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	0,22	1,02	2,48	4,64	7,56	11,24	15,74	21,04	-	-
	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	0,22	1,06	2,72	5,30	8,88	13,56	19,40	26,46	-	-
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	0,16	0,86	2,28	4,58	7,86	12,20	17,72	24,46	-	-
	Итого	-	-	-	-	-	0,92	4,68	12,06	23,66	39,94	61,24	87,94	120,3	-	-
26	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	1,66	4,40	8,78	15,00	23,22	33,62	46,30	-	-
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	1,00	2,40	4,46	7,20	10,66	14,86	19,80	-	-
	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	-	0,88	2,22	4,26	7,06	10,68	15,14	20,50	-	-
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	-	0,80	2,12	4,24	7,24	11,24	16,28	22,46	-	-
	Итого	-	-	-	-	-	-	4,36	11,14	21,72	36,50	55,80	79,88	109,0	-	-
28	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	-	4,26	8,48	14,44	22,34	32,30	44,44	-	-
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	-	2,32	4,28	6,88	10,14	14,08	18,70	-	-

Возраст, лет	Фракция фито-массы*	Высота дерева, м															
		0,2	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0			
28	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,84	3,48	5,70	8,54	12,04	16,20
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,96	3,92	6,72	10,40	15,06	20,76
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,38	20,16	33,74	51,44	73,48	100,1
30	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,18	13,94	21,54	31,12	42,80
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,14	6,60	9,70	13,40	17,74
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,88	4,68	6,94	9,72	13,00
32	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,66	6,26	9,68	14,00	19,28
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,86	31,48	47,86	68,24	92,82
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,50	20,82	30,06	41,30
34	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,36	9,28	12,78	16,88
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,88	5,72	7,96	10,60
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,86	9,06	13,08	18,00
36	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,58	44,88	63,88	86,78
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,18	29,10	39,94
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,92	12,24	16,10
36	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,78	6,60	8,74
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,50	12,28	16,88
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,36	60,20	81,66
36	<i>Pst</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,20	38,72
	<i>Pbr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,74	15,42
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,52	7,28
36	<i>Pf</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,56	15,88
	<i>Pr</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57,04	77,30
	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

высоты дерева при стабильном его диаметре закономерность не столь однозначна: в диапазоне диаметров от 0,5 до 7 см при фиксированном диаметре общая фитомасса дерева снижается, а в диапазоне от 7 до 16 см, напротив, возрастает. Это обусловлено тем, что вследствие изменения морфоструктуры дерева в связи с изменением названных двух массопределяющих показателей (*D* и *H*) различные фракции фитомассы реагируют на это по-разному: в диапазоне *D* от 0,5 до 7 см масса кроны с увеличением высоты дерева снижается, а масса ствола и корней возрастает. Но поскольку в данном диапазоне масса кроны составляет в общей фитомассе от 50 до 70 %, то именно она определяет отрицательную тенденцию уменьшения общей фитомассы. В диапазоне *D* от 7 до 16 см все фракции имеют положительную динамику с увеличением высоты дерева при фиксированном *D*, что и определяет смену знака в динамике общей фитомассы дерева при увеличении *H* в ступени толщины около 7 см.

В табл. 6.13, где входами служат возраст и высота дерева (*A* и *H*), тенденции совсем иные. При одном и том же возрасте дерева его высота определяется условиями роста, которые изменяются как в связи с ценогенетическим положением дерева в насаждении, так и в связи с эдафическими условиями, в частности со способом подготовки почвы. Поэтому при фиксированном возрасте по мере увеличения высоты дерева количество фитомассы возрастает в большинстве фракций и соответственно – в общей фитомассе. Но при фиксированной высоте *H* по мере увеличения возраста происходит сдвиг ранга дерева в сторону большего угнетения, т. е. из категории лидера дерево смещается в категорию кандидата на отмирание, и все его фракции имеют одну общую тенденцию сокращения массы.

Эти замечания имеют принципиальное значение с точки зрения вывода унифицированных одно-двухходовых уравнений фитомассы деревьев, основанных на теориях фракталов и пайп-модели (Chave et al., 2001). При этом предполагается, что подобные уравнения могут быть применимы на региональном уровне для расчета фитомассы древостоев данной породы на 1 га в любом возрасте и любых условиях произрастания. Такое направление в настоящее время активно развивается в зарубежной литературе (West et al., 1999; Chave et al., 2001; Wirth et al., 2004; Zianis, Mencuccini, 2004), причем оценивается надземная масса дерева в целом, без подразделения на фракции. В нашем специальном исследовании (Усольцев и др., 2006; Канунникова, Сопига, 2006; Канунникова, 2007) показано, что неоднозначность динамики массы различных фракций дерева при изменении его массообразующих показателей в принципе ставит под сомнение правомерность поиска унифицированных моделей.

Глава 7

**ФИТОМАССА ДРЕВОСТОЕВ  
В ОПЫТНЫХ КУЛЬТУРАХ ЕЛИ**

**7.1. СЕРИЯ ОПЫТОВ 1**

Анализ показателей фитомассы культур в расчете на 1 га показывает, что в общей массе хвои от 0,2 до 0,8 % в вариантах с посадкой сеянцами и 0,2–0,6 % в вариантах с саженцами составляет хвоя, растущая на стволах. Масса отмерших ветвей в вариантах с сеянцами составляет 0,5–0,8 % и в варианте с саженцами – около 3 % от сухой массы живых ветвей.

Надземная фитомасса варьирует от 16 до 35 т/га на участке № 1, от 10 до 12 т/га – на участке № 2 и от 9 до 23 т/га – на участке № 3; общая соответственно от 19 до 54, от 13 до 15 и от 11 до 30 т/га. Между двумя видами статистически достоверные различия по структуре и продуктивности фитомассы не выявлены (табл. 7.1).

Для сравнения биопродуктивности еловых культур Урала с другими данными было взято единственное определение, выполненное А.Д. Майснером (1970) в условиях Белоруссии (остальные данные либо получены без массы корней, либо не подходили по возрасту культур). Продуктивность еловых культур на Урале существенно ниже, чем в Белоруссии. На участке № 1 она составляет 15–32 % по надземной и 16–45 % – по общей фитомассе от соответствующих показателей в условиях Белоруссии. Особенно контрастируют с ним участки № 2 и № 3 как по общей фитомассе, так и по доле хвои в надземной части, где осевой и боковые побеги ежегодно побиваются морозом. В результате крона кустится и плотность заполнения ее хвоей увеличивается при относительно незначительном приросте древесины.

Видимо, весенние повреждения побегов морозом, как и ожоги хвои, в условиях Урала являются своеобразной «платой» молодого искусственного фитоценоза за выход из экологической ниши, каковой в естественных условиях является, как известно, подпоговое пространство, где подрост ели долгое время «сидит» под защитой материнского древостоя.

Таблица 7.1

**Фитомасса культур ели в серии опытов 1**

№ пробной площади*	Биологический возраст, лет	Класс бонитета	Густота, экз/га	Средняя высота, м	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га					$\frac{P_f}{P_{\text{дбо}}}$	$\frac{P_r}{P_{\text{дбо}}}$		
					Стволы в коре	Кора стволов	Хвоя (P <sub>х</sub> )	Ветви	Надземная (P <sub>дбо</sub> )			Подземная (P <sub>р</sub> )	Общая
<i>Данные авторов, участок № 1</i>													
1	20	II	2525	6,2	11,8	1,12	7,23	5,06	24,1	5,80	29,9	0,24	0,30
2	20	II	3771	6,4	17,0	1,52	10,86	6,74	34,6	19,6	54,2	0,57	0,31
3	21	III	2395	5,6	8,49	0,85	4,12	2,95	15,6	3,56	19,1	0,23	0,26
<i>Данные авторов, участок № 2</i>													
4	19	IV	2731	3,2	3,57	0,89	5,17	3,34	12,1	3,11	15,2	0,26	0,43
5	19	IV	2386	3,0	2,93	0,71	3,95	2,94	9,82	2,66	12,5	0,27	0,40
6	20	IV	2697	3,4	4,10	0,93	3,54	2,55	10,2	4,06	14,3	0,40	0,35
<i>Данные авторов, участок № 3</i>													
7	20	III,5	2320	4,2	3,68	0,64	3,49	1,70	8,87	1,86	10,7	0,21	0,39
8	20	III,5	1829	4,4	3,72	0,66	3,08	2,28	9,08	2,33	11,4	0,26	0,34
9	21	III,5	2941	4,4	9,79	1,66	8,45	5,17	23,4	6,43	29,8	0,27	0,36
<i>Данные А.Д. Майснера (1970) для культур Picea abies в Белоруссии</i>													
-	20	I-Ia	5310	9,0	59,1	-	24,5	23,2	106,8	14,4	121,2	0,13	0,23

\*Пробные площади 1, 2 и 3 на участке № 1, 4, 5 и 6 – на участке № 2 и 7, 8 и 9 – на участке № 3 заложены соответственно по вариантам: 4-летние сеянцы Picea abies; то же, Picea obovata и 5-летние саженцы Picea obovata.

7.2. СЕРИЯ ОПЫТОВ 2

*Структура фитомассы древостоев в возрасте 9 лет.* Спустя 5 лет после посадки культур в серии опытов 2 определены их фитомасса и объем надземной и подземной части деревьев методом километирования в расчете на 1 га (табл. 7.2). Установлено, что наибольшие массу и объем ель сформировала на грядах вследствие лучшего дренажа, питания и устранения конкуренции трав, тогда как при химической обработке действует лишь последний фактор. Тем не менее сравнение фитомассы ели, выращенной с подготовкой почвы по каждому из трех вариантов, с контролем показало, что фитомасса культур на подготовленной почве достоверно выше, чем на контроле ( $t_{\text{факт}} = 2,3-11,6 > t_{05} = 2,0$ ).

Отношение подземной фитомассы к надземной варьирует в пределах от 0,35 до 0,47, причем на контроле названное отношение достоверно не отличается от вариантов с подготовкой почвы.

*Структура фитомассы древостоев в возрасте 20 лет.* Спустя 11 лет названная закономерность сохранилась (табл. 7.3): подготовка и обработка почвы увеличивают фитомассу в 5–8 раз по сравнению с контролем. Запасы надземной и подземной фитомассы на открытом месте в 2–8 раз больше, чем в коридорах под пологом листовенного древостоя. Отношение подземной фитомассы к надземной варьирует от 0,16 до 0,31, т. е. стало существенно ниже, чем в возрасте 9 лет. Однако на контроле, как и ранее, оно достоверно не отличается от вариантов с подготовкой почвы. В коридорах, т. е. под пологом мелколиственных насаждений, названное отношение во всех вариантах на 5–40 % ниже, чем на открытых местах.

Наличие в 20-летних культурах широкого спектра вариантов их закладки и формирования с достаточно представленным набором модельных деревьев дает возможность проанализировать влияние способа создания культур на их фитомассу на уровне не только дерева (см. раздел 6.2), но и древостоя.

Показатели фитомассы 20-летних культур ели, рассчитанной на 1 га по разным вариантам подготовки почвы и продублированные в каждом варианте (открытое место и под пологом), приведены в сравнении с контролем в табл. 7.3. Кодировка вариантов аналогична приведенной выше кодировке при анализе фитомассы на уровне дерева (см. табл. 6.5 и 6.6).

Сравнительный анализ фитомассы ели на уровне древостоя по вариантам и подвариантам выполнен по той же схеме, что и на уровне дерева в разделе 6.2, с той лишь разницей, что в данном случае сопоставляются не уравнения, а непосредственно совокупности зна-

Таблица 7.2  
Фитомасса и общий (километрический) объем культур ели по вариантам подготовки почвы в сравнении с контролем в серии опытов 2 спустя 5 лет после посадки

Последний материал	Возраст, лет	Биологический возраст насаждения, лет	Диаметр корневой шейки, мм	Высота стволика, см	Текучая густота, экз/га	Объем стволников, дм <sup>3</sup> /га	Фитомасса в абсолютном сухом состоянии, кг/га						Объем, дм <sup>3</sup> /га		
							Стволники	Ветви	Хвоя	Корни	Корни	Итого	Наземная часть	Корни	Итого
СН	4	9	5,3	43,3	2395	68	20,4	6,23	17,0	20,4	64,1	140	86	226	
	СЖ	2+2	8,6	50,1	1927	127	38,0	7,13	36,2	28,7	110,0	276	105	381	
СН	3	8	4,6	45,2	2665	123	36,8	7,73	41,6	32,8	118,9	270	129	399	
	СН	4	8,4	67,3	3375	233	69,9	13,2	64,8	49,6	197,5	558	241	799	
СЖ	2+2	9	10,2	68,0	2426	185	55,5	9,95	57,0	41,7	164,2	420	169	589	
СН	3	8	6,8	57,3	5836	410	123,1	21,6	123,7	98,0	366,4	787	396	1183	
	СН	4	10,1	68,8	3618	280	83,9	16,6	84,7	66,9	252,1	687	278	965	
СЖ	2+2	9	11,9	70,2	3082	290	86,9	20,6	91,8	71,2	270,5	613	266	879	
СН	4	9	10,0	59,4	2456	154	46,2	7,12	46,7	44,5	144,5	341	160	501	
	СЖ	2+2	10,2	64,3	2081	136	40,8	7,07	42,2	39,3	129,4	301	169	470	

Химическая обработка

Гряды

Плоскы

Контроль

\*СН – сеянцы, СЖ – саженцы.

Таблица 7.3

Фактические данные фитомассы в абсолютно сухом состоянии 20-летних культур ели на уровне древостоя в серии опытов 2

Варианты подготовки и обработки почвы	№ пробной площади	Фитомасса, т/га							Бинарные переменные							
		Древесина ствола	Кора ствола	Скелет кроны	Хвоя	Наземная	Корни	Всего	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	
Гряда	2*	6,87	1,00	4,61	6,65	19,1	5,85	25,0	1	1	1	1	1	1	1	1
	2**	2,66	0,34	1,57	1,98	6,55	1,17	7,74	0	1	1	1	1	1	1	1
Гряда	3*	8,83	1,40	8,88	13,14	32,2	6,79	39,0	1	1	1	1	1	1	1	1
	3**	2,72	0,51	1,92	2,63	7,78	1,57	9,35	0	1	1	1	1	1	1	1
Гряда	4*	8,29	1,54	7,91	9,49	27,2	5,65	32,8	1	1	1	1	1	1	1	1
	4**	4,63	0,60	2,80	5,32	13,3	2,70	16,0	0	1	1	1	1	1	1	1
Пласт	8*	12,9	1,76	9,58	11,81	36,0	6,17	42,2	1	1	1	1	1	1	1	1
	8**	3,34	0,54	3,09	4,57	11,5	1,84	13,3	0	1	1	1	1	1	1	1
Пласт	17*	8,19	2,48	5,93	11,36	28,0	5,74	33,7	1	1	1	1	1	1	1	1
	17**	4,65	0,67	3,33	5,47	14,1	2,46	16,6	0	1	1	1	1	1	1	1
Двойной пласт	10*	8,59	0,99	4,90	6,65	21,1	2,93	24,0	1	1	1	1	1	1	1	1
Химическая обработка	7*	4,58	0,63	3,47	4,32	13,0	2,59	15,6	1	1	1	1	1	1	1	0
	7**	0,83	0,13	0,87	0,96	2,79	0,48	3,27	0	1	1	1	1	1	1	0
Химическая обработка	14*	4,32	0,64	3,63	5,00	13,6	3,48	17,1	1	1	1	1	1	1	1	0
	14**	0,64	0,10	0,41	0,67	1,82	0,39	2,21	0	1	1	1	1	1	1	0
Контроль (без обработки почвы)	24*	1,32	0,19	1,19	1,42	4,12	1,01	5,13	0	1	1	1	1	1	1	0
	24**	0,62	0,12	0,67	0,71	2,12	0,44	2,56	0	1	1	1	1	1	1	0

\*Открытое место; \*\*под пологом вторичного листового древостоя.

Таблица 7.4

Показатели достоверности (по Стьюденту) различий фитомассы ели на уровне древостоя по способам выращивания с применением бинарных переменных X<sub>j</sub> в качестве независимых по выражению (7.1)

Способы выращивания	Фракционный состав по запасу углерода							X <sub>j</sub>
	Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Наземная	Корни	Общая	
Все способы на открытых местах	4,3*	3,6	4,2	3,8	4,3	4,9	4,5	X <sub>1</sub>
Все способы под пологом								
Все способы								
Контроль	2,3	1,7	2,0	2,0	2,2	2,2	2,3	X <sub>2</sub>
Посадка по грядам и пластам								
Контроль	3,4	2,2	2,5	2,9	3,4	3,1	3,5	X <sub>3</sub>
Посадка по грядам и пластам								
Способы с химической обработкой	2,9	2,2	2,2	2,5	2,9	2,4	3,0	X <sub>4</sub>
Все способы								
Контроль	1,3	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	X <sub>5</sub>
Посадка по грядам и пластам								
Контроль	2,8	3,0	2,2	1,9	2,3	2,2	2,3	X <sub>6</sub>
Посадка по грядам и пластам								
Способы с химической обработкой	3,9	4,4	3,3	2,7	3,3	3,2	3,3	X <sub>7</sub>

\*Статистически значимые различия между вариантами.

чений фитомассы по фракционному составу на 1 га древостоя. Анализ выполнен с применением бинарной переменной X<sub>j</sub> в качестве независимой:

$$P_i = a_0 + a_1 X_j \quad (7.1)$$

где P<sub>i</sub> – фитомасса i-й фракции древостоя (древесина ствола, кора ствола, ветви, хвоя, наземная часть, корни, общая), т/га. Бинарная переменная X<sub>j</sub> принимает значения либо 1, либо 0, т.е. один из вариантов кодируется единицей, а второй – нулем.

Показатели достоверности различия запасов фитомассы еловых культур на уровне древостоя по вариантам и подвариантам способов выращивания сведены в табл. 7.4.

Запасы общей (надземной и подземной) фитомассы в 20-летних культурах ели и их соотношения по сравниваемым вариантам в серии опытов 2

Варианты выращивания	Коды	Запасы фитомассы, т/га, и их соотношения по парным вариантам
Все способы на открытых местах	1	28,6
Все способы под пологом	0	9,80
Соотношение вариантов (1 : 0)		2,9
Все способы	1	28,8
Контроль	0	5,16
Соотношение вариантов (1 : 0)		5,6
Посадка по грядкам и пластам	1	32,8
Контроль	0	5,16
Соотношение вариантов (1 : 0)		6,4
Посадка по грядкам и пластам	1	32,8
Способы с химической обработкой	0	16,4
Соотношение вариантов (1 : 0)		2,0
Посадка по грядкам и пластам	1	12,6
Контроль	0	2,56
Соотношение вариантов (1 : 0)		4,9
Посадка по грядкам и пластам	1	12,6
Способы с химической обработкой	0	2,76
Соотношение вариантов (1 : 0)		4,6

Обычно при сравнительном изучении различных способов формирования насаждений оценка вариантов ведется на основе замеров высот и диаметров деревьев, и по степени их различия, не всегда статистически подтвержденной, делается вывод о преимуществе того или иного варианта либо о специфике той или иной закономерности (Дружинин, 2003; Ефименко, Холодилова, 2003). Нами получены статистически подтвержденные эффекты различных способов выращивания культур по наиболее информативному (с точки зрения биопродукционного процесса) показателю – их фитомассе. Хотя средние высоты по большинству вариантов под пологом несколько ниже, чем на открытом месте, все они находятся в пределах одного класса бонитета (IV), что согласуется с ростом ели под пологом березы на вырубках в условиях Вологодской области (Дружинин, 2003).

Если при сопоставлении фитомассы культур на уровне дерева массообразующие показатели (диаметр и высота) в разных вариантах предполагались одинаковыми, т. е. сравнивались лишь равновеликие деревья, то при сопоставлении культур на уровне древостоя различия по вариантам учитывают разницу не только в фитомассе при условии равенства массообразующих показателей, но и в самих массообразующих показателях, которые, естественно, сильно различаются по вариантам. Этим в основном обусловлено столь большое различие в показателях достоверности, приведенных в табл. 6.6 (уровень дерева) и 7.4 (уровень древостоя). В первом случае достоверна разница между парой вариантов лишь в одном случае из семи, а именно между вариантами посадки по грядкам и с химической обработкой, под пологом (бинарная переменная  $X_7$ ). Во втором случае, наоборот, разница достоверна во всех случаях, кроме одного, а именно в случае вариантов с подготовкой почвы и контролем (т. е. без подготовки и ухода), также под пологом (бинарная переменная  $X_5$ ).

Наибольшие различия (и соответственно с наивысшей достоверностью) фитомассы насаждений установлены по вариантам «посадка по грядкам и пластам» и «контроль» на открытых местах с превышением первого над вторым в 6,4 раза (табл. 7.5). Наименьшие, но достоверные различия выявлены по вариантам «посадка по грядкам и пластам» и «химическая обработка» на открытых местах с превышением первого над вторым в 2 раза. При выращивании ели под пологом вторичного листового древостоя примерно 5-кратное превышение фитомассы оказалось в вариантах «посадка по грядкам и пластам» по сравнению с вариантом «химическая обработка» и с контролем.

Таким образом, при выращивании ели как на открытых местах, так и под пологом листового вторичного древостоя с ее посадкой по грядкам и пластам обеспечивается 2–5-кратное превышение запаса фитомассы по сравнению с выращиванием при химической обработке почвы. Это происходит вследствие того, что при посадке по грядкам и пластам обеспечиваются два фактора лучшего роста: дренаж и лучшее питание, во-первых, и устранение конкуренции травянистой растительности, во-вторых, а при химической обработке – лишь один (устранение конкуренции трав). Столь существенная разница в названных соотношениях означает, что при формировании культур ели в их успешном росте и продуцировании лучшие условия дренажа и питания играют первоочередную роль, а устранение конкуренции напочвенного покрова – лишь вторичную.



7.3. СЕРИЯ ОПЫТОВ 3

Наличие в 33–35-летних культурах широкого спектра вариантов их закладки и формирования с достаточно представленным набором модельных деревьев дает возможность проанализировать влияние способа создания культур на фракционный состав фитомассы на уровне не только дерева (см. раздел 6.3), но и древостоя. Запасы фитомассы культур ели при различных вариантах и подвариантах способов выращивания на уровне древостоя показаны в табл. 7.6. Показатели фитомассы 33–35-летних культур ели, рассчитанные на 1 га по двум вариантам (открытое место и под пологом) и продублированные в каждом варианте разными подвариантами подготовки почвы, приведены в сравнении с контролем. Кодировка вариантов аналогична приведенной выше при анализе фитомассы на уровне дерева (см. табл. 6.7 и 6.8).

Сравнительный анализ фракционного состава фитомассы ели на уровне древостоя по вариантам и подвариантам выполнен по той же схеме, что и на уровне дерева в разделе 6.3, с той лишь разницей, что в данном случае сопоставляются не уравнения, а непосредственно совокупности значений фитомассы по ее фракционному составу на 1 га древостоя. Анализ выполнен согласно уравнению (7.1) с применением бинарной переменной  $X_i$  в качестве независимой. Показатели достоверности различия фитомассы еловых культур на уровне древостоя по вариантам и подвариантам способов выращивания сведены в табл. 7.7.

Как отмечалось выше, если при сопоставлении фитомассы культур на уровне дерева массообразующие показатели (диаметр, высота, возраст) в разных вариантах предполагались одинаковыми, т. е. сравнивались лишь равновеликие деревья, то при сопоставлении культур на уровне древостоя различия по вариантам учитывают не только разницу запаса углерода в фитомассе при условии равенства массообразующих показателей, но и разницу в самих массообразующих показателях древостоев, которые, естественно, существенно различаются по вариантам.

Этим в основном обусловлено различие в показателях достоверности, приведенных в табл. 6.8 (уровень дерева) и 7.7 (уровень древостоя). Если при сопоставлении показателей фитомассы на уровне дерева различие достоверно лишь на открытых местах между вариантами «в бороздах» и «химическая обработка целинного участка» ( $t_{\text{факт}} = 2,6 - 3,3 > t_{0,5} = 2,0$ ), то при сопоставлении вариантов на уровне древостоя статистически достоверно различие по всем фракциям фитомассы лишь между открытыми участками и участками под пологом листовного древостоя (бинарная переменная  $X_i$ ), а в остальных случаях разница между вариантами недостоверна.

Таблица 7.6

Фитомасса модельных деревьев, взятых на опытно-производственном участке Билимбаевского лесхоза в 33–35-летних культурах ели при различных вариантах и подвариантах способов выращивания, закодированных бинарными переменными

Вариант обработки почвы	№ пробной площади	Фитомасса, т/га						Бинарные переменные				
		$P_M$	$P_b$	$P_{br}$	$P_f$	$P_{abo}$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	
Борозда	7*	11,36	1,54	3,84	2,44	17,6	1	1	1	1	1	
	7**	3,24	0,48	1,64	1,00	5,88	0	1	1	1	1	
Борозда	9*	16,4	1,96	6,44	3,74	26,6	1	1	1	1	1	
	9**	4,52	0,76	1,82	0,96	7,30	0	1	1	1	1	
Борозда	18*	20,4	2,48	11,7	5,10	37,2	1	1	1	1	1	
	18**	7,02	1,50	3,66	2,28	13,0	0	1	1	1	1	
Пласт	2*	31,0	5,28	18,6	7,96	57,6	1	1	1	1	1	
Химическая обработка по целине	2a*	10,22	1,52	5,68	2,82	18,7	1	1	1	0	0	
	3*	18,48	2,48	9,68	5,42	33,6	1	1	1	0	0	
Химическая обработка по целине	3**	2,80	0,46	1,68	0,86	5,34	0	1	1	1	0	
	1*	25,38	2,66	10,32	6,46	42,2	1	1	1	0	0	
Химическая обработка по целине	1**	6,50	1,12	3,00	1,70	11,2	0	1	1	1	0	
	6**	4,22	0,50	1,88	1,00	7,10	0	1	0	0	0	
Контроль	19*	9,48	1,84	4,14	2,92	16,5	1	0	0	0	0	
	19**	2,80	0,48	1,38	0,64	4,82	0	0	0	0	0	

\*Открытое место; \*\*в коридорах, под пологом мелколиственного древостоя.

Таблица 7.7

Показатели достоверности (по Стьюденту) различий в фитомассе ели на уровне древостоя по способам выращивания с применением бинарных переменных  $X_j$  в качестве независимых в выражении (7.1)

Способы выращивания		Фракционный состав фитомассы*				$X_j$
		<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pabo</i>	
Все способы на открытых местах		4,5*	3,5	4,4	4,2	$X_1$
Все способы под пологом						
Химическая обработка и борозды	Открытые места	1,2	1,0	0,9	1,1	$X_2$
Контроль						
Обработка бороздами	Под пологом	-0,4	-0,5	-0,9	-0,5	$X_4$
Химическая обработка						
Химическая обработка и борозды	Под пологом	0,9	1,0	1,1	1,0	$X_3$
Контроль						
Обработка бороздами	Под пологом	0,1	0,03	0,2	0,1	$X_5$
Химическая обработка						

\*Статистически значимые различия между вариантами.

Поскольку различие по фитомассе древостоев достоверно между вариантами «на открытых местах» и «под пологом» (4-кратное превышение первого над вторым), причем независимо от способа подготовки почвы, дальнейший сравнительный анализ с целью составления ТХРФ (раздел 7.5) выполнен отдельно для каждого из упомянутых двух вариантов.

#### 7.4. СЕРИЯ ОПЫТОВ 4

Если, как уже отмечалось, бонитет на ОПУ 1-72 на один класс выше, чем на ОПУ 2-72, по-видимому, вследствие худших лесорастительных условий и периодических повреждений молодых побегов ели заморозками в пониженном местообитании, то текущая плотность в первом случае оказалась, напротив, ниже, чем во втором, на 17–23 % в вариантах без ухода и на 21–42 % в вариантах с уходом. Возможно, вследствие большей плотности культур на ОПУ 2-72 лесоводственные уходы (разреживания) повысили здесь запасы фитомассы на 6–29 %, а на ОПУ 1-72 снизили на 10–50 % (табл. 7.8).

Таблица 7.8

Надземная фитомасса 31-летних культур ели по вариантам подготовки почвы в сравнении с контролем в серии опытов 4

№ ОПУ	Вариант	Подвариант*	Средние		Плотность, экз/га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га					
			Высота, м	Диаметр, см				Стволы		Ветви		Хвоя	Итого
								Древесина	Кора	Живые	Отмершие		
1-72	Пласт	1	7,0	6,6	1801	19,5	IV	9,54	0,72	3,78	0,36	3,24	17,6
		2	7,3	6,8	1075	12,7	IV	6,23	0,43	2,37	0,21	2,15	11,4
	Минпелоса	1	8,6	8,5	1712	25,8	III	12,2	1,37	5,48	0,51	5,82	25,4
		2	8,9	7,4	1317	21,0	III	9,88	1,18	4,61	0,40	4,87	20,9
	Вал по минпелосе	1	7,8	7,3	1277	17,0	III	8,30	0,64	3,19	0,13	2,81	15,1
		2	8,9	8,7	924	13,9	III	6,75	0,55	3,51	0,28	2,59	13,7
2-72	Пласт	1	4,8	4,5	2351	16,5	V	7,99	0,71	5,64	0,23	5,17	19,7
		2	5,4	5,3	1861	29,0	V	14,3	0,93	5,58	0,37	4,28	25,5
	Минпелоса	1	6,4	4,7	2068	19,3	IV	9,31	0,83	3,52	0,21	2,90	16,8
		2	7,0	5,9	1694	25,1	IV	12,0	1,02	4,40	0,34	3,90	21,7
	Вал по минпелосе	1	4,8	4,2	1533	10,5	V	5,21	0,31	1,69	0,15	1,69	9,05
		2	5,1	4,8	1169	8,9	V	4,44	0,23	2,69	0,12	2,10	9,58

\* 1 – без ухода (контроль); 2 – с уходом.

Таким образом, формирование культур ели под пологом лиственных насаждений повышает их устойчивость к заморозкам, но существенно снижает биологическую продуктивность. Видимо, весенние повреждения побегов морозом, как и весенние ожоги хвои, в условиях Урала являются своеобразной «платой» молодого искусственного фитоценоза за выход из экологической ниши, каковую в естественных условиях представляет собой, как известно, подпоговое пространство, где подрост ели долгое время «сидит» под защитой материнского древостоя.

При прочих равных условиях культуры, посаженные по подготовленной почве, имеют запасы фитомассы более высокие, нежели на участках без подготовки почвы. Влияние разреживаний на биологическую продуктивность может быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от типа леса и текущей плотности. Показатель биологической продуктивности культур в качестве определяющего при оптимизации способов искусственного лесоразведения более эффективен и нагляден по сравнению с чисто визуальным

сопоставлением или со сравнением лишь по ходу роста культур в высоту и по диаметру.

**7.5. ЭСКИЗЫ ТАБЛИЦ ХОДА РОСТА ПО ЗАПАСУ ФИТОМАССЫ (ТХРФ) ЕЛОВЫХ МОЛОДНЯКОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Наличие возрастного диапазона культур от 8 до 35 лет с известными показателями фитомассы (серии опытов 2 и 3) дает возможность впервые на Среднем Урале составить таблицы биологической продуктивности по фитомассе при различных способах выращивания ели. С этой целью материалы серий опытов 2 и 3 объединены и для каждого из анализируемых отдельно вариантов – «на открытых местах» и «под пологом» – выделены по три подварианта: 1) посадка без подготовки почвы и химического ухода (контроль), 2) посадка по пластам и 3) химическая обработка по целине.

Упомянутое выше отсутствие достоверности различий в фитомассе культур между подвариантами обработки почвы было обусловлено тем, что при сопоставлении предполагалось равенство их массообразующих показателей – возраста, густоты и средней высоты древостоя. Однако в действительности это не так, и различие в способах закладки и формирования культур отражается в первую очередь на их морфометрических (массообразующих) показателях, а последние обуславливают различия по фитомассе. Поскольку показатели морфометрии и фитомассы состоят в рекурсивном соотношении, соответственно для каждого из двух вариантов («открытые места» и «под пологом древостоя») составлена рекурсивная последовательность уравнений:

$$\begin{aligned} \ln H &= f(\ln A, X_1, X_2) \rightarrow \ln N = f(\ln A, \ln H, X_1, X_2) \rightarrow \\ \rightarrow \ln M &= f(\ln A, \ln H, \ln N, X_1, X_2) \rightarrow \ln Pst = f(\ln A, \ln H, \ln N, \ln M, X_1, X_2) \rightarrow \\ &\rightarrow \ln Pbr = f(\ln A, (\ln A)^2, \ln Pst, X_1, X_2) \rightarrow \\ &\rightarrow \ln Pf = f(\ln A, (\ln A)^2, \ln Pst, \ln Pbr, X_1, X_2) \rightarrow \\ &\rightarrow \ln Pr = f(\ln A, \ln H, \ln N, \ln M, X_1, X_2). \end{aligned} \quad (7.2)$$

Блоковыми фиктивными переменными  $X_1$  и  $X_2$  закодированы подварианты обработки почвы следующим образом:  $X_1 = 0, X_2 = 0$  – контроль;  $X_1 = 1, X_2 = 0$  – пласты и гряды;  $X_1 = 0, X_2 = 1$  – химическая обработка. Характеристика регрессионных уравнений (7.2) приведена в табл. 7.9 и 7.10.

Таблица 7.9

Характеристика уравнений (7.2) для вариантов «на открытых местах»

Зависимая переменная	Константы и независимые переменные											R <sup>2</sup>	SE
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub> (lnA)	a <sub>2</sub> (lnA) <sup>2</sup>	a <sub>3</sub> (lnH)	a <sub>4</sub> (lnN)	a <sub>5</sub> (lnM)	a <sub>6</sub> (lnPst)	a <sub>6</sub> (lnPbr)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>			
lnH	-5,4760	2,1845	-	-	-	-	-	-	0,3154	0,2103	0,987	0,146	
lnN	11,9069	-4,4562	-	1,8873	-	-	-	-	-0,0879	-0,3828	0,756	0,260	
lnM	-6,2962	1,6976	-	1,4197	1,4547	-	-	-	0,1415	0,2802	0,992	0,251	
lnPst	-5,3205	1,4729	-	-	0,4771	0,7899	-	-	0,0990	0,0182	0,997	0,157	
lnPbr	-9,7333	6,6034	-1,1796	-	-	1,1864	-	-	-0,2938	-0,1674	0,997	0,188	
lnPf	-3,3702	3,8821	-0,9141	-	-	0,6783	0,3498	-	-0,1040	-0,0421	0,997	0,132	
lnPr	-10,2890	3,0436	-	-	1,0271	0,3914	-	-	0,2042	0,2783	0,995	0,196	

Таблица 7.10

Характеристика уравнений (7.2) для вариантов «под пологом»

Зависимая переменная	Константы и независимые переменные											R <sup>2</sup>	SE
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub> (lnA)	a <sub>2</sub> (lnA) <sup>2</sup>	a <sub>3</sub> (lnH)	a <sub>4</sub> (lnN)	a <sub>5</sub> (lnM)	a <sub>6</sub> (lnPst)	a <sub>6</sub> (lnPbr)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>			
lnH	-4,7477	1,8091	-	-	-	-	-	-	0,4841	0,2199	0,966	0,199	
lnN	4,6497	-1,5229	-	0,6131	-	-	-	-	0,1356	-0,1926	0,768	0,232	
lnM	-3,0477	0,6023	-	1,7673	0,6533	-	-	-	0,4549	0,0539	0,978	0,342	
lnPst	-1,6112	-	-	0,9970	0,2888	0,6059	-	-	-0,0290	-0,1248	0,998	0,122	
lnPbr	-15,1938	9,5316	-1,5357	-	-	-	0,9716	-	-0,0904	-0,0111	0,995	0,210	
lnPf	-8,2404	6,9060	-1,4095	-	-	-	1,0498	-	0,0294	0,1215	0,996	0,142	
lnPr	-2,0628	-	-	0,7160	0,4640	0,5892	-	-	-0,1794	-0,0885	0,996	0,132	

Таблица 7.11

Эскиз таблиц хода роста по фитомассе молодых культур ели сибирской при разных способах выращивания на открытых пространствах вырубок Среднего Урала

Класс бонитета	А, лет	Н, м	N, экз/га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса древостоя, т/га				
					Стволы	Ветви	Хвоя	Корни	Итого
<i>Контроль</i>									
V	10	0,64	2240	0,16	0,050	0,012	0,058	0,042	0,16
V	15	1,55	1950	0,90	0,34	0,16	0,40	0,25	1,15
IV	20	2,91	1770	3,12	1,30	0,80	1,18	0,88	4,16
IV	25	4,74	1650	8,18	3,74	2,38	2,34	2,32	10,8
IV	30	7,06	1550	18,0	8,84	5,28	3,74	5,18	23,0
III	35	9,88	1470	34,9	18,3	9,80	5,20	10,2	43,5
II	40	13,2	1410	62,1	34,4	16,0	6,56	18,3	75,3
<i>Пласты и гряды</i>									
V	10	0,88	3710	0,59	0,20	0,05	0,22	0,14	0,61
IV	15	2,13	3240	3,41	1,34	0,64	1,46	0,86	4,30
IV	20	3,99	2950	11,8	5,24	3,10	4,36	3,02	15,7
III	25	6,49	2740	30,9	15,0	9,20	8,70	8,06	41,0
II	30	9,67	2570	67,7	35,4	20,4	13,9	18,0	87,7
I	35	13,5	2440	132	73,4	38,0	19,3	35,4	166,1
I	40	18,1	2340	234	138,0	61,8	24,4	63,4	287,6
<i>Химическая обработка</i>									
V	10	0,79	2270	0,29	0,10	0,024	0,11	0,07	0,30
IV	15	1,92	1980	1,64	0,66	0,30	0,74	0,42	2,12
IV	20	3,59	1800	5,69	2,52	1,48	2,18	1,48	7,66
IV	25	5,85	1670	14,9	7,26	4,40	4,38	3,94	20,0
III	30	8,71	1570	32,7	17,2	9,82	6,98	8,76	42,8
II	35	12,2	1490	63,6	35,6	18,2	9,68	17,2	80,7
I	40	16,3	1430	113	66,8	29,6	12,2	31,0	139,6

Все константы уравнений (7.2) значимы на уровне  $t_{05}$ . В частности, значимость констант при  $X_1$  и  $X_2$  составила для зависимости высоты древостоя от возраста для варианта «открытые места» соответственно 3,4 и 2,0, а для варианта «под пологом» – соответственно 4,5 и 2,0.

Таким образом, различие подвариантов по величине основного массообразующего показателя – средней высоте древостоя статис-

Таблица 7.12

Эскиз таблиц хода роста по фитомассе молодых культур ели сибирской при разных способах выращивания под пологом вторичных лиственных древостоев на Среднем Урале

Класс бонитета	А, лет	Н, м	N, экз/га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса древостоя, т/га				
					Стволы	Ветви	Хвоя	Корни	Итого
<i>Контроль</i>									
V	10	0,56	2,20	0,11	0,038	0,010	0,038	0,034	0,12
V	15	1,16	1,86	0,47	0,18	0,10	0,18	0,12	0,58
V	20	1,96	1,65	1,31	0,53	0,39	0,42	0,30	1,64
V	25	2,93	1,50	2,88	1,25	0,86	0,68	0,62	3,41
V	30	4,08	1,39	5,48	2,50	1,50	0,90	1,10	6,00
V	35	5,39	1,31	9,44	4,50	2,22	1,08	1,80	9,60
V	40	6,86	1,24	15,1	7,50	2,96	1,18	2,76	14,4
<i>Пласты и гряды</i>									
V	10	0,91	3,38	0,56	0,176	0,044	0,20	0,124	0,54
IV	15	1,89	2,86	2,33	0,83	0,42	0,96	0,44	2,65
IV	20	3,18	2,54	6,44	2,48	1,54	2,18	1,12	7,32
IV	25	4,76	2,32	14,2	5,82	3,50	3,54	2,28	15,1
IV	30	6,61	2,15	26,9	11,7	6,14	4,72	4,08	26,6
III	35	8,74	2,01	46,4	21,0	9,10	5,62	6,66	42,4
III	40	11,1	1,91	74,4	35,2	12,1	6,18	10,2	63,7
<i>Химическая обработка</i>									
V	10	0,70	2,07	0,17	0,052	0,014	0,060	0,04	0,17
V	15	1,45	1,75	0,71	0,24	0,14	0,30	0,16	0,84
V	20	2,44	1,56	1,96	0,74	0,50	0,66	0,40	2,30
V	25	3,65	1,42	4,32	1,72	1,16	1,08	0,82	4,78
V	30	5,08	1,32	8,21	3,46	2,02	1,44	1,46	8,38
IV	35	6,71	1,23	14,1	6,22	3,02	1,70	2,38	13,3
IV	40	8,55	1,17	22,7	10,4	4,00	1,88	3,66	19,9

тически достоверно. Поэтому ТХРФ (табл. 7.11 и 7.12) как результаты последовательного табулирования уравнений (7.2) составлены отдельно по двум вариантам с выделением в каждом трех подвариантов. Алгоритм составления ТХРФ включает в себя последовательный расчет возрастной динамики: вначале – массообразующих (морфометрических) показателей, а затем по их возрастным

Таблица 7.13

Эскиз таблицы биологической продуктивности полных молодых культур ели сибирской в Белоруссии (Нормативные материалы..., 1984).  
Класс бонитета – III по шкале М.М. Орлова

Возраст, лет	Средняя высота, м	Текущая густота, экз/га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га			
				Стволы	Ветви	Хвои	Итого
15	2,9	9930	16	5,6	1,85	3,92	11,4
20	5,1	8030	42	14,7	3,68	7,29	25,7
30	8,6	4780	107	37,4	5,59	10,5	53,5
40	11,5	3190	180	63,0	6,64	11,8	81,4

трендам – расчет возрастной динамики фитомассы по полному фракционному составу.

ТХРФ показывают, что до 10 лет культуры ели растут во всех вариантах и подвариантах по V классу бонитета. Это свидетельствует, во-первых, об однородности лесорастительных условий на участках опытных культур и, во-вторых, о том, что на этом этапе роста варианты и подварианты формирования культур не оказывают влияния на продуктивность культур ели. Но с возрастом дифференциация продуктивности культур по вариантам и подвариантам становится все более интенсивной. В результате наблюдаются совершенно разные закономерности роста культур по вариантам их формирования. Наиболее низкой продуктивностью (V классом бонитета по шкале М.М. Орлова для семенных древостоев) на протяжении всего исследованного возрастного диапазона характеризуется вариант «контроль, под пологом». В отличие от контроля в вариантах «пласты и гряды, под пологом» и «химическая обработка, под пологом» культуры, начав расти в I классе возраста по V классу бонитета, с возрастом ускоряют рост и к концу II класса возраста достигают в первом случае III и во втором – IV класса бонитета.

На открытом пространстве культуры ели также начинают расти по V классу бонитета, но к концу II класса возраста, освободившись от угнетающего влияния травяного покрова, достигают на контроле II, а в вариантах с обработкой почвы – даже I класса бонитета. В соответствии с различиями в изменениях класса бонитета различаются и показатели фитомассы ели (см. табл. 7.11 и 7.12). На открытых пространствах в подвариантах «контроль», «пласты и гряды» и «химическая обработка» фитомасса ели больше, чем под пологом мелколиственного древостоя, в середине I класса воз-

раста соответственно на 33, 13 и 76 %, а к концу II класса возраста соответственно в 5,2; 4,5 и 7,0 раз.

Обусловленные природными условиями особенности роста культур ели на открытых пространствах вырубок Урала (подмерзание молодых побегов в период заморозков, солнечные ожоги весной, близкий уровень верховодки на вырубках и др.) определяют довольно низкую их продуктивность в I классе возраста по сравнению с аналогичными культурами, произрастающими в лучших, нежели на Урале, климатических условиях, в подзоне хвойно-широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции (Белоруссия). Даже по сравнению с культурами, произрастающими в пессимальных для Белоруссии условиях (табл. 7.13), надземная фитомасса на Урале в 3–13 раз меньше. По-видимому, столь большие различия культур по продуктивности определяются не только худшими условиями произрастания (IV–V классы бонитета), но и в 3–5 раз более низкой густотой на Урале. Однако к концу II класса возраста, несмотря на более низкую густоту культур на Урале, надземная фитомасса ели, растущей к этому времени по I классу бонитета, превышает аналогичный показатель Белоруссии в 1,3–2,8 раза.

Таким образом, культуры ели, посаженные по подготовленной почве, имеют значения фитомассы более высокие, нежели на участках без подготовки почвы. Показатель биологической продуктивности культур в качестве определяющего при оптимизации способов искусственного лесоразведения более эффективен и нагляден, чем при сравнении лишь по ходу роста культур в высоту и по диаметру.

Глава 8

**СТРУКТУРА ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ 20-ЛЕТНИХ КУЛЬТУР ЕЛИ В БИЛИМБАЕВСКОМ ЛЕСХОЗЕ И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ**

**8.1. СТРУКТУРА ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ КУЛЬТУР ЕЛИ НА УРОВНЕ ДЕРЕВА**

Первичная продукция, или годичный прирост фитомассы культур ели, исследована только в серии опытов 2. Ее фактические значения сведены в табл. 8.1. Для анализа зависимости первичной продукции от определяющих факторов привлечена регрессионная модель, структура которой принята по аналогии с (6.3) и имеет вид

$$\ln Z_i = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln D + a_3 \ln H \ln D, \quad (8.1)$$

где  $Z_i$  – первичная продукция фракции дерева в абсолютно сухом состоянии (стволы в коре, кора ствола, ветви, хвоя, надземная часть, корни, общая, соответственно  $Z_{st}$ ,  $Z_b$ ,  $Z_{br}$ ,  $Z_f$ ,  $Z_{abo}$ ,  $Z_r$ ,  $Z_{tot}$ ), г;  $H$  и  $D$  – соответственно высота, м, и диаметр ствола на высоте груди, см.

Уравнение (8.1) взято за основу при расчете фракционной структуры первичной продукции на уровне дерева. Исключение составила структура уравнения для  $Z_f$ , при аппроксимации которого по морфометрическим параметрам дерева и первичной продукции ветвей  $Z_{br}$  линейный размер ствола ( $D$ ) во всех случаях оказался незначимым, и принята структура уравнения

$$\ln Z_f = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln Z_{br}. \quad (8.2)$$

Кроме того, независимая переменная, характеризующая первичную продукцию коры ствола, введена в уравнение в относительном выражении

$$\ln(Z_b/Z_{st}) = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln D. \quad (8.3)$$

Таблица 8.1

**Фактические значения первичной продукции модельных деревьев, взятых в 20-летних культурах ели Билимбаевского лесхоза при различных вариантах способов выращивания**

Вариант способа выращивания	№ пробы	№ модели	Диаметр, см	Высота, м	Фракционный состав первичной продукции, г					Бинарные переменные									
					Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни	Общая	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	
Гряда	2*	1	2,0	2,41	85,7	18,1	78,6	200	382	–	–	–	1	1	1	1	1	1	1
		2	2,0	2,20	53,7	7,67	73,3	160	295	37,1	–	–	1	1	1	1	1	1	1
		3	5,7	5,13	465	74,5	168	790	1498	–	–	–	1	1	1	1	1	1	1
		4	5,6	4,88	428	73,4	250	1040	1791	463	2254	–	1	1	1	1	1	1	1
		5	8,0	6,46	827	122	381	1430	2760	855	3615	–	1	1	1	1	1	1	1
		6	7,6	6,00	857	96,8	279	940	2173	–	–	–	1	1	1	1	1	1	1
Гряда	2**	7	1,1	1,88	29,2	4,4	30,0	58	122	28,2	150	0	0	0	0	0	0	0	0
		8	1,0	1,50	31,1	5,6	53,3	75	165	–	–	–	0	0	0	0	0	0	0
		9	4,0	3,56	214	29,8	145	240	629	146	775	–	1	1	1	1	1	1	1
		10	4,0	3,44	214	34,8	111	260	620	–	–	–	0	0	0	0	0	0	0
		11	6,9	6,36	667	81,9	213	780	1742	–	–	–	0	0	0	0	0	0	0
		12	7,1	6,61	606	70,3	270	700	1646	269	1915	–	1	1	1	1	1	1	1
Гряда	3*	13	0,7	1,42	19,1	3,8	31,3	72	126	17,9	144	1	1	1	1	1	1	1	
		14	1,1	1,66	28,7	7,2	32,9	61	130	–	–	–	1	1	1	1	1	1	
		15	5,0	4,30	304	55,8	160	620	1140	307	1447	–	1	1	1	1	1	1	
		16	5,2	4,63	176	27,8	231	710	1145	–	–	–	1	1	1	1	1	1	
		17	7,1	6,05	884	142	481	1620	3127	747	3874	–	1	1	1	1	1	1	
		18	7,2	5,46	560	80,9	822	3070	4533	–	–	–	1	1	1	1	1	1	

Продолжение табл. 8.1

Вариант способа выращивания	№ пробы	№ модели	Диаметр, см	Высота, м	Фракционный состав первичной продукции, г						Бинарные переменные							
					Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Наземная	Корни	Общая	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
Гряда	3**	19	1,2	1,70	24,2	4,4	20,0	53	102	-	-	0	1	1	1	1	1	
		20	0,6	1,61	22,8	2,4	17,1	45	87	19,9	107	0	1	1	1	1	1	1
		21	4,8	5,10	250	38,8	132	340	761	-	-	0	1	1	1	1	1	1
		22	4,2	4,24	181	27,5	71,1	220	500	106	606	0	1	1	1	1	1	1
		23	6,0	5,37	412	52,7	200	710	1375	-	-	0	1	1	1	1	1	1
		24	5,9	4,67	338	69,6	272	720	1400	266	1666	0	1	1	1	1	1	1
Гряда	4*	25	1,0	1,65	75,2	12,5	30,6	138	256	-	-	1	1	1	1	1	1	
		26	0,9	1,46	-	-	25,0	63	-	21,1	-	1	1	1	1	1	1	
		27	4,6	4,19	223	42,7	123	493	882	-	-	1	1	1	1	1	1	
		28	4,6	4,54	262	41,3	85,0	518	906	200	1106	1	1	1	1	1	1	
		29	5,5	4,40	417	83,1	434	1333	2267	344	2611	1	1	1	1	1	1	
		30	6,6	5,30	490	94,6	298	1043	1926	-	-	1	1	1	1	1	1	
Гряда	4**	31	1,0	1,97	24,2	5,5	17,8	67	115	-	-	0	1	1	1	1	1	
		32	1,2	1,77	34,8	6,4	35,7	157	234	40,3	274	0	1	1	1	1	1	
		33	3,9	3,97	185	19,0	77,8	441	723	-	-	0	1	1	1	1	1	
		34	4,2	4,08	363	51,9	116	366	897	233	1130	0	1	1	1	1	1	
		35	6,0	5,82	401	52,2	275	1266	1994	-	-	0	1	1	1	1	1	
		36	5,9	6,52	251	31,6	204	864	1351	294	1645	0	1	1	1	1	1	
Пласт	8*	61	2,1	2,30	58,5	9,7	44,0	143	255	-	-	1	1	1	1	1	1	
		62	1,7	2,47	40,2	5,0	31,7	119	196	27,3	223	1	1	1	1	1	1	

Пласт	8*	63	4,8	4,46	312	53,4	179	546	1090	168	1258	1	1	1	1	1	1
		64	4,8	5,42	359	34,1	90,5	429	913	-	-	1	1	1	1	1	1
		65	8,0	6,96	1126	175	516	2157	3974	-	-	1	1	1	1	1	1
		66	8,0	6,61	932	116	411	1338	2797	556	3353	1	1	1	1	1	1
		67	1,1	1,95	19,3	4,4	16,5	55	95	12,5	107	0	1	1	1	1	1
		68	1,0	1,67	21,3	4,3	25,0	70	121	-	-	0	1	1	1	1	1
Пласт	8**	69	3,4	3,55	124	44,5	72,9	221	462	79	541	0	1	1	1	1	1
		70	4,0	4,18	207	32,3	80,0	397	716	-	-	0	1	1	1	1	1
		71	6,8	6,00	580	71,3	371	1087	2109	-	-	0	1	1	1	1	1
		72	7,0	5,24	682	106	546	1560	2894	421	3315	0	1	1	1	1	1
		79	0,6	1,40	15,6	2,9	34,2	64	117	-	-	1	1	1	1	1	1
		80	0,9	1,68	24,6	3,5	20,0	85	133	27,3	160	1	1	1	1	1	1
Пласт	17*	81	4,1	4,35	229	26,0	74,1	468	797	173	970	1	1	1	1	1	1
		82	4,1	4,07	156	12,4	81,0	486	735	-	-	1	1	1	1	1	1
		83	7,0	5,52	467	78,6	337	1695	2578	-	-	1	1	1	1	1	1
		84	7,1	5,83	681	79,9	399	1641	2801	619	3420	1	1	1	1	1	1
		85	0,9	1,51	27,9	4,4	26,2	84	142	25,4	167	0	1	1	1	1	1
		86	1,0	1,72	26,2	3,8	28,0	81	139	-	-	0	1	1	1	1	1
Пласт	17**	87	3,4	3,60	185	29,0	159	442	815	134	949	0	1	1	1	1	1
		88	3,4	3,85	173	25,0	52,0	228	478	-	-	0	1	1	1	1	1
		89	7,0	6,97	736	97,6	365	1123	2322	-	-	0	1	1	1	1	1
		90	6,8	6,18	461	70,4	393	1440	2364	374	2738	0	1	1	1	1	1
		73	2,0	1,70	34,9	4,2	45,5	76	161	-	-	1	1	1	1	1	1
		74	1,3	1,91	52,9	11,6	38,2	85	188	22,8	211	1	1	1	1	1	1

Окончание табл. 8.1

Вариант способа выращивания	№ пробы	№ модели	Диаметр, см	Высота, м	Фракционный состав первичной продукции, г						Бинарные переменные								
					Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни	Общая	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	
Двойной пласт	10*	75	5,4	5,30	456	64,4	314	966	1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		76	5,0	4,38	269	37,4	198	651	1155	181	1336	-	-	-	-	-	-	-	
		77	9,1	6,80	1406	149	517	2535	4607	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		78	9,0	6,66	1533	167	582	2013	4295	589	4884	-	-	-	-	-	-	-	
Химическая обработка	7*	49	1,0	1,79	21,9	3,3	28,0	68	121	-	-	-	-	-	0	-	-	-	
		50	1,0	1,45	22,2	6,2	14,3	64	107	18,0	125	1	1	0	0	-	-	-	
		51	4,3	3,40	234	34,5	167	522	958	212	1170	1	1	0	0	-	-	-	
		52	4,7	3,86	296	38,4	205	549	1088	-	-	1	1	0	0	-	-	-	
		53	8,7	6,16	1014	141	600	1770	3525	703	4228	1	1	0	0	-	-	-	
		54	8,3	6,76	1083	143	452	1731	3409	-	-	1	1	0	0	-	-	-	
		55	1,0	1,53	18,0	4,0	23,1	70	115	21,2	136	0	-	-	-	1	-	-	0
		56	1,0	1,59	31,8	5,5	22,5	54	114	-	-	0	-	-	-	1	-	-	0
Химическая обработка	7**	57	3,4	3,27	113	18,8	203	426	761	-	-	-	-	-	1	-	-	0	
		58	3,4	3,20	82,2	14,5	96,3	223	416	67	483	0	-	-	-	1	-	0	
		59	5,8	5,14	517	82,6	287	822	1709	-	-	0	-	-	-	1	-	0	
		60	6,7	5,19	577	80,3	386	915	1958	413	2371	0	-	-	-	1	-	0	
Химическая обработка	14*	37	1,0	1,60	28,5	4,5	14,7	65	113	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
		38	1,4	1,77	39,9	10,2	85,3	175	310	55,2	365	1	1	0	0	-	-	-	
		39	4,6	4,43	363	38,5	146	744	1291	-	-	1	1	0	0	-	-	-	
		40	5,7	4,53	421	66,0	352	939	1778	377	2155	1	1	0	0	-	-	-	

Химическая обработка	14*	41	7,5	6,20	873	159	512	1356	2900	-	-	1	1	0	-	-	-	-
	42	7,6	6,38	816	102	432	1695	3045	787	3832	1	1	0	0	-	-	-	-
Химическая обработка	14**	43	0,9	1,57	13,6	2,6	15,7	36	68	12,2	80	0	-	-	1	-	-	0
		44	1,0	1,78	20,5	4,1	13,8	43	81	-	-	0	-	-	1	-	-	0
		45	3,3	3,4	126	27,6	58,3	241	453	98	551	0	-	-	-	1	-	0
		46	2,9	2,98	78,0	20,2	74,3	245	417	-	-	0	-	-	-	1	-	0
		47	5,4	3,80	355	33,2	130	539	1057	-	-	0	-	-	-	1	-	0
		48	4,7	4,45	237	33,2	123	693	1086	204	1290	0	-	-	-	1	-	0
Контроль (без обработки)	24*	91	0,8	1,61	27,0	6,7	16,7	42	92	37,6	130	0	0	0	-	-	-	-
		92	1,0	1,60	28,1	4,4	29,1	57	119	-	-	0	0	0	-	-	-	-
		93	3,5	3,41	185	21,4	102	257	565	73,5	638	0	0	0	-	-	-	-
		94	3,8	3,27	154	28,7	200	470	853	-	-	0	0	0	-	-	-	-
		95	5,9	4,82	503	74,3	333	835	1745	400	2145	0	0	0	-	-	-	-
		96	5,7	4,15	331	40,0	261	600	1232	-	-	0	0	0	-	-	-	-
Контроль (без обработки)	24**	97	0,8	1,39	21,7	3,6	24,0	55	104	-	-	-	-	-	0	-	-	0
		98	1,0	1,42	16,1	9,6	17,3	25	68	11,3	79	-	-	-	0	-	-	0
		99	2,1	2,06	38,3	13,5	49,5	73	174	-	-	-	-	-	0	-	-	0
		100	2,2	2,19	74,2	19,0	100	116	309	87,7	397	-	-	-	0	-	-	0
		101	3,6	2,97	127	19,9	143	325	615	133	748	-	-	-	0	-	-	0
		102	3,7	3,42	163	20,0	137	287	607	-	-	-	-	-	0	-	-	0



Таблица 8.2

Показатели достоверности (по Стьюденту) различия попарных уравнений (8.1) – (8.3), описывающих зависимости первичной продукции деревьев от определяющих предикторов по способам выращивания

Сравниваемые способы выращивания	Фракционный состав первичной продукции							$X_j$	
	Zst	Zb/Zst	Zbr	Zf	Zabo	Zr	Ztot		
Все способы на открытых местах Все способы под пологом	1,8	0,4	0,7	4,0	3,1	2,5	2,2	$X_1$	
Все способы Контроль	Открытые места	1,3	1,9	0,4	3,3	1,2	0,4	0,7	$X_2$
Посадка по грядкам и пластам Контроль		1,5	2,3	0	3,2	1,5	0,7	0,7	$X_3$
Посадка по грядкам и пластам Способы с химической обработкой		0,6	0,3	0,4	0,1	0,7	0,9	0,7	$X_4$
Все способы Контроль	Под пологом	0,3	2,3	0,3	2,7	0,8	0,4	1,1	$X_5$
Посадка по грядкам и пластам Контроль		1,1	0	0,3	2,6	1,0	0,7	1,4	$X_6$
Посадка по грядкам и пластам Способы с химической обработкой		1,5	0,5	0,9	0,5	1,1	0,8	0,9	$X_7$

На основе предварительного сравнительного анализа фактических значений первичной продукции деревьев в связи с массообразующими параметрами выделено два варианта попарного сравнения уравнений (8.1) – (8.3), характеризующих способы выращивания культур ели соответственно на открытых местах и под пологом вторичного листового древостоя, возникшего после рубки. В пределах каждого выделены пары подвариантов (табл. 8.2), и каждая пара закодирована бинарной переменной  $X_j$ , где  $j = 1, 2, 3, \dots, 7$  по аналогии с табл. 6.6 для показателей фитомассы.

Для первой составляющей названной пары бинарная переменная  $X_j$  принята равной 1, а для второй – 0. При расчете уравнений (8.1) – (8.3) по названным семи вариантам бинарная переменная  $X_j$  поочередно вводилась в уравнения в качестве независимой, и значимость константы при ней, по Стьюденту, характеризовала наличие

или отсутствие достоверности различий сравниваемых попарно уравнений (см. табл. 8.2). Константы, характеризующие достоверные различия уравнений, выделены жирным шрифтом.

Данные таблицы дают возможность судить о степени достоверности различия способов выращивания культур (объединенных в некоторые группы) по значениям первичной продукции фракционного состава деревьев ели, описываемым зависимостями от массообразующих показателей. Иными словами, речь идет о достоверном или недостоверном различии первичной продукции деревьев по вариантам выращивания при условии, что их массообразующие показатели в вариантах одни и те же.

Наиболее достоверные различия первичной продукции по большинству фракций имеют место между вариантами закладки культур на открытом месте и под пологом вторичного мелколиственного древостоя (бинарная переменная  $X_1$ ). А именно, при одних и тех же значениях определяющих факторов в уравнениях показатели первичной продукции на открытых местах существенно выше, чем под пологом. Это означает, что таблицы для подеревенной оценки первичной продукции необходимо составлять отдельно для культур, выращиваемых на открытом месте и под пологом.

Выделение в пределах двух названных вариантов трех пар подвариантов выращивания соответственно  $X_2 - X_4$  и  $X_5 - X_7$  (см. табл. 8.2) показало, что наиболее выражены различия первичной продукции при выращивании культур как на открытых местах, так и под пологом, между подвариантами «все способы» и «по грядкам и пластам», с одной стороны, и контролем – с другой, причем на контроле первичная продукция во всех случаях существенно ниже. Однако это различие достоверно лишь по первичной продукции хвои, преобладающей в общей продукции. Различие первичной продукции между подвариантами «по грядкам и пластам» и «химическая обработка» оказалось недостоверным по всему фракционному составу как на открытых местах, так и под пологом.

В связи с изложенным составлены отдельные таблицы для определения первичной продукции фракционного состава деревьев в культурах ели I – II классов возраста, созданных на открытых местах и под пологом вторичного древостоя. Табл. 8.4 и 8.5 составлены путем табулирования соответствующих уравнений, характеристика которых дана в табл. 8.3. Табличные значения общей ( $Z_{tot}$ ) первичной продукции деревьев ели получены путем сложения соответствующих значений составляющих их фракций.

Поскольку различие первичной продукции между подвариантами «все способы» и «по грядкам и пластам», с одной стороны, и кон-

Таблица 8.3

Характеристика уравнений (8.1) – (8.3) зависимости первичной продукции деревьев от определяющих независимых переменных на открытых местах и под пологом древостоя (при бинарной переменной  $X_1$ )

$\ln Z_i$	Константы и независимые переменные						$R^2$	Ошибка уравнения	$t$ - критерий при $X_1$
	$a_0$	$a_1 X_1$	$a_2 \ln D$	$a_3 \ln H$	$a_4 \ln D \ln H$	$a_5 \ln(Zbr)$			
$\ln Zst$	3,349	0,081	0,789	–	0,485	–	0,979	0,20	1,8
$\ln(Zb/Zst)$	-1,421	0,015	0,483	-0,903	–	–	0,387	0,15	0,4
$\ln Zbr$	4,481	0,058	1,293	-2,454	0,922	–	0,911	0,35	0,7
$\ln Zf$	1,718	0,203	–	0,956	–	0,609	0,968	0,22	4,0
$\ln Zr$	3,010	0,241	0,705	–	0,482	–	0,948	0,31	2,5

тролем – с другой, достоверно лишь в отношении хвои, а по надземной, подземной и общей продукции различие не подтверждается, отдельные таблицы по названным подвариантам не составлены. Таблицы первичной продукции (см. табл. 8.4 и 8.5) дают представление о степени различия первичной продукции культур ели по полному фракционному составу между вариантами выращивания на открытых местах и под пологом. Это различие показано при условии равенства линейных размеров стволов в обоих вариантах, при этом показатели первичной продукции ели на открытых местах на 20 % выше по сравнению с выращиванием под пологом вторичного листового древостоя.

### 8.2. СТРУКТУРА ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ КУЛЬТУР ЕЛИ НА УРОВНЕ ДРЕВОСТОЯ

Показатели первичной продукции культур ели, рассчитанной на 1 га по разным вариантам подготовки почвы, продублированные в каждом варианте (открытое место и под пологом), приведены в сравнении с контролем в табл. 8.6. Лучшие показатели первичной годичной продукции получены по вариантам посадки по грядам и пластикам (без угнетающего влияния полога) с варьированием от 5 до 8 т/га, в среднем 7 т/га. Это на 20 % выше аналогичного показателя культур ели в Украинских Карпатах, который в среднем составил 5,8 т/га (Колосок, 2001). Однако 20 %-я разница в этом случае может быть обусловлена не лесорастительными условиями, а методикой расчета. Первичная продукция на Украине получена не прямым измерением, как в нашем случае, а расчетным методом: по фактическим

Таблица 8.4

Первичная годичная продукция (абсолютно сухое состояние) 20-летних культур ели на Среднем Урале, сформировавшихся под пологом вторичного мелколиственного древостоя, г

Диаметр ствола, см	Фракция фитомассы	Высота дерева, м																								
		1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10														
0,5	Zst	14,3	13,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–				
	Zbr	10,3	4,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
	Zf	34,0	26,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
	Zr	10,9	9,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	Итого	69,5	53,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
1	Zst	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	
	Zbr	32,6	16,1	9,3	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zf	68,6	58,7	52,1	47,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zr	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3
	Итого	150	123	110	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
1,5	Zst	42,5	45,0	47,0	48,6	51,5	53,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zbr	64,2	35,3	22,2	15,2	8,3	5,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zf	104	94,7	88,3	83,5	76,3	71,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zr	29,2	30,9	32,3	33,5	35,4	37	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Итого	239	205	189	180	171	167	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	Zst	–	62,1	66,9	71,2	78,4	84,5	89,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zbr	–	61,5	41,0	29,5	17,5	8,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zf	–	132	128	125	119	115	112	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zr	–	41,7	44,9	47,7	52,5	56,6	60,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Итого	–	298	281	273	268	268	271	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	Zst	–	98,0	110	121	141	159	176	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zbr	–	134	97,6	75,0	49,6	36,0	27,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Zf	–	214	217	220	226	230	233	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Диаметр ствола, см	Фракция фито-массы	Высота дерева, м												
		1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10		
3	Zr	-	63,5	71,5	78,8	91,7	103	113	123	-	-	-	-	-
	Итого	-	510	497	496	509	528	550	572	-	-	-	-	-
	Zst	-	135	157	177	215	250	283	314	344	-	-	-	-
4	Zbr	-	234	180	145	103	79,9	64,5	53,8	46,0	-	-	-	-
	Zf	-	300	316	331	354	374	390	405	418	-	-	-	-
	Zr	-	85,6	99,4	112	136	158	178	197	216	-	-	-	-
6	Итого	-	756	754	766	810	862	917	971	1025	-	-	-	-
	Zst	-	-	259	304	390	474	55,0	635	713	790	-	-	-
	Zbr	-	-	429	371	294	246	212	188	169	153	-	-	-
8	Zf	-	-	537	584	669	742	808	869	925	977	-	-	-
	Zr	-	-	158	185	237	288	337	385	432	478	-	-	-
	Итого	-	-	1384	1445	1591	1751	1914	2077	2239	2400	-	-	-
10	Zst	-	-	-	444	594	744	894	1045	1196	1347	1498	-	-
	Zbr	-	-	-	720	617	547	496	457	425	399	377	-	-
	Zf	-	-	-	876	1049	1208	1355	1493	1623	1748	1868	-	-
12	Zr	-	-	-	264	352	441	529	617	706	794	883	-	-
	Итого	-	-	-	2305	2614	2941	3276	3613	3952	4290	4627	-	-
	Zst	-	-	-	-	-	1056	1295	1538	1786	2037	2291	-	-
10	Zbr	-	-	-	-	-	1017	958	910	871	837	809	-	-
	Zf	-	-	-	-	-	1762	2021	2271	2511	2745	2972	-	-
	Zr	-	-	-	-	-	613	751	891	1033	1178	1324	-	-
12	Итого	-	-	-	-	-	4450	5027	5612	6203	6799	7398	-	-
	Zst	-	-	-	-	-	1407	1752	2110	2479	2857	3244	-	-
	Zbr	-	-	-	-	-	1688	1639	1598	1564	1534	1508	-	-
10	Zf	-	-	-	-	-	2398	2803	3199	3587	3968	4343	-	-
	Zr	-	-	-	-	-	803	1000	1202	1411	1625	1844	-	-
	Итого	-	-	-	-	-	6298	7196	8112	9042	9986	10940	-	-

Таблица 8.5  
Первичная годовичная продукция (абсолютно сухое состояние) 20-летних культур ели на Среднем Урале, сформировавшихся на открытых местоположениях вырубок, г

Диаметр ствола, см	Фракция фито-массы	Высота дерева, м												
		1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10		
0,5	Zst	15,6	14,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zbr	10,1	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zf	43,1	33,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Zr	13,8	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	83,4	64,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zst	30,8	30,8	30,8	30,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	Zbr	34,6	17,0	9,8	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zf	87,0	74,6	66,1	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zr	25,8	25,8	25,8	25,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Итого	178	148	132	123	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zst	46,0	48,7	50,9	52,7	55,8	58,3	-	-	-	-	-	-	-
	Zbr	68,0	37,4	23,5	16,1	8,8	5,5	-	-	-	-	-	-	-
3	Zf	131	120	112	105	96,8	90,4	-	-	-	-	-	-	-
	Zr	37,2	39,3	41,1	42,6	45,0	47,0	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	282	245	227	217	206	201	-	-	-	-	-	-	-
2	Zst	-	67,3	72,6	77,2	85,0	91,6	97,4	-	-	-	-	-	-
	Zbr	-	65,2	43,5	31,2	18,5	12,3	8,8	-	-	-	-	-	-
	Zf	-	168	163	158	152	147	143	-	-	-	-	-	-
3	Zr	-	53,0	57,1	60,7	66,8	72,0	76,6	-	-	-	-	-	-
	Итого	-	354	336	327	322	323	326	-	-	-	-	-	-
	Zst	-	106	119	131	153	173	190	207	-	-	-	-	-
3	Zbr	-	142	103	79,5	52,5	38,1	29,3	23,4	-	-	-	-	-
	Zf	-	271	276	280	286	291	296	299	-	-	-	-	-

Диаметр ствола, см	Фракции фито-массы	Высота дерева, м																					
		1,5		2		2,5		3		4		5		6		7		8		9		10	
3	Zr	-	80,8	91,0	100	116	131	144	156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	-	601	590	592	609	634	660	687	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Zst	-	146	170	192	234	272	307	341	373	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zbr	-	248	191	154	110	84,7	68,3	57,0	48,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Zf	-	381	402	420	450	474	496	514	531	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zr	-	109	126	142	173	201	227	251	275	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого		-	885	890	910	967	1032	1099	1164	1228	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zst	-	-	281	329	423	514	602	688	773	856	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Zbr	-	-	455	393	312	261	225	199	179	162	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zf	-	-	681	742	849	942	1026	1103	1174	1240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Zr	-	-	201	235	302	366	429	490	550	608	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Итого	-	-	1619	1701	1887	2084	2283	2481	2676	2869	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Zst	-	-	-	482	644	807	970	1133	1297	1460	1624	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zbr	-	-	-	763	654	580	526	484	451	423	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого		-	-	-	1111	1332	1533	1719	1894	2060	2219	2371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zr	-	-	-	336	448	561	673	786	898	1011	1124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого		-	-	-	2694	3080	3482	3890	4299	4707	5115	5520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zst	-	-	-	-	-	1146	1404	1668	1937	2209	2485	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого		-	-	-	-	-	1078	1015	964	923	887	857	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zbr	-	-	-	-	-	2236	2566	2882	3187	3484	3772	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого		-	-	-	-	-	780	956	1134	1315	1499	1685	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zr	-	-	-	-	-	5242	5942	6650	7364	8081	8800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого		-	-	-	-	-	1525	1900	2288	2688	3098	3517	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zst	-	-	-	-	-	1789	1737	1694	1657	1626	1598	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого		-	-	-	-	-	3043	3558	4061	4553	5036	5512	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zr	-	-	-	-	-	1023	1272	1530	1796	2068	2346	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого		-	-	-	-	-	7382	8469	9574	10695	11829	12975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Фактические данные первичной продукции культуры ели в абсолютно сухом состоянии на уровне дровостоя

Вариант способа выращивания	№ пробной площади	Первичная продукция, т/га							Бинарные переменные							
		Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни	Всего	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	
Гряда	2*	1,18	0,172	0,535	1,984	3,87	1,19	5,06	1	1	1	1	1	1	1	1
	2**	0,393	0,050	0,184	0,473	1,10	0,196	1,30	0	0	0	0	0	0	0	0
Гряда	3*	1,25	0,198	1,118	3,913	6,48	1,37	7,85	1	1	1	1	1	1	1	1
	3**	0,400	0,075	0,232	0,681	1,39	0,281	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0
Гряда	4*	1,38	0,256	0,932	3,358	5,93	1,23	7,16	1	1	1	1	1	1	1	1
	4**	0,617	0,080	0,209	1,549	2,45	0,497	2,95	0	0	0	0	0	0	0	0
Пласт	8*	2,13	0,291	0,959	3,568	6,95	1,19	8,14	1	1	1	1	1	1	1	1
	8**	0,551	0,089	0,374	1,142	2,16	0,345	2,51	0	0	0	0	0	0	0	0
Пласт	17*	1,22	0,369	0,732	3,440	5,76	1,18	6,94	1	1	1	1	1	1	1	1
	17**	0,666	0,096	0,423	1,407	2,59	0,452	3,04	0	0	0	0	0	0	0	0
Двойной пласт	10*	1,18	0,136	0,534	1,993	3,84	0,533	4,37	1	1	1	1	1	1	1	1
	7*	0,736	0,101	0,404	1,296	2,53	0,504	3,03	1	1	1	1	1	1	1	1
Химическая обработка	7**	0,151	0,024	0,115	0,284	0,574	0,099	0,67	0	0	0	0	0	0	0	0
	14*	0,787	0,117	0,478	1,542	2,92	0,747	3,67	1	1	1	1	1	1	1	1
Химическая обработка	14**	0,108	0,017	0,054	0,234	0,413	0,088	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0
	24*	0,214	0,031	0,164	0,393	0,802	0,197	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0
Контроль (без обработки почвы)	24**	0,078	0,015	0,083	0,155	0,331	0,069	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0

\* Открытое место; \*\* под пологом вторичного листового дровостоя.

Таблица 8.7

Показатели достоверности (по Стьуденту) различий первичной продукции на уровне древостоя по способам выращивания с применением бинарных переменных  $X_j$  в качестве независимых в выражении (8.4)

данным надземной и подземной фитомассы культуры ели в возрасте от 11 до 135 лет рассчитывали уравнение зависимости общей фитомассы от возраста, предварительно приплюсовывая данные отпада по ГХР, а затем взятием первой производной по возрасту древостоев от общей производительности фитомассы получили годовую первичную продукцию.

Сравнительный анализ первичной продукции ели на уровне древостоя по нашим вариантам и подвариантам мы выполнили по той же схеме, что и на уровне дерева в табл. 8.2, с той лишь разницей, что в этом случае сопоставлены не уравнения, а непосредственно совокупности значений первичной продукции по фракционному составу на 1 га древостоя. Анализ выполнен с применением бинарных переменных  $X_j$  в качестве независимых:

$$Z_i = a_0 + a_1 X_j, \quad (8.4)$$

где  $Z_i$  – первичная продукция фракции древостоя в абсолютно сухом состоянии (древесина ствола, кора ствола, ветви, хвоя, надземная часть, корни, общая соответственно  $Z_{st}, Z_b, Z_{br}, Z_f, Z_{abo}, Z_r, Z_{tot}$ ), т/га.

Показатели достоверности различия первичной продукции еловых культур на уровне древостоя по вариантам и подвариантам способов выращивания сведены в табл. 8.7. Ее данные в основном подтверждают соотношение показателей достоверности различия первичной продукции еловых культур, установленное на уровне дерева (см. табл. 8.2), но в данном случае достоверность различия по вариантам (выделена шрифтом) существенно выше. Это обусловлено, во-первых, наиболее высоким остаточным варьированием первичной продукции отдельного дерева, поскольку при расчете на 1 га показатель продукции становится интегральным и менее изменчивым.

Во-вторых, на уровне дерева выполнено сопоставление уравнений зависимости продукции от диаметра и высоты дерева с помощью бинарной переменной, т.е. варианты сопоставлены при условии равенства диаметра и высоты в обоих вариантах. Фактически же средние размеры стволов на открытых местах значительно больше таковых под пологом, а поскольку при сравнении вариантов для древостоев условие равенства линейных размеров не ставится и сравниваются исходные совокупности древостоев непосредственно, то и различие вариантов и подвариантов более выражено и подтверждено статистически.

Наибольшие различия (и соответственно с наивысшей достоверностью) первичной продукции древостоев подтверждены по вариантам «на открытых местах» и «под пологом» при значении крите-

Способы выращивания	Фракционный состав первичной продукции							$X_j$
	Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвоя	Надземная	Корни	Общая	
Все способы на открытых местах	4,6	3,9	4,4	4,2	4,6	5,0	4,7	$X_1$
Все способы под пологом								
Все способы								
Контроль	2,2	1,8	2,0	2,0	2,2	2,2	2,3	$X_2$
Посадка по грядам и пластам	2,9	2,2	2,5	2,9	3,3	2,9	3,4	$X_3$
Контроль								
Посадка по грядам и пластам	2,3	2,0	2,0	2,6	2,8	2,2	2,8	$X_4$
Способы с химической обработкой								
Все способы								
Контроль	1,4	1,4	1,0	1,2	1,3	1,2	1,3	$X_5$
Посадка по грядам и пластам	3,3	3,3	1,7	1,8	2,2	2,1	2,2	$X_6$
Контроль								
Посадка по грядам и пластам	4,2	4,3	2,4	2,3	2,9	2,8	2,9	$X_7$
Способы с химической обработкой								

рия Стьюдента в среднем около 4,6, что существенно превышает табличное значение 2,0. В числовом выражении это превышение примерно 3-кратное (табл. 8.8), тогда как по упомянутым причинам на уровне дерева составляло лишь 20 %.

Достоверно также различие первичной продукции в подвариантах, заложенных на открытых местах: между всеми вариантами и контролем ( $t = 2,0-2,3$ ), между подвариантом «по грядам и пластам» и контролем ( $t = 2,2-3,4$ ) и между подвариантами «по грядам и пластам» и «химическая обработка» ( $t = 2,0-2,8$ ). Посадка по грядам и пластам дает примерно 7-кратное превышение первичной продукции по сравнению с контролем и лишь 2-кратное – по сравнению с вариантом «химическая обработка» (см. табл. 8.8). При посадке по

Таблица 8.8  
Соотношения показателей фракционного состава первичной продукции по группам способов создания лесных культур

Сравниваемые варианты	Показатель	Фракционный состав первичной продукции						
		Древесина ствола	Кора ствола	Ветви	Хвои	Надземная	Корни	Общая
Все способы на открытых местах (1)	Абсолютные значения $Z_i(1)$ , т/га	1,23	0,205	0,712	2,64	4,79	0,99	5,78
	Относительные значения, К общей продукции %	21	4	12	46	83	17	100
	К фитомассе фракции	16	16	12	31	20	20	20
Все способы под пологом (2)	Абсолютные значения $Z_i(2)$ , т/га	0,413	0,062	0,227	0,824	1,53	0,28	1,81
	Относительные значения, К общей продукции %	23	3	13	45	84	16	100
	К фитомассе фракции	15	15	10	27	18	18	18
	Отношение $Z_i(1) : Z_i(2)$	3,0	3,3	3,1	3,2	3,1	3,5	3,2
Открытые места	Абсолютные значения $Z_i(1)$ , т/га	1,23	0,205	0,712	2,64	4,79	0,99	5,78
	Относительные значения, К общей продукции %	21	4	12	46	83	17	100
	К фитомассе фракции	16	16	12	31	20	20	20
Контроль (2)	Абсолютные значения $Z_i(2)$ , т/га	0,214	0,031	0,164	0,39	0,80	0,20	1,00
	Относительные значения, К общей продукции %	21	3	16	39	79	21	100
	К фитомассе фракции	16	16	14	27	19	20	19
	Отношение $Z_i(1) : Z_i(2)$	5,7	6,6	4,3	6,8	6,0	5,0	5,8

Посадка по грядам и пластам (1)	Абсолютные значения $Z_i(1)$ , т/га	1,39	0,237	0,802	3,04	5,47	1,12	6,59
	Относительные значения, К общей продукции %	21	4	12	46	83	17	100
	К фитомассе фракции	16	16	12	31	20	20	20
Химическая обработка (2)	Абсолютные значения $Z_i(2)$ , т/га	0,762	0,109	0,441	1,42	2,73	0,63	3,36
	Относительные значения, К общей продукции %	23	3	13	42	81	19	100
	К фитомассе фракции	17	17	12	30	21	21	21
Контроль (3)	Абсолютные значения $Z_i(3)$ , т/га	0,214	0,031	0,164	0,39	0,80	0,20	1,00
	Относительные значения, К общей продукции %	21	3	16	39	79	21	100
	К фитомассе фракции	16	16	14	27	19	20	19
	Отношение $Z_i(1) : Z_i(2)$	1,8	2,2	1,8	2,1	2,0	1,8	2,0
	Отношение $Z_i(1) : Z_i(3)$	6,5	7,6	4,9	7,8	6,8	5,6	6,6
Посадка по грядам и пластам (1)	Абсолютные значения $Z_i(1)$ , т/га	0,526	0,078	0,284	1,05	1,94	0,35	2,29
	Относительные значения, К общей продукции %	23	3	12	46	84	16	100
	К фитомассе фракции	15	15	9	26	17	18	17
Химическая обработка (2)	Абсолютные значения $Z_i(2)$ , т/га	0,130	0,021	0,085	0,26	0,50	0,10	0,60
	Относительные значения, К общей продукции %	22	4	14	43	83	17	100
	К фитомассе фракции	18	18	13	32	22	23	22
Контроль (3)	Абсолютные значения $Z_i(3)$ , т/га	0,078	0,015	0,083	0,155	0,331	0,069	0,40
	Относительные значения, К общей продукции %	20	4	21	39	84	16	100
	К фитомассе фракции	13	13	12	22	16	16	16
	Отношение $Z_i(1) : Z_i(2)$	4,0	3,7	3,3	4,0	3,9	3,5	3,8
	Отношение $Z_i(1) : Z_i(3)$	6,7	5,2	3,4	6,8	5,9	5,1	5,7

грядам и пластам обеспечиваются два фактора лучшего роста (дренаж и лучшее питание, во-первых, и устранение конкуренции травянистой растительности, во-вторых), а при химической обработке – лишь один (устранение конкуренции трав). Столь существенная разница в названных соотношениях означает, что при формировании культур ели в их успешном росте и продуцировании лучшие условия дренажа и питания играют первоочередную роль, а устранение конкуренции напочвенного покрова – лишь вторичную.

Под пологом лиственного древостоя различия по подвариантам недостоверны лишь между усредненными по всем способам величинами и контролем (при бинарной переменной  $X_5$ , см. табл. 8.7). Видимо, это объясняется очень большими различиями между подвариантами «по грядам и пластам» и «химическая обработка», смешение которых и обусловило упомянутую статистическую недостоверность. Если же мы выделяем подвариант «по грядам и пластам» и проанализируем его в сравнении с контролем (бинарная переменная  $X_6$ ) и с подвариантом «химическая обработка» (бинарная переменная  $X_7$ ), то получаем достоверные различия по первичной продуктивности (см. табл. 8.7). Показатели первичной продукции подварианта «по грядам и пластам» по сравнению с подвариантом «химическая обработка» оказываются в 4, а по сравнению с контролем – почти в 6 раз выше (см. табл. 8.8).

Полученные на наших объектах соотношения первичной продукции по полному фракционному составу в исходном виде можно сравнить с немногочисленными аналогичными данными, полученными другими авторами в иных природных регионах, причем это сопоставление более наглядно в относительных единицах. Так, в лесостепной зоне Красноярского края в 25-летних культурах ели на суглинках (IV класс бонитета) относительные значения первичной продукции, выраженные в процентах к общей (надземной + подземной), составили для стволов в коре, ветвей, хвои и корней соответственно 41, 13, 23 и 23 % (Ведрова и др., 2000). На наших объектах аналогичные показатели равны соответственно 24–26, 12–21, 39–46 и 16–21 %. Меньшее относительное участие стволов в общей первичной продукции и соответственно большее – кроны на наших объектах по сравнению с Сибирью свидетельствует о преимущественном распределении ассимилятов в крону в ущерб стволу, что, возможно, объясняется различиями в густоте, которая на сибирском объекте составляет 14 тыс. экз/га, т. е. выше примерно в 5 раз (см. табл. 5.5).

Относительные (по отношению к общей массе фракций) приросты ствола, ветвей, хвои и корней у Э.Ф. Ведровой с соавторами (2000) составили соответственно 5, 6, 25 и 9 %, а на наших объектах – соот-

ветственно 13–17, 9–14, 22–32 и 16–23 % (см. табл. 8.8), т. е. выше по всем фракциям. В этом случае определяющим фактором, скорее всего, является различие регионов по условиям произрастания.

Фактические значения первичной продукции и таксационные показатели еловых культур Среднего Урала в количестве 17 пробных площадей (см. табл. 5.5 и 8.6) включены в базу данных (Усольцев, 2007) в качестве биопродукционной характеристики искусственных фитоценозов ели в таежной зоне Среднего Урала.

Таким образом, на статистически достоверном уровне наибольшая первичная продукция получена в варианте посадки культур на открытых местах, и она во всех случаях выше, чем под пологом вторичного древостоя. В том и другом вариантах подвариант «посадка по грядам и пластам» дал более высокую первичную продукцию, чем подварианты «химическая обработка» и контроль.

Показатель первичной продукции культур в качестве определяющего при оптимизации способов искусственного лесоразведения более эффективен и нагляден по сравнению с сопоставлением по фитомассе, а тем более – со сравнением лишь по ходу роста культур в высоту и по диаметру.

## Глава 9

### ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ОЦЕНКА САМОСЕВА ЕЛИ СИБИРСКОЙ В ЕЛОВЫХ КУЛЬТУРАХ СРЕДНЕГО УРАЛА

В таежной зоне одной из актуальных проблем является естественное восстановление ельников после сплошных рубок основной породой, как правило, неудовлетворительное (Придня, 1972). Поэтому первоочередное значение отводится искусственному лесовосстановлению. Лесокультурное производство России началось в 1738 г. закладкой Линдуловской рощи на площади 5 га, к концу 1920-х гг. ежегодный объем лесовосстановительных работ достиг 100 тыс. га (Побединский, 1973), а сегодня по Рослесхозу он составляет около 800 тыс. га, 41 и 39 % которых представлены культурами соответственно ели и сосны (Леса России..., 2006). Однако, по мнению многих исследователей, в условиях бореальной зоны культуры не обоснованы ни с экологических, ни с генетических, ни с энергоэкономических позиций (Thomasius, 1981; Lundkvist, 1982; Стадницкий, 1985; Leibundgut, 1987; Санников и др., 2004).

Поэтому в последние годы в европейских странах, в значительной степени лишившихся своих естественных лесов, разрабатываются программы «натурализации» искусственных фитоценозов ели европейской и сосны обыкновенной, т.е. последовательного переформирования их в сложные разновозрастные экосистемы (Fürst et al., 2004; Schmidt, Denner, 2005). Спонтанный процесс подобной «натурализации» не всегда возможен. Например, на Уфимском плато отсутствие подроста материнской породы под пологом 60-летних культур лиственницы из-за наличия мощной подстилки и задернения оставляет будущее этих насаждений без перспективы на воспроизводство (Конашова, 2000), хотя опыт Линдуловской рощи свидетельствует об обратном (Кеппен, 1885; Редько, 1984). Применительно к культурам ели можно привести, по крайней мере, два положительных результата подобной спонтанной «натурализации».

В 1930-х гг. на Ижорском плато (Ленинградская область) земли, оставшиеся бесхозными после «раскулачивания», были в срочном порядке засажены елью европейской. К настоящему времени культуры достигли возраста 77 лет и имеют запасы (до 800 м<sup>3</sup>/га), вдвое превышающие запасы естественных ельников того же возраста. Культуры сформировали под пологом специфичную лесную среду с типично лесным напочвенным покровом и четко дифференцировались по четырем типам леса, по В.Н. Сукачеву. Особенностью их является вдвое большая численность подлеска по сравнению с естественными ельниками, что в совокупности с более высокой полнотой (0,8 против 0,5) имеет следствием существенно меньшее количество подростов (Алятин, 2007). Тем не менее в данном случае налицо признаки «натурализации» культур ели европейской.

Второй пример имеет отношение к культурам ели ситхинской на островах Лисьих (около 50°45' с.ш., 166° з.д.) в средней части Алеутской гряды, уникальных тем, что эти острова, покрытые лишь травянистой и кустарниковой растительностью, были абсолютно безлесны в течение всего голоцена (вследствие их сравнительно позднего вулканического происхождения), хотя почвенные и климатические условия (годовые осадки 1470 мм, средняя годовая температура 4,7 °С, 120–190 дней с температурой выше 0 °С) были вполне благоприятными (Фишер, 1841; Alden, Bruce, 1989). Начало их искусственного облесения восходит к временам колонизации Аляски русскими первопроходцами. В частности, на о-ве Уналашка преосвященный Иннокентий (Вениаминов) занялся «разведением на сем острове леса для снабжения оным тамошних обитателей» (Фишер, 1841. С. 149, 151) путем посадки подпологового подростов ели ситхинской из Ново-Архангельска (ныне г. Ситка на тихоокеанском побережье Аляски), а также посева других пород семенами из Охотска и Камчатки.

Таким образом, в 1840-е гг. на безлесных островах Лисьих на удалении 800–900 км от границы естественных лесов были произведены первые лесопосадки ели ситхинской, которые к концу XX в. имели высоту до 17 м и диаметр деревьев до 55 см, фактически натурализовались и их площади существенно увеличились путем естественного возобновления на прилегающих безлесных пространствах (Alden, Bruce, 1989).

Наше исследование начального этапа восстановления ели сибирской (*Picea obovata* Led.) выполнено в подзоне южной тайги Свердловской области (Починковское лесничество Билимбаевского лесхоза) на разных микроэкоотопах 23-летнего елового культурценоза, заложенного на сплошнолесосечной свежей вырубке в типе леса ельник травяной. Было проведено два лесоводственных мероприя-



тия по уходу за елью – осветление коридорным методом в 9-летнем возрасте и прочистка комбинированным методом – в 16-летнем.

**Методика исследований.** Изучение естественного восстановления ели проведено в октябре 2006 г. через 7 лет после второго приёма рубок ухода (прочистка) на временных пробных площадках (ПП) размером 20–25 м<sup>2</sup> (4×5 и 5×5 м), которые закладывались в «окнах», где освещенность поверхности почвы составляла не менее 50 % от полной. Каждая ПП включала варианты микроэктопа: 1) микропонижение – минерализованные полосы (дно борозд, нарезанных плугом ПКЛ-70); 2) микроповышение – поверхность пластов (образованы при нарезке борозд); 3) целинная часть – поверхность почвы на вырубке в междурядьях культур, не поврежденная лесокультурными орудиями (контроль), 4) древесный детрит, представленный крупными пнями и порубочными остатками, валежником, который также учитывался на ПП. Степень разложения органического субстрата оценивалась по В.Я. Частухину и М.А. Николаевской (1969).

Заложено 78 ПП, на которых учтено 381 растение ели 1–12-летнего возраста. Биометрические показатели определены в каждом микроэктопе у всех растений ели 4–5-летнего возраста, а фитомасса – у 30 растений. Фитомассу корневой системы изучали методом В.А. Колесникова (1972). Опад собирали в пределах ПП на каждом из первых трех вариантов микроэктопа на площадках размером 1 м<sup>2</sup> в 10-кратной повторности. Масса самосева и опада пересчитана термовесовым методом на абсолютно сухое состояние. Выделены три категории возобновления: всходы – растения 1-го года жизни; самосев – растения 2–5-летнего возраста и подрост – растения в возрасте 6 лет и старше (ОСТ 56-108-98).

**Общая характеристика участка.** Исследуемый участок культурценоза площадью 6,8 га расположен в нижней половине придолинного склона (уклон 3–5°) юго-западной экспозиции. Культуры ели заложены 4-летними сеянцами механизированным способом по микропонижениям – дну борозд, нарезанных плугом через 4,3–5,6 м. Почвы дерново-слабоподзолистые, суглинистые на элювии осадочных пород. Участок представлен смешанным двухъярусным елово-лиственным молодняком составом 3Е4Б3Ос с общей численностью деревьев 7900–11800 экз/га. Высота первого яруса 9–12 м, второго – до 9 м. В первом ярусе находятся деревья лиственных пород и отдельные еловые деревья-лидеры культур, во втором – деревья ели в культурах и деревья лиственных пород вторичного порослевого возобновления после рубок ухода. Густота деревьев ели в 23-летних культурах составила 840–1060 экз/га (сохранность 31–39 %), средняя высота 6,8 ± 0,72 м.

Сомкнутость полога по территории участка неравномерная. В пологом елово-лиственном молодняке после рубки лиственных пород оказалось большое количество «окон» размером 15–80 м<sup>2</sup>, а общая площадь открытых мест, где порослевое повторное возобновление лиственных пород отсутствовало, достигала 20–35 % территории участка. Освещенность под пологом смешанного молодняке не превышала 30 % от открытого места. Поверхность почвы сплошь покрыта плотным слоем слабо разложившегося опада, состоящего в основном из листьев березы, осины, ивы, рябины, черемухи, толщина его 0,5–1,0 см. Еловый самосев находился в угнетенном состоянии, но без признаков повреждения надземной части, его численность от 30 до 130 шт/га, возраст 3–12 лет.

Источником распространения семян ели на участке являются одиночные деревья (20–40 шт/га) высотой 16–19 м, сформировавшиеся из подроста и тонкомера предварительной генерации, а также отдельные деревья ели в культурах (100–130 шт/га), составляющие первый ярус хвойно-лиственного молодняке.

**Характеристика микроэктопов.** Глубина минерализованных полос в местах елового самосева была 6,9±0,6 (4,5–8,5) см, ширина – 67,8±5,0 см. Плотность почвы в зоне корнеобитаемого слоя 1,21–1,39 г/см<sup>3</sup> (табл. 9.1). По дну микропонижений развита обильная разнотравно-злаковая растительность и мхи. Поверхность минерализованных полос покрыта рыхлым слоем свежего опада толщиной до 2 см (см. табл. 9.1), состоящего из надземных органов травостоя, тонких ветвей и листьев древесно-кустарниковых пород, коры, чешуй от шишек, хвои и незначительного количества ветоши. В результате многолетнего разложения опада образовался гумифицированный слой толщиной 0,4–0,9 см.

Микроповышения имеют толщину 8,1±0,7 и ширину 24,9±0,3 см. Плотность почвы здесь отличалась от других вариантов микроэктопа: в верхнем 0–10-сантиметровом слое 1,01 г/см<sup>3</sup>, в 10–20-сантиметровом слое 0,86 г/см<sup>3</sup>. Это следствие того, что между нижней частью пласта и целинной частью вырубке произошло полное разложение опада и образовался двойной аккумулятивный гумусовый горизонт мощностью 9–13 см. В результате плотность почвы 0–20-сантиметрового слоя в микроповышениях была в 1,2–1,7 раза ниже, чем по микропонижениям. Толщина гумифицированного слоя достигла 1–1,5 см.

Поверхность почвы целинной части участка по междурядьям культур имела сильное задернение, достигшее 70–100 % площади «окон». Сформировался более мощный, по сравнению с другими микроэктопами, опад, состоящий из стеблей злаковых видов и лис-

Таблица 9.1

Характеристика микроэкотопов и елового самосева на лесокультурном участке

№ п.п.	Показатель	Минполоса	Пласт	Контроль
1	Площадь, занятая микроэкотопом, м <sup>2</sup> на 1 га / %	1360/14	1000/10	7640/76
2	Толщина лесного опада, см	1–2	1,5–2	2–2,5
3	Масса опада, г/ м <sup>2</sup>	22–39	20–51	63–309
4	Мощность гумифицированного слоя, см	0,4–0,9	1,5–2,5	2,5–4,5
5	Плотность почвы по слоям, г/см <sup>3</sup>			
	0–10 см	1,21	1,01	0,86
	10–20 см	1,39	0,82	1,09
6	Встречаемость елового самосева, %	26	18	46
7	Общее количество елового самосева на 1 га, шт.	60	130	260
8	Возрастная структура елового самосева, шт/ %			
	1-летние всходы	26/43	18/14	16/6
	2-летний самосев	4/6	14/11	8/3
	3-летний самосев	6/10	10/8	30/11
	4-летний самосев	12/20	36/28	38/15
	5-летний самосев	11/20	35/27	46/18
	6-летний подрост	1/1	7/5	31/12
	7-летний подрост	–	6/4	33/13
	Подрост 8 лет и старше	–	4/3	58/22

твев березы, осины, ивы, рябины, черемухи, а также веток, хвой, чешуй, шишек. Толщина опада достигла 2,5 см, он более плотного сложения, а масса его в 3–6 раз больше, чем на минерализованных полосох и по микроповышениям. Мощность гумусового горизонта 5–7 см.

Древесный детрит, почти сплошь покрытый мхами, на вырубке 25-летней давности имел высоту 10–36 см от поверхности почвы, а общее количество «колодин» с наличием елового самосева составляло 26–86 экз/га. Все пни размером более 35 см, порубочные остатки и валежник хвойных пород достигли 4-го класса разложения, а пни хвойных пород размером до 35 см, а также пни, порубочные остатки и валежник лиственных пород – 5-го класса.

**Характеристика елового самосева.** Еловый самосев по территории лесокультурного участка расположен крайне неравномерно, в основном одиночными растениями и очень редко группами по 2–3 экз. По микроповышениям, несмотря на меньшую долю его встречаемости, в расчете на единицу площади микроэкотопа он по отношению к другим микроэкотопам наиболее представлен.

Максимальное количество всходов ели приходится на микропонижения (см. табл. 9.1), чаще в местах со слабой степенью зарастания травянистой растительностью, где опада мало, а состояние его рыхлое, но с присутствием мхов в напочвенном покрове. Однако количество елового самосева 2–6-летнего возраста здесь минимальное по сравнению с микроповышением и целинной частью.

Общее количество сохранившегося елового самосева по микропонижениям в 3 раза меньше, чем по микроповышениям, и в 4 раза меньше, чем на контроле. Максимальный возраст самосева ели по микропонижениям достигает 6 лет, а по микроповышениям и на целинной части – 9 и 12 лет. На целинной части с увеличением толщины опада и его плотности, а также с усилением степени задержания поверхности почвы вероятность появления всходов снижается. По микроповышениям максимальная численность елового самосева отмечена на 3-й и 4-й годы после второго приема рубок ухода, т. е. в тот период, когда плотный подпологовый опад, сформировавшийся до ухода, разложился, а опад и травянистый ярус прореженного насаждения еще не сформировались.

Таким образом, на участке 23-летних культур ели имеется около 500 экз/га елового самосева 2–12-летнего возраста. Начало его появления связано с первым приемом рубок ухода – осветлением культур ели коридорным методом. Формирование сомкнутого полога хвойно-лиственного молодняка, плотный опад, состоящий в основном из листьев, и наличие малого количества естественных деревьев ели – обсеменителей не позволили после осветления развить этот процесс. Второй прием рубок (прочистка комбинированным методом) с большей степенью выборки лиственных пород, вызвавший инсоляцию подпологового лиственного опада, ускорил его разложение и одновременно улучшил почвенно-световой режим для деревьев ели в культурах, часть которых, в результате интенсивного прироста по высоте, составляла первый ярус в смешанном молодняке; у многих уже сформированы генеративные органы. В результате накопление елового самосева по микроповышениям и микропонижениям активизировалось, но на целинной части вырубки – на непродолжительное время.

**Биометрические показатели.** Изучение роста и развития елового самосева по разным микроэкотопам показало (табл. 9.2), что

Таблица 9.2

Биометрические показатели елового самосева

Тип микроэкоотопа	Высота стволика, см	Текущий годичный прирост по высоте, см			Диаметр корневой шейки, мм
		2004	2005	2006	
<i>4-летний еловый самосев</i>					
Микропонижение	13,0±0,90	2,4±0,15	3,9±0,35	4,9±0,25	2,3±0,13
Микроповышение	17,2±0,97	3,9±0,34	4,6±0,60	5,8±0,24	3,0±0,10
Целинная часть	15,4±0,78	2,5±0,17	4,6±0,31	5,3±0,28	2,8±0,12
Древесный детрит	8,8±0,08	1,5±0,11	2,6±0,18	3,5±0,16	1,0±0,08
<i>4-летние сеянцы из питомника</i>					
Посевное отделение питомника	23,4±0,59	5,1±0,20*	6,4±0,28**	9,9±0,40***	4,9±0,68
<i>5-летний еловый самосев</i>					
Микропонижение	15,7±0,40	2,9±0,20	3,8±0,26	3,9±0,33	2,6±0,08
Микроповышение	18,9±0,46	3,1±0,17	4,9±0,35	6,2±0,36	3,2±0,09
Целинная часть	17,5±0,55	2,9±0,19	4,9±0,31	5,8±0,28	3,0±0,11
Древесный детрит	9,2±0,09	2,0±0,09	2,5±0,08	3,6±0,12	1,1±0,09

\*Годичный прирост 2-летних сеянцев в питомнике, \*\*3-летних \*\*\*4-летних.

высота, текущий годичный прирост по высоте, диаметр корневой шейки стволика были минимальными по минерализованной полосе и максимальными по микроповышению; на целинной части эти показатели роста растений ели занимали промежуточное положение.

Достоверность различий перечисленных биометрических показателей 4–5-летних растений подтверждается на статистически значимом уровне между типами микроэкоотопа «микропонижение и микроповышение» в 80 % случаев, между типами «микропонижение и целинная часть» – в 40–80 и между типами «микроповышение и целинная часть» – в 10 % случаев. 4-летний самосев ели по сравнению с сеянцами такого же возраста, выращенными в посевном отделении питомника Билимбаевского лесхоза (см. табл. 9.2), имеет меньшие биометрические показатели по высоте в 1,4–2,6 раза и по диаметру в 1,7–4,9 раза.

На древесном детрите высота 4–5-летнего елового самосева в большинстве случаев не превышала 10 см, а годичный прирост по высоте и диаметр были ниже в 1,5–3 раза, чем у растений ели на других микроэкоотопах.

Таблица 9.3

Фитомасса растений ели (числитель – г, знаменатель – %)

Тип микроэкоотопа	Стволик, ветви	Хвоя	Надземная часть	Корни	Итого	Отношение масс хвоя : корни
<i>4-летний самосев</i>						
Микропонижение	<u>0.38±0.02</u> 40	<u>0.36±0.02</u> 38	<u>0.74±0.033</u> 78	<u>0.20±0.02</u> 22	<u>0.94±0.04</u> 100	1,8
Микроповышение	<u>0.64±0.05</u> 40	<u>0.59±0.03</u> 36	<u>1.23±0.091</u> 76	<u>0.39±0.05</u> 24	<u>1.62±0.11</u> 100	1,5
Целинная часть	<u>0.46±0.03</u> 39	<u>0.44±0.02</u> 37	<u>0.90±0.069</u> 76	<u>0.28±0.02</u> 24	<u>1.18±0.09</u> 100	1,6
Древесный детрит	<u>0.09±0.001</u> 39	<u>0.09±0.001</u> 39	<u>0.18±0.013</u> 78	<u>0.05±0.001</u> 22	<u>0.23±0.01</u> 100	1,8
<i>4-летние сеянцы из питомника</i>						
Посевное отделение питомника	<u>1.88±0.09</u> 32	<u>2.10±0.18</u> 36	<u>3.90±0.486</u> 68	<u>1.91±0.02</u> 32	<u>5.81±0.50</u> 100	1,1
<i>5-летний самосев</i>						
Микропонижение	<u>0.48±0.03</u> 41	<u>0.40±0.02</u> 34	<u>0.88±0.056</u> 75	<u>0.30±0.03</u> 25	<u>1.18±0.08</u> 100	1,3
Микроповышение	<u>0.75±0.08</u> 37	<u>0.67±0.05</u> 34	<u>1.42±0.093</u> 71	<u>0.58±0.04</u> 29	<u>2.00±0.13</u> 100	1,2
Целинная часть	<u>0.52±0.04</u> 34	<u>0.50±0.02</u> 33	<u>1.02±0.048</u> 67	<u>0.49±0.03</u> 33	<u>1.51±0.09</u> 100	1,1
Органический субстрат	<u>0.12±0.00</u> 37	<u>0.13±0.00</u> 39	<u>0.25±0.014</u> 76	<u>0.08±0.00</u> 24	<u>0.33±0.00</u> 100	1,6

**Фитомасса.** Важным показателем, характеризующим условия микроэкоотопов, является накопление еловым самосевом фитомассы. Установлено (табл. 9.3), что фитомасса 4-5-летнего самосева ели по микропонижениям существенно ниже, чем у аналогичного самосева по микроповышениям и на целинной части, но выше, чем на древесном детрите. В общей фитомассе 4-летнего самосева и сеянцев из питомника на ствол с ветвями приходится 39–40, на хвою –

36–39 и на корни – 21–24 %, а у 5-летнего самосева соответственно 34–41, 33–39 и 25–33 % без существенных различий между микроэктопами.

Еловый самосев 4-летнего возраста на древесном детрите имеет фитомассу в 4–7 раз меньше, чем в других микроэктопах. По сравнению с 4-летним еловым самосевом общая фитомасса 5-летнего самосева ели больше на 12–14 %. Достоверность различий фитомассы 4–5-летних растений подтверждается на статистически значимом уровне между всеми типами микроэктопа в 90–100 % случаев.

## Глава 10

### **МАССА И ПРОТЯЖЕННОСТЬ КОРНЕЙ КУЛЬТУР ЕЛИ СИБИРСКОЙ И ВТОРИЧНОГО ЛИСТВЕННОГО ДРЕВОСТОЯ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ИХ КОНКУРЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ**

---

#### **10.1. МОРФОСТРУКТУРА НАСАЖДЕНИЙ И КОРНЕНАСЫЩЕННОСТЬ РИЗОСФЕРЫ КУЛЬТУР ЕЛИ СИБИРСКОЙ И ВТОРИЧНОГО ЛИСТВЕННОГО ДРЕВОСТОЯ В СВЯЗИ С РУБКАМИ УХОДА**

В экологии растений наименее изучены их корневые системы. Имеется диспропорция в степени изученности количественных характеристик листвы и корней древесных растений, несмотря на то что корни в не меньшей степени, чем листва, определяют продукционный потенциал растения. В первой половине XX столетия появились данные о том, что в корнях протекают видоспецифичные реакции синтеза физиологически активных соединений азота, что растение через корни усваивает углекислоту из почвенных газов и карбонатов, активно участвующую в фотосинтезе, что в корнях синтезируются вещества гормонального действия типа производных нуклеиновых кислот (Lundegårdh, 1927; Иванов, 1953; Курсанов, 1954, 1955).

Исследованиями Н.С. Санниковой (1992) на количественном уровне показано, что ведущая роль корневой конкуренции в формировании морфоструктуры лесного полога проявляется не только в листовенных редколесьях на многолетней мерзлоте (Софронов, Волокитина, 1998), но и в пределах всей лесной зоны от северной тайги до сухих тургайских степей.

Известно, что в формировании морфоструктуры насаждений значительную роль играют рубки ухода, но вопрос их влияния на корневую конкуренцию деревьев практически не исследован.

Как отечественная, так и зарубежная литература посвящена в основном изучению влияния рубок ухода на морфоструктуру полога, причем в естественных насаждениях. Значительно меньше таких данных по культурам, причем исследовались главным образом искусственные насаждения сосны. По ели имеются лишь фрагментарные работы: в Московской области (Тюрмер, 1891; Эйтинген, 1953; Родин, Мерзленко, 1974; Калякин, 1970); на Северо-Западе европейской части России (Чмыр, 1977) и ее Северо-Востоке (Ларин, Паутов, 1989); в Предуралье (Прокопьев, 1964; Разин, Рогозина, 1986).

Таким образом, эколого-биологические особенности формирования структуры искусственных фитоценозов под воздействием рубок ухода в зависимости от эдафических условий и корневой конкуренции ели в культурах на фоне возобновившихся мелколиственных пород практически не изучены. Сказанное обуславливает актуальность подобной работы для условий Урала, где площадь еловых молодняков искусственного происхождения только в Свердловской и Пермской областях превышает 600 тыс. га.

Целью исследований было изучение морфоструктуры насаждений и пространственного распределения массы и протяженности корней ели и конкурирующего с нею полога мелколиственных пород последующего возобновления в толще почвогрунта после двух приемов рубок ухода в 30-летних культурах Починковского лесничества Билимбаевского лесхоза Свердловской области.

**Характеристика лесокультурной площади.** Опытнo-производственный участок площадью 8,6 га заложен в 1977 г. на вырубке 10-летней давности в типе леса ельник травяной в кв. 43. Участок приурочен к верхней 1/3 макросклона юго-западной экспозиции с уклоном до 5°. Почва на участке свежая дерново-слабоподзолистая, суглинистая на элювии осадочных пород.

Почва обрабатывалась плугом ПКЛ-70, с помощью которого нарезалась борозда и двойным встречным проходом отдельно напахивались пласты. Глубина борозд 10–15 см; толщина пластов около 20 см, ширина – 35–40 см. Размещение борозд и пластов с востока на запад, расстояние между осями борозд около 5 м. Посадка выполнена вручную 3-летними сеянцами ели сибирской по дну борозд и в один пласт. За культурами ели проведено три агротехнических и два лесоводственных ухода: осветление коридорным методом в 8-летних культурах ели, прочистка комбинированным методом – в 15-летних. После осветления полнота насаждения была 0,7, а после прочистки 0,4–0,5. Осветление выполнено на всей территории участка, прочистка – на одной части территории, а вторая оставлена в качестве контрольного варианта, где ель затенялась лиственными породами последующего возобновления.

**Методика исследований.** Исследования выполнены на заложенных трех пробных площадях в культурах ели соответственно по трем вариантам:

- культуры на открытом месте с минимальной степенью затенения кроны единичными деревьями лиственных пород (состав древостоя 10ЕедБ), заложенные по пластам (вариант 1);
- то же (состав 10ЕедБ), заложенные по дну борозд (вариант 2);
- культуры, сформировавшиеся под пологом березы и осины (состав 4Е4Б2Ос), заложенные по дну борозд (вариант 3).

Подбор вариантов выполнен в предположении, что первые два позволят выявить влияние на морфоструктуру и корненасыщенность эдафических условий ели (пласты и дно борозд) в чистых культурах, а вторые два – влияние различной степени угнетения ели вторичным мелколиственным древостоем в одних и тех же эдафических условиях.

В каждом варианте взято по 6 модельных деревьев. Протяженность скелетных корней (горизонтальную проекцию корневой системы) определяли по методу А.Ф. Чмыра (1984). У каждого дерева в обе стороны от ряда раскапывали по три скелетных корня, вдоль ряда – по одному-двум корням. Корненасыщенность почвенных слоев изучали согласно методическим указаниям В.А. Колесникова (1972) и П.К. Красильникова (1983). Проводящие корни древесно-кустарниковых пород толщиной более 1 мм различали по цвету, например желтовато-коричневому у ели, красноватому у березы, белесому у осины, черному у рябины и черники. Тонкие корни (<1 мм) по цвету не различались и идентифицировались по их примыканию к проводящим корням.

Выделены три зоны последовательного удаления от оси ряда культур к середине междурядья. Для этого напротив модельных деревьев закладывали траншеи длиной стороной (2,2 м) вдоль междурядья на расстоянии 0,5; 1,5 и 2,5 м от оси ряда культур, обозначенных порядковыми номерами соответственно от 1 до 3. Ширина и глубина траншеи 0,5 м. Из стенки траншеи, ближней к ряду деревьев, отбирали семь монолитов размером 25 × 20 см по каждому слою почвы: верхнему (0–10 см), среднему (10–20 см) и нижнему (20–30 см). Почву монолитов замачивали в полиэтиленовых емкостях и промывали через сита с ячейками последовательно 2,0; 1,0 и 0,5 мм. Корни ели и лиственных пород разбирали и сортировали с помощью металлического шаблона по категориям крупности: мелкие до 1 мм, средние – 1–3, крупные 3–10 и очень крупные – 10–20 мм. Нижний срез последних выполняли на расстоянии 0,25 м от оси ствола. Затем корни взвешивали на лабораторных весах «Shimadzu

Морфометрические показатели модельных деревьев ели в 30-летних культурах

Вариант	Высота, м	Диаметр на высоте груди, см	Проекция кроны, м		Протяженность живой кроны, м	Продолжительность жизни хвои, лет	
			вдоль ряда	поперек ряда		на стволе	на ветвях
Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 1)	12,8± 0,33	10,8± 0,37	2,41± 0,11	3,3± 0,19	12,2± 0,61	8	9
Посадка в дно борозд. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 2)	7,6± 0,20	7,3± 0,21	1,7± 0,07	2,4± 0,05	7,1± 0,20	9	11
Посадка в дно борозд. Под пологом лиственных пород. Состав 4Е4Б2Ос (вариант 3)	4,1± 0,14	4,2± 0,13	1,7± 0,06	1,9± 0,09	3,8± 0,15	8	10

ЕЛВ-600» с точностью до 0,01 г и измеряли длину каждой их категории на миллиметровой бумаге. Все образцы высушивали в термостате до абсолютно сухого состояния при 100–105 °С, после чего определяли коэффициенты содержания сухого вещества по категориям крупности.

**Результаты исследований.** *Морфоструктура культуриценоза после осветлений.* Культуры ели, созданные по пластам, с первых лет имели преимущество по темпам роста по сравнению с культурами в бороздах вследствие лучших эдафических условий для ели. Это преимущество сохранялось и после осветлений, а в вариантах посадки по дну борозд к моменту проведения прочисток (к возрасту 15 лет) культуры оказались под пологом лиственных пород либо имели боковое затенение. В результате сформировался по существу сложный древостой с полной елово-лиственного насаждения, превышающей нормативную. Под пологом этого сложного молодняка максимальная относительная освещенность поверхности почвы лишь на короткое время летом (не более 2 ч в день) составляла 30 % от полной, а температура почвы на открытом месте и под пологом имела различие в верхних слоях (0–20 см) 2–3 °С и в нижнем (20–30 см) 1,4–2,1 °С. Травостой был угнетен. В общей массе годичного древесного опада 2,4 т/га доля листьев составляла 40–60 %. Высота ели по пластам превышала высоту деревьев по дну борозд в 1,4–2,2 раза. В первом случае около 40 % деревьев ели находились в первом ярусе, 20 % не затенялись и лишь 40 % деревьев группами по 3–5 шт. в ряду имели некоторое затенение с обеих сторон. Во втором случае в культурах по дну борозд 75 % деревьев ели (группами по 23–75 шт. в ряду) находилось под пологом лиственных пород.

*Морфоструктура культуриценоза после прочистки.* Прочистка в еловых культурах в значительной мере изменила экологические условия в насаждении. Прежде всего повысились интенсивность и продолжительность освещенности большей части кроны деревьев и поверхности почвы, усилился приток солнечной радиации к нижним ярусам растительности и почвенным горизонтам, в вегетационный период возросла сумма эффективных температур. Увеличилось видовое разнообразие травяного покрова, его обилие и высота, а масса в общем опаде достигла 40–60 %. В чистых еловых культурах годичный опад хвои, обладающей кислой реакцией, составлял около 2 т/га. Поэтому участие годичного опада травостоя (1,8–3,0 т/га) и возросшее количество осадков, прямо проникающих к поверхности почвы, существенно улучшили химический состав лесной подстилки, тем самым создали более благоприятные условия питания корневой системы деревьев.

К 30-летнему возрасту на участке сформировались два типа насаждений: одноярусные чистые еловые с единичным участием осины, березы, ивы козьей, рябины обыкновенной (около 65 % территории участка) и двухъярусные лиственно-хвойные молодняки (4Е4Б2Ос), где ель находилась во втором ярусе под пологом лиственных пород. Таксационная характеристика деревьев ели в 30-летних культурах приведена в табл. 10.1.

К возрасту 30 лет из культур, созданных по пластам, почти повсеместно сформировался чистый еловый древостой (вариант 1). В культурах, созданных по дну борозд, чистый еловый древостой (вариант 2) и смешанный лиственно-хвойный молодняк (вариант 3) находились в соотношении соответственно 40 и 60 %. В последнем случае ель росла под пологом лиственных пород (береза, осина, ива, рябина). Возобновившаяся после прочистки древесно-кустарниковая растительность на начальном этапе служила хорошим подгоном для роста ели в высоту. Но к возрасту 20–22 лет, когда лиственные породы стали обгонять в росте ель, прирост последней заметно снизился. Чем интенсивнее затенена ель, тем сильнее у нее выражено снижение прироста по всем морфометрическим показателям. Высота и диаметр ели на открытых местах при посадке в дно борозд (вариант 2) меньше соответствующих показателей ели при посадке ее в пласт (вариант 1) на 32–41 %, а при посадке в дно борозд морфомет-

Таблица 10.2

**Корненасыщенность почвогрунтов в междурядьях 30-летних еловых культур на разном удалении от ряда**

Глубина почвенного слоя, см	Фитомасса (т/га) корней ели (первая цифра) и лиственных пород (вторая цифра) и доля лиственных (%) в общей массе корней (третья цифра) на удалении от ряда культур		
	0–0,5 м	0,5–1,5 м	1,5–2,5 м
<i>Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ</i>			
0–10	2,86 / 0,45 / 13,6	2,17 / 0,34 / 13,5	0,83 / 0,18 / 17,8
10–20	0,38 / 0,01 / 2,6	0,38 / 0,01 / 2,6	0,11 / 0,02 / 15,4
20–30	0,10 / 0,002 / 2,0	0,06 / 0,03 / 33,3	0,02 / 0,02 / 50,0
0–30	3,34 / 0,462 / 12,2	2,61 / 0,38 / 12,7	0,96 / 0,22 / 18,6
<i>Посадка в дно борозды. Открытое место. Состав 10ЕедБ</i>			
0–10	0,93 / 0,40 / 30,1	0,54 / 0,68 / 55,7	0,11 / 0,31 / 73,8
10–20	0,60 / 0,29 / 32,6	0,35 / 0,23 / 39,7	0,14 / 0,17 / 54,8
20–30	0,09 / 0,05 / 35,7	0,23 / 0,17 / 42,5	0,02 / 0,02 / 50,0
0–30	1,62 / 0,74 / 31,4	1,12 / 1,08 / 49,1	0,27 / 0,50 / 64,9
<i>Посадка в дно борозды. Ель под пологом лиственных пород. Состав 4Е4Б2Ос</i>			
0–10	0,40 / 0,97 / 70,8	0,17 / 4,16 / 96,1	0,22 / 1,46 / 86,9
10–20	0,13 / 1,01 / 88,6	0,04 / 5,70 / 99,3	0,07 / 3,60 / 98,1
20–30	0,03 / 0,20 / 87,0	0,06 / 0,62 / 91,2	0,002 / 0,63 / 96,9
0–30	0,56 / 2,18 / 79,6	0,27 / 10,48 / 97,5	0,292 / 5,69 / 95,1

рические показатели ели под пологом лиственных (вариант 3) ниже соответствующих значений ели на открытых местах (вариант 2) на 42–46 % (см. табл. 10.1). В первом случае различия в морфоструктуре обусловлены разными эдафическими условиями в вариантах 1 и 2, а во втором – различной степенью угнетения ели вторичным мелколиственным древостоем в вариантах 2 и 3.

*Горизонтальная корненасыщенность почвогрунта.* Установлено, что на открытом месте (варианты 1 и 2) горизонтальная проекция корневой системы превышает проекцию кроны в первом варианте в 1,8–3,5 раза и во втором в 1,6–3 раза. У отдельных деревьев максимально-го роста и развития по пластам скелетные корни достигали 5 м в длину и выходили за пределы соседних рядов; протяженность скелетных корней вдоль ряда меньше, чем в поперечном направлении, в 2,0–2,5 раза. Степень перекрытия корневых систем деревьев в междурядьях наиболее выражена в варианте 1. В междурядьях сформировалась зона максимальной корненасыщенности на удалении от оси ряда 0–1,5 м (табл. 10.2). Фитомасса корней ели в почвенной толще

достигла здесь в первом варианте 5,49 (2,88+2,61) т/га и во втором 2,57 (1,39+1,18) т/га, а на середине междурядий (на удалении 1,5–2,5 м от оси ряда) соответственно в 6 и 9 раз меньше (0,96 и 0,27 т/га). В варианте 1 глубина проникновения стержневых корней ели ограничена 28 см, но отдельные якорные корни достигали глубины 34 см. В варианте 2 максимальная глубина проникновения корней лиственных 36 см, а в варианте 3 еще более – до 54 см. В последнем случае корни ели не проникали глубже 22 см.

Во всех вариантах посадки ели в почвенном профиле кроме корней ели присутствовали корни древесно-кустарниковой растительности. В варианте 1 представлены единично в основном береза и осина, но в варианте 2 относительно чаще встречались ива, рябина, черемуха обыкновенная и шиповник, которые в варианте 3 вследствие более выраженной вертикальной и горизонтальной сомкнутости полога представлены значительно меньше, а их состояние – угнетенное.

Данные табл. 10.2 позволяют проанализировать изменение доли лиственных пород в общей фитомассе корней в разных вариантах в горизонтальном направлении от оси ряда к середине междурядья. Очевидно, что на открытых местах (варианты 1 и 2) эта доля в худших для ели эдафических условиях (вариант 2) существенно выше (31–62 %), чем в лучших (вариант 1) (12–19 %). Очевидно также, что в варианте 1 корни ели занимают основное пространство наиболее плодородного верхнего слоя почвы вследствие хемотропизма (т. е. предпочтения более богатой элементами питания части ризосферы), оставляя на долю единичных лиственных лишь 14–18 % массы корней. Напротив, в варианте 2 верхний слой, особенно в зонах, тяготеющих к середине междурядья, преимущественно (56–74 %) занимают корни единичных лиственных.

При посадке ели в дно борозды (варианты 2 и 3) также прослеживается четкая закономерность повышения доли лиственных в общей массе корней с увеличением степени угнетения ели верхним пологом: если во втором варианте эта доля составляет 31–65, то в третьем – 80–98 %. В обоих вариантах доля лиственных в массе корней возрастает по мере приближения к середине междурядья (рис. 10.1): в варианте 2 от 31 до 65 и в варианте 3 – от 80 до 95–98 %. На середине междурядья в варианте 2 наибольшая доля корней лиственных сосредоточена в верхнем слое, а в варианте 3 – в нижнем, где она составляет около 100 %. Таким образом, по мере возрастания угнетения ели верхним пологом лиственные вытесняют ель не только из пространства ризосферы в целом, но и из наиболее плодородного верхнего слоя.

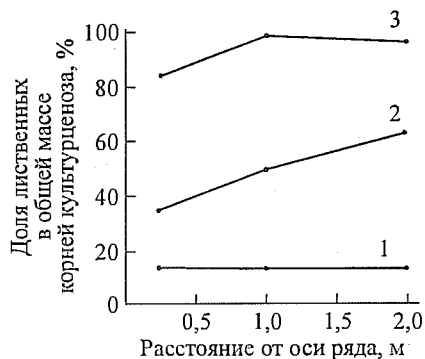


Рис. 10.1. Изменение доли листовых в общей массе корней культурного слоя по мере удаления от оси ряда культур: 1–3 – номера вариантов закладки и формирования культур ели

Как фитомасса корней, так и горизонтальная проекция корневой системы во втором варианте меньше, чем в первом, а в третьем – меньше, чем во втором (табл. 10.3). Причины различий те же, что упомянуты при обсуж-

дении различий морфоструктуры культурного слоя по вариантам.

Здесь необходимо отметить, что показатели варьирования массы корней приведены только в табл. 10.3, а в табл. 10.2 и 10.4 они не указаны, поскольку из табл. 10.3 ясно, что приводимые значения в высшей степени достоверны.

**Вертикальная корневая насыщенность почвогрунта.** В табл. 10.3 дано вертикальное распределение массы и протяженности корней ели без учета листовых по трем вариантам. Названные показатели, как уже отмечалось, статистически достоверны. Некоторое превышение доли корней ели верхнего слоя в общей массе в вариантах 1 и 2 над аналогичным значением протяженности объясняется относительно более развитой корневой системой ели в названных двух вариантах и соответственно преобладанием толстых скелетных корней. Напротив, в нижнем слое преобладают относительно тонкие корни, в результате процентное соотношение массы и протяженности корней меняется на противоположное. В варианте 3 вследствие крайне угнетенного состояния ели процентные соотношения массы и протяженности ее корней практически совпадают по горизонталям. Во всех случаях корневая насыщенность ели максимальная в верхнем слое почвогрунта и минимальная – в нижнем.

В варианте 2 на нижний слой приходится относительно большая доля общей корневой насыщенности ризосферы (11–25 %) по сравнению с вариантом 1 (2–8 %) вследствие того, что при посадке ели ее корневая система заделывалась на глубину 15–20 см. Посадка в дно борозды, имеющей глубину 10–15 см, увеличила глубину заделки корневой системы ели до 30–35 см, а посадка в пласт, имеющий толщину около 20 см, напротив, уменьшила ее относительно уровня целинной части. В последнем случае более высокая при посадке концентрация корней в верхнем слое усилилась в процессе роста упо-

Насыщенность корнями ели почвогрунтов в 30-летних культурах

Глубина почвенного слоя, см	Фитомасса корней		Протяженность корней	
	т/га	%	тыс. км /га	%
<i>Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ</i>				
0–10	5,86±0,199	85	6,26±0,591	54
10–20	0,87±0,067	13	4,39±0,386	38
20–30	0,18±0,012	2	1,00±0,084	8
0–30	6,91±0,465	100	11,65±0,986	100
<i>Посадка в дно борозды. Открытое место. Состав 10ЕедБ</i>				
0–10	1,58±0,149	53	3,29±0,296	42
10–20	1,09±0,087	36	2,57±0,201	33
20–30	0,34±0,028	11	2,02±0,169	25
0–30	3,01±0,261	100	7,89±0,545	100
<i>Посадка в дно борозды. Ель под пологом. Состав 4Е4Б2Ос</i>				
0–10	0,79±0,068	71	2,17±0,189	73
10–20	0,24±0,021	21	0,58±0,039	19
20–30	0,09±0,007	8	0,23±0,013	8
0–30	1,12±0,109	100	2,98±0,192	100

мянутым феноменом хемотропизма. В варианте 3 увеличение глубины заделки при посадке в борозду не проявилось в относительно большей доле протяженности корней в нижнем слое, но в данном случае причина явления в чрезвычайно развитой корневой системе верхнего полога из березы, осины и ивы, корни которых проникают, как упоминалось, на глубину до 54 см.

Если по градиенту удаления от оси ряда культур (см. рис. 10.1), а также по вертикальному профилю (см. табл. 10.3) выше выявлены определенные закономерности в изменении соотношения доли ели и листовых в общей массе корней, то в объеме ризосферы в целом каких-либо закономерностей по вертикальному профилю ризосферы не выявляется (табл. 10.4). Можно лишь подтвердить вывод о большей доле листовых в варианте 2 по сравнению с вариантом 1 и в варианте 3 по сравнению с вариантом 2, объяснение чему дано выше.

Результатом второго приема рубок ухода (прочистки) стало снижение напряженности конкурентных отношений в почвенном пространстве между корнями ели, с одной стороны, и березы, осины, ивы – с другой, при этом на открытых местах в почвенном покрове



Таблица 10.4

Фитомасса корневой системы ели и вторичной древесно-кустарниковой растительности в 30-летних культуруценозах

Глубина почвенного слоя, см	Всего		В том числе			
	т/га	%	Ель		Лиственные	
			т/га	%	т/га	%
<i>Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ</i>						
0-10	6,83	100	5,86	86	0,97	14
10-20	0,91	100	0,87	96	0,04	4
20-30	0,23	100	0,18	78	0,05	22
Итого	7,97	100	6,91	87	1,06	13
<i>Посадка в дно борозды. Открытое место. Состав 10ЕедБ</i>						
0-10	2,97	100	1,58	53	1,39	47
10-20	1,78	100	1,09	61	0,69	39
20-30	0,58	100	0,34	59	0,24	41
Итого	5,33	100	3,01	56	2,32	44
<i>Посадка в дно борозды. Ель под пологом. Состав 4Е4Б2Ос</i>						
0-10	7,38	100	0,79	11	6,59	89
10-20	10,55	100	0,24	2	10,31	98
20-30	1,54	100	0,09	6	1,45	94
Итого	19,47	100	1,12	6	18,35	94

значительно увеличались размеры корневой системы рябины, черемухи и шиповника, фитомасса и протяженность которых составила 40-80 % от общего количества этих показателей лиственных пород. Основная масса корней последних видов сосредоточена в верхнем слое почвы, а отдельные корни рябины и черемухи распространяются в почвенном покрове на всю глубину корнеобитаемого слоя ели.

### 10.2. ВЕРТИКАЛЬНО-ФРАКЦИОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОРНЕЙ КУЛЬТУР ЕЛИ СИБИРСКОЙ И ВТОРИЧНОГО ЛИСТВЕННОГО ДРЕВОСТОЯ В СВЯЗИ С РУБКАМИ УХОДА

Изучению вертикально-фракционного распределения фитомассы лесного полога в качестве основы для его анализа как функционально дифференцированной фотосинтетической системы, обеспечивающей устойчивую динамику лесного биогеоценоза, в лесовед-

ческой литературе уделено достаточно внимания (Вертикально-фракционное распределение..., 1986). Менее изучена вертикально-фракционная структура фитомассы насаждений в подземной сфере, или в «подвалах биосферы». Исторически сложился подход, при котором масса корневой системы оценивается с учетом дифференциации составляющих ее корней по толщине. Корни обычно делятся на фракции в целях более точной оценки их участия в круговороте веществ и потоках энергии, поскольку продолжительность периода разложения (деструкции) обратно пропорциональна их толщине.

Разными исследователями предложены разные градации распределения массы корней:

- <6, 6-25 и >25 мм (Kochenderfer, 1973);
- <5, 5-10, 10-20 и >20 мм (Harris et al., 1973, 1977);
- <3, 3-7, 7-10, 10-20 и >20 мм (Аткин, 1984);
- <2, 2-4, 4-6, 6-10 и >10 мм (Guź, 1990);
- <2, 2-5, 5-20, 20-50 и >50 мм (Каризуми, 1968);
- <2, 2-5, 5-10 и >10 мм (Jenik, 1971; Grier et al., 1981);
- <1, 1-2, 2-5, 5-10 и >10 мм (Верзунов, 1980; Крепкий, 1987; Hoffmann, Usoltsev, 2001);
- <1, 1-5, 6-10, 11-20, 21-50, 51-100 и >100 мм (Benčat, 1989);
- <1, 1-10 и >10 мм (Haland, Brække, 1989);
- <1, 1-3 и >3 мм (Рахтеенко, Якушев, 1968);
- <0,6; 0,6-1, 1-2, 2-5 и >5 мм (Саурина, Каменецкая, 1969);
- <0,25; 0,25-0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-3,0; 3-5; 5-10 и >10 мм (Бычваров и др., 1976).

Нет единого подхода и в выделении горизонтов в подземной сфере. По ее вертикальному профилю предлагаются градации через 0,2 м (Верзунов, 1980; Benčat, 1989), через 0,5 м (Крепкий, 1987), также изменяющаяся градация – от 0,05 до 0,1 м (Jenik, 1971) и от 0,1 до 0,2 м (Haland, Brække, 1989). Такое разнообразие затрудняет сравнительный анализ двумерных распределений фитомассы корней по толщине и вертикальному профилю.

Целью исследований было изучение вертикально-фракционного распределения в толще почвогрунта массы и протяженности корней ели и конкурирующих с ней мелколиственных пород последующего возобновления после двух приемов рубок ухода в 30-летних культурах ели Починковского лесничества Билимбаевского лесхоза Свердловской области. Для приведения разнообразных экспериментальных данных к сравнимому виду, а также для обеспечения методической основы стыковки названного распределения с имитационными экомоделями применен специальный алгоритм многофакторного регрессионного моделирования.

**Результаты исследований.** Характер распределения массы корней как по толщинам, так и по вертикальному профилю определяется прежде всего величиной градаций по названным градиентам, принимаемой каждым исследователем произвольно. Он кардинально меняется при изменении величины градаций (Усольцев, Крепкий, 1990; Usoltsev, 1989) и поэтому не может быть описан аналитически. В целях унификации методических подходов и приведения экспериментальных данных массы фракций дерева к удобной для сравнения форме мы применили метод трансформирования фракционного распределения фитомассы к виду интегральных кривых-кумулят, представляющих собой аллометрическую зависимость накопленных значений надземной либо подземной фитомассы (нарастающим итогом от самой тонкой к прикорневой фракции) от толщины структурного элемента по задаваемым градациям (Усольцев и др., 1990, 1991а). При изучении надземной фитомассы такими структурными элементами являются сегменты ветвей и ствола, представляющих единую ветвящуюся структуру дерева, а при изучении подземной – сегменты корней.

Наличие монотонно убывающего тренда фитомассы корней по вертикальному профилю ризосферы дает возможность представить его также в форме кумуляты, что позволяет унифицировать подобные тренды и привести их к сопоставимому виду (Усольцев и др., 1990; 1991б).

В результате предварительного анализа наших экспериментальных данных распределения массы и протяженности корней в елово-лиственных культурценозах, сформировавшихся спустя 30 лет после посадки ели (табл. 10.5 и 10.6), нами установлено, что исходные матрицы названного распределения можно преобразовать к виду двумерных кумулят: вначале суммируем нарастающим итогом от минимальных к максимальным толщинам значения массы и протяженности корней для каждого слоя почвогрунта, т. е. по строкам матрицы. Затем полученные значения суммируем нарастающим итогом повторно, но уже не по строкам, а по столбцам матрицы в направлении сверху вниз, т. е. для каждой градации толщин в направлении от верхнего слоя почвогрунта к нижнему.

Для количественного анализа и описания степени конкурентных отношений ели и мелколиственных пород в пространстве ризосферы по фракционной структуре массы и протяженности корней названная расчетная процедура осуществлена для ели и лиственных пород отдельно (табл. 10.7 и 10.8). Полученные двумерные кумулятивные матрицы монотонны по каждому из входов, но нелинейны. Чтобы избежать отрицательных значений при их аналитическом опи-

Таблица 10.5  
Фитомасса корней по вертикальному профилю и категориям крупности у деревьев ели и лиственных пород в 30-летних культурах (экспериментальные исходные данные)

Глубина почвенного слоя, см	Фитомасса корней ели (числитель) и лиственных пород (знаменатель)											
	Тонкие (до 1 мм)		Средние (1–3 мм)		Крупные (3–10 мм)		Очень крупные (10–16 мм)		Всего			
	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
0–10	0,55±0,029	9	0,69±0,068	12	1,37±0,086	23	3,25±0,077	56	5,86±0,199	100		
10–20	0,09±0,003	10	0,12±0,033	12	0,14±0,071	14	0,62±0,054	64	0,97±0,049	100		
20–30	0,44±0,086	51	0,21±0,018	24	0,19±0,040	22	0,03±0,001	3	0,87±0,067	100		
Итого	0,02±0,001	55	0,01±0,001	20	0,01±0,001	25	–	0	0,04±0,002	100		
0–30	0,10±0,009	54	0,07±0,003	38	0,01±0,000	8	–	–	0,18±0,012	100		
Итого	0,02±0,001	42	0,02±0,001	46	0,01±0,000	12	–	–	0,05±0,003	100		
0–10	1,09±0,098	15	0,97±0,077	14	1,57±0,132	24	3,28±0,196	47	6,91±0,465	100		
10–20	0,13±0,010	13	0,15±0,011	14	0,16±0,012	14	0,62±0,049	59	1,06±0,091	100		
20–30	0,29±0,017	18	0,36±0,019	23	0,44±0,029	28	0,49±0,033	31	1,58±0,149	100		
Итого	0,39±0,024	28	0,45±0,038	32	0,41±0,028	29	0,14±0,009	11	1,39±0,133	100		
0–10	0,23±0,016	21	0,23±0,021	21	0,54±0,041	50	0,09±0,007	8	1,09±0,087	100		
10–20	0,15±0,012	22	0,19±0,014	28	0,31±0,019	45	0,04±0,003	5	0,69±0,071	100		
20–30	0,20±0,016	59	0,10±0,009	29	0,04±0,003	12	–	–	0,34±0,028	100		
Итого	0,09±0,007	37	0,08±0,009	35	0,07±0,006	28	–	–	0,24±0,019	100		
0–30	0,72±0,046	24	0,69±0,053	23	1,02±0,101	34	0,58±0,045	19	3,01±0,261	100		
Итого	0,63±0,065	27	0,72±0,063	31	0,79±0,066	34	0,18±0,006	8	2,32±0,209	100		
0–10	0,18±0,016	23	0,25±0,018	32	0,36±0,029	45	–	–	0,79±0,068	100		
10–20	0,83±0,079	13	1,21±0,108	18	1,29±0,121	20	3,26±0,287	49	6,59±0,601	100		
20–30	0,05±0,004	21	0,11±0,010	46	0,08±0,006	33	–	–	0,24±0,021	100		
Итого	0,51±0,044	5	0,98±0,079	9	2,77±0,236	27	6,05±0,546	59	10,31±0,988	100		
0–10	0,02±0,002	17	0,04±0,003	48	0,05±0,002	33	–	–	0,09±0,007	100		
10–20	0,24±0,016	19	0,43±0,031	30	0,65±0,056	44	0,13±0,012	9	1,45±0,131	100		
20–30	0,25±0,021	22	0,40±0,028	36	0,47±0,039	42	–	–	1,12±0,109	100		
Итого	1,57±0,146	9	2,62±0,243	14	4,71±0,386	26	9,44±0,894	51	18,34±1,352	100		

Длина корней по вертикальному профилю и по категориям крупности у ели и лиственных пород в 30-летних культурах (экспериментальные исходные данные)

Глубина почвенного слоя, см	Длина корней ели (числитель) и лиственных пород (знаменатель)				Всего тыс. км/га	%				
	Тонкие (до 1 мм)		Средние (1-3 мм)							
	тыс. км/га	%	тыс. км/га	%						
0-10	5,27±0,466	84	0,77±0,064	12	0,18±0,013	3	0,04±0,003	1	6,26±0,591	100
10-20	0,88±0,073	83	0,14±0,008	14	0,02±0,009	2	0,01±0,001	1	1,05±0,094	100
20-30	4,23±0,386	96	0,12±0,011	3	0,03±0,003	0	-	-	4,38±0,386	100
Итого	0,21±0,014	91	0,02±0,001	9	0	0,004±0,0003	0	-	0,23±0,016	100
0-10	0,92±0,076	85	0,08±0,006	14	0,002±0,0001	1	0,04±0,003	1	1,004±0,0840	100
10-20	0,19±0,018	89	0,03±0,001	8	0,21±0,015	2	0,01±0,001	1	0,222±0,0201	100
20-30	10,42±0,846	85	0,97±0,084	13	0,02±0,009	1	0,01±0,001	1	11,64±0,986	100
Итого	1,28±0,121	85	0,19±0,014	13	0,08±0,003	1	0,006±0,0004	2	1,48±0,013	100
0-10	2,79±0,263	85	0,42±0,038	13	0,08±0,006	2	0,002±0,0001	1	3,296±0,2961	100
10-20	3,72±0,316	89	0,44±0,031	10	0,04±0,003	1	0,006±0,0003	1	4,202±0,3792	100
20-30	2,22±0,192	87	0,27±0,021	10	0,08±0,006	3	0,001±0,0001	2	2,576±0,2011	100
Итого	1,43±0,123	87	0,18±0,036	11	0,03±0,001	2	-	-	1,641±0,3851	100
0-10	1,91±0,146	95	0,10±0,008	5	0,01±0,001	1	-	-	2,01±0,169	100
10-20	0,85±0,077	91	0,08±0,003	9	0,01±0,001	1	-	-	0,94±0,026	100
20-30	6,92±0,514	88	0,79±0,068	10	0,17±0,008	2	0,012±0,0001	1	7,892±0,5451	100
Итого	6,00±0,501	89	0,70±0,053	10	0,08±0,003	1	0,003±0,0001	1	6,783±0,6011	100
0-10	1,74±0,139	80	0,30±0,027	14	0,13±0,006	6	0,03±0,001	1	2,17±0,189	100
10-20	7,94±0,696	87	0,96±0,049	11	0,15±0,001	1	-	-	9,08±0,739	100
20-30	0,46±0,023	79	0,10±0,006	18	0,02±0,001	3	0,06±0,002	1	0,58±0,039	100
Итого	4,87±0,396	80	0,84±0,063	14	0,30±0,009	5	-	-	6,07±0,496	100
0-10	0,18±0,003	79	0,04±0,001	18	0,01±0,0005	3	-	-	0,23±0,013	100
10-20	2,28±0,097	85	0,31±0,026	11	0,08±0,004	4	-	-	2,67±0,187	100
20-30	2,38±0,161	80	0,44±0,029	15	0,16±0,004	5	-	-	2,98±0,192	100
Итого	15,09±1,089	85	2,11±0,155	12	0,53±0,022	2	0,09±0,003	1	17,82±1,409	100

Формирование двумерных кумулят экспериментальных данных и расчетные по модели (10.2) кумулятивные данные о вертикально-фракционном распределении массы корней ели (числитель) и лиственных пород (знаменатель) по трем вариантам формирования культурценозов

Глубина почвенного слоя, см	Масса корней (т/га) по градациям толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
<i>Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 1)</i>				
Экспериментальные данные после суммирования соответствующих значений табл. 10.5 по строкам (одномерная кумулята)				
0-10	0,55 / 0,09	1,24 / 0,21	2,61 / 0,35	5,86 / 0,97
10-20	0,44 / 0,02	0,65 / 0,03	0,84 / 0,04	0,87 / -
20-30	0,10 / 0,02	0,17 / 0,04	0,18 / 0,05	-
Экспериментальные данные после суммирования одномерной кумуляты по столбцам (двумерная кумулята)				
0-10	0,55 / 0,09	1,24 / 0,21	2,61 / 0,35	5,86 / 0,97
10-20	0,99 / 0,11	1,89 / 0,24	3,45 / 0,39	6,73 / -
20-30	1,09 / 0,13	2,06 / 0,28	3,63 / 0,44	-
Расчетные данные (двумерная кумулята)				
0-10	0,64 / 0,10	1,32 / 0,20	2,92 / 0,44	3,97 / 0,59
10-20	0,85 / 0,11	1,75 / 0,22	3,86 / 0,48	5,27 / -
20-30	1,00 / 0,12	2,06 / 0,24	4,55 / 0,51	-
<i>Посадка в дно борозды. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 2)</i>				
Экспериментальные данные после суммирования соответствующих значений табл. 10.5 по строкам (одномерная кумулята)				
0-10	0,29 / 0,39	0,65 / 0,84	1,09 / 1,25	1,58 / 1,39
10-20	0,23 / 0,15	0,46 / 0,34	1,00 / 0,65	1,09 / 0,69
20-30	0,20 / 0,09	0,30 / 0,17	0,34 / 0,24	-
Экспериментальные данные после суммирования одномерной кумуляты по столбцам (двумерная кумулята)				
0-10	0,29 / 0,39	0,65 / 0,84	1,09 / 1,25	1,58 / 1,39
10-20	0,52 / 0,54	1,11 / 1,18	2,09 / 1,90	2,67 / 2,08
20-30	0,72 / 0,63	1,41 / 1,35	2,43 / 2,14	-
Расчетные данные (двумерная кумулята)				
0-10	0,31 / 0,42	0,59 / 0,69	1,18 / 1,20	1,55 / 1,49
10-20	0,53 / 0,60	1,00 / 0,99	2,00 / 1,71	2,62 / 2,12
20-30	0,72 / 0,74	1,36 / 1,22	2,72 / 2,11	-

Окончание табл. 10.7

Глубина почвенного слоя, см	Масса корней (т/га) по градациям толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
<i>Посадка в дно борозды. Ель под пологом. Состав 4Е4Б2Ос (вариант 3)</i>				
Экспериментальные данные после суммирования соответствующих значений табл. 10.5 по строкам (одномерная кумулята)				
0-10	0,18 / 0,83	0,43 / 2,04	0,79 / 3,33	- / 6,59
10-20	0,05 / 0,51	0,16 / 1,49	0,24 / 4,26	- / 10,31
20-30	0,02 / 0,24	0,06 / 0,67	0,09 / 1,32	- / 1,45
Экспериментальные данные после суммирования одномерной кумуляты по столбцам (двумерная кумулята)				
0-10	0,18 / 0,83	0,43 / 2,04	0,79 / 3,33	- / 6,59
10-20	0,23 / 1,34	0,59 / 3,53	1,03 / 7,59	- / 16,9
20-30	0,25 / 1,58	0,65 / 4,20	1,12 / 8,91	- / 18,35
Расчетные данные (двумерная кумулята)				
0-10	0,07 / 0,78	0,15 / 1,77	0,33 / 4,38	- / 6,23
10-20	0,09 / 1,34	0,19 / 3,06	0,42 / 7,55	- / 10,75
20-30	0,11 / 1,84	0,22 / 4,21	0,48 / 10,39	- / 14,79

Таблица 10.8

**Формирование двумерных кумулят экспериментальных данных и расчетные по модели (10.2) кумулятивные данные о вертикально-фракционном распределении длины корней ели (числитель) и мелколиственных пород (знаменатель) по трем вариантам формирования культурценозов**

Глубина почвенного слоя, см	Протяженность корней (тыс. км/га) по градациям толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
<i>Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 1)</i>				
Экспериментальные данные после суммирования соответствующих значений табл. 10.6 по строкам (одномерная кумулята)				
0-10	5,27 / 0,88	6,04 / 1,02	6,22 / 1,04	6,26 / 1,05
10-20	4,23 / 0,21	4,35 / 0,23	4,38 / -	-
20-30	0,92 / 0,19	1,00 / 0,22	1,004 / 0,222	-
Экспериментальные данные после суммирования одномерной кумуляты по столбцам (двумерная кумулята)				
0-10	5,27 / 0,88	6,04 / 1,02	6,22 / 1,04	6,26 / 1,05
10-20	9,50 / 1,09	10,39 / 1,25	10,6 / 1,04	-
20-30	10,42 / 1,28	11,39 / 1,47	11,604 / 1,08	-

Окончание табл. 10.8

Глубина почвенного слоя, см	Протяженность корней (тыс. км/га) по градациям толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
Расчетные данные (двумерная кумулята)				
0-10	5,66 / 0,90	5,97 / 0,96	6,33 / 1,03	6,47 / 1,06
10-20	8,72 / 1,14	9,19 / 1,21	9,74 / -	-
20-30	11,22 / 1,30	11,83 / 1,39	12,53 / 1,49	-
<i>Посадка в дно борозды. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 2)</i>				
Экспериментальные данные после суммирования соответствующих значений табл. 10.6 по строкам (одномерная кумулята)				
0-10	2,79 / 3,72	3,21 / 4,16	3,29 / 4,20	3,296 / 4,202
10-20	2,22 / 1,43	2,49 / 1,61	2,57 / 1,64	2,576 / 1,641
20-30	1,91 / 0,85	2,01 / 0,93	2,02 / 0,94	-
Экспериментальные данные после суммирования одномерной кумуляты по столбцам (двумерная кумулята)				
0-10	2,79 / 3,72	3,21 / 4,16	3,29 / 4,20	3,296 / 4,202
10-20	5,01 / 5,15	5,70 / 5,77	5,86 / 5,84	5,872 / 5,843
20-30	6,92 / 6,00	7,71 / 6,70	7,88 / 6,78	-
Расчетные данные (двумерная кумулята)				
0-10	2,89 / 3,82	3,07 / 4,00	3,29 / 4,21	3,38 / 4,29
10-20	5,09 / 5,21	5,41 / 5,46	5,80 / 5,74	5,96 / 5,86
20-30	7,08 / 6,24	7,54 / 6,54	8,08 / 6,89	-
<i>Посадка в дно борозды. Ель под пологом. Состав 4Е4Б2Ос (вариант 3)</i>				
Экспериментальные данные после суммирования соответствующих значений табл. 10.6 по строкам (одномерная кумулята)				
0-10	1,74 / 7,94	2,04 / 8,90	2,17 / 9,05	- / 9,08
10-20	0,46 / 4,87	0,56 / 5,71	0,58 / 6,01	- / 6,07
20-30	0,18 / 2,28	0,22 / 2,59	0,23 / 2,67	-
Экспериментальные данные после суммирования одномерной кумуляты по столбцам (двумерная кумулята)				
0-10	1,74 / 7,94	2,04 / 8,90	2,17 / 9,05	- / 9,08
10-20	2,20 / 12,81	2,60 / 14,61	2,75 / 15,06	- / 15,15
20-30	2,38 / 15,09	2,82 / 17,2	2,98 / 17,73	-
Расчетные данные (двумерная кумулята)				
0-10	1,76 / 8,11	2,05 / 8,63	2,20 / 9,23	- / 9,48
10-20	2,16 / 12,55	2,52 / 13,36	2,69 / 14,29	- / 14,68
20-30	2,43 / 16,21	2,84 / 17,24	3,04 / 18,45	-

сании (Hoffmann, Usoltsev, 2001), структура модели представлена двухфакторной аллометрической функцией (Усольцев, Крепкий, 1994; Усольцев, 1997)

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln d_i + a_2 \ln h_j; \ln L_i = a_0 + a_1 \ln d_i + a_2 \ln h_j, \quad (10.1)$$

где  $P_i$  и  $L_i$  – кумулятивное значение соответственно массы фракций корней в абсолютно сухом состоянии (т/га) и их протяженности, тыс. км/га;  $d_i$  – верхнее значение толщины корней в пределах  $i$ -й градации, мм (например  $d_i = 1$  мм для градации от 0 до 1 мм;  $d_i = 3$  мм для градации от 1,0 до 3,0 мм и т. д.);  $h_j$  – наибольшее расстояние  $j$ -го слоя почвогрунта от поверхности почвы, см (например  $h_j = 10$  см для слоя от 0 до 10 см;  $h_j = 20$  см для слоя от 10 до 20 см и т. д.).

В соответствии с упомянутой выше целевой установкой при подборе вариантов формирования культурценозов выполнено попарное сравнение моделей (10.1). Сравнение первых двух вариантов позволяет выявить влияние на морфоструктуру и корненасыщенность эдафических условий ели (пласты и дно борозд) в чистых культурах. Для этого в модели (10.1) вводится бинарная переменная как частный случай блоковой фиктивной переменной (Дрейпер, Смит, 1973), кодирующая принадлежность экспериментальных данных  $P_i$  и  $L_i$  к тому или иному варианту формирования культурценозов:  $X = 0$  для варианта 1 и  $X = 1$  для варианта 2. Сравнение вариантов 2 и 3 позволяет выявить влияние различной степени угнетения ели вторичным мелколиственным древостоем в одних и тех же эдафических условиях. Для этого в модели (10.1) вводится бинарная переменная:  $X = 0$  для варианта 2 и  $X = 1$  для варианта 3. Для учета совместного действия факторов в модель (10.1) вводятся также произведения некоторых независимых переменных (синергизмы). Общий вид итоговых моделей следующий:

$$\ln P_i \text{ или } \ln L_i = a_0 + a_1 \ln d_i + a_2 (\ln d_i)^2 + a_3 \ln h_j + a_4 X + a_5 X (\ln d_i) + a_6 X (\ln h_j). \quad (10.2)$$

Константы рассчитанных итоговых моделей (10.2) и показатели точности выравнивания экспериментальных данных приведены в табл. 10.9 и 10.10. Все константы значимы на уровне  $t_{05}$ , а показатель точности выравнивания близок к единице. Это означает, что статистически значимы не только распределения фитомассы и длины корней по толщинам и почвенному профилю, но и различия сопоставляемых вариантов по названным показателям. Соотношение экспериментальных и расчетных значений фитомассы корней показано на рис. 10.2. По длине корней характер названного соотношения аналогичный.

Таблица 10.9

Характеристика уравнений (10.2) при попарном сравнении вариантов формирования 30-летних культурценозов по распределению фитомассы корней (т/га) по их толщине и почвенному профилю

Зависимая переменная	Константы и независимые переменные							R*
	$a_0$	$a_1 \ln d_i$	$a_2 (\ln d_i)^2$	$a_3 \ln h_j$	$a_4 X$	$a_5 X (\ln d_i)$	$a_6 X (\ln h_j)$	
<i>Ель в культуре</i>								
Сопоставление вариантов 1 ( $X = 0$ ) и 2 ( $X = 1$ )								
$\ln P_i$	-1,3820	0,6590	-	0,4059	-1,5225	-0,0839	0,3534	0,990
Сопоставление вариантов 2 ( $X = 0$ ) и 3 ( $X = 1$ )								
$\ln P_i$	-2,9045	0,5751	-	0,7593	0,4738	0,0704	-0,4212	0,994
<i>Вторичный мелколиственный древостой последующего возобновления</i>								
Сопоставление вариантов 1 ( $X = 0$ ) и 2 ( $X = 1$ )								
$\ln P_i$	-2,6354	0,6373	-	0,1473	0,5972	-0,1809	0,3619	0,987
Сопоставление вариантов 2 ( $X = 0$ ) и 3 ( $X = 1$ )								
$\ln P_i$	-2,0638	0,4575	-	0,5174	-	0,2936	0,2691	0,991

Примечание. Здесь и далее: R\* – показатель точности выравнивания экспериментальных данных уравнением (10.2).

Таблица 10.10

Характеристика уравнений (10.2) при попарном сравнении вариантов формирования 30-летних культурценозов по распределению длины корней (тыс. км /га) по толщине и почвенному профилю

Зависимая переменная	Константы и независимые переменные							R*
	$a_0$	$a_1 \ln d_i$	$a_2 (\ln d_i)^2$	$a_3 \ln h_j$	$a_4 X$	$a_5 X (\ln d_i)$	$a_6 X (\ln h_j)$	
<i>Ель в культуре</i>								
Сопоставление вариантов 1 ( $X = 0$ ) и 2 ( $X = 1$ )								
$\ln L_i$	0,3016	0,0481	-	0,6219	-1,1228	0,0088	0,1949	0,992
Сопоставление вариантов 2 ( $X = 0$ ) и 3 ( $X = 1$ )								
$\ln L_i$	-0,8236	0,1542	-0,0363	0,8092	0,7075	0,0261	-0,5139	0,999
<i>Вторичный мелколиственный древостой последующего возобновления</i>								
Сопоставление вариантов 1 ( $X = 0$ ) и 2 ( $X = 1$ )								
$\ln L_i$	-0,8676	0,0579	-	0,3325	1,1741	-0,0152	0,1159	0,999
Сопоставление вариантов 2 ( $X = 0$ ) и 3 ( $X = 1$ )								
$\ln L_i$	0,3065	0,0426	-	0,4484	0,3357	0,0137	0,1818	0,997

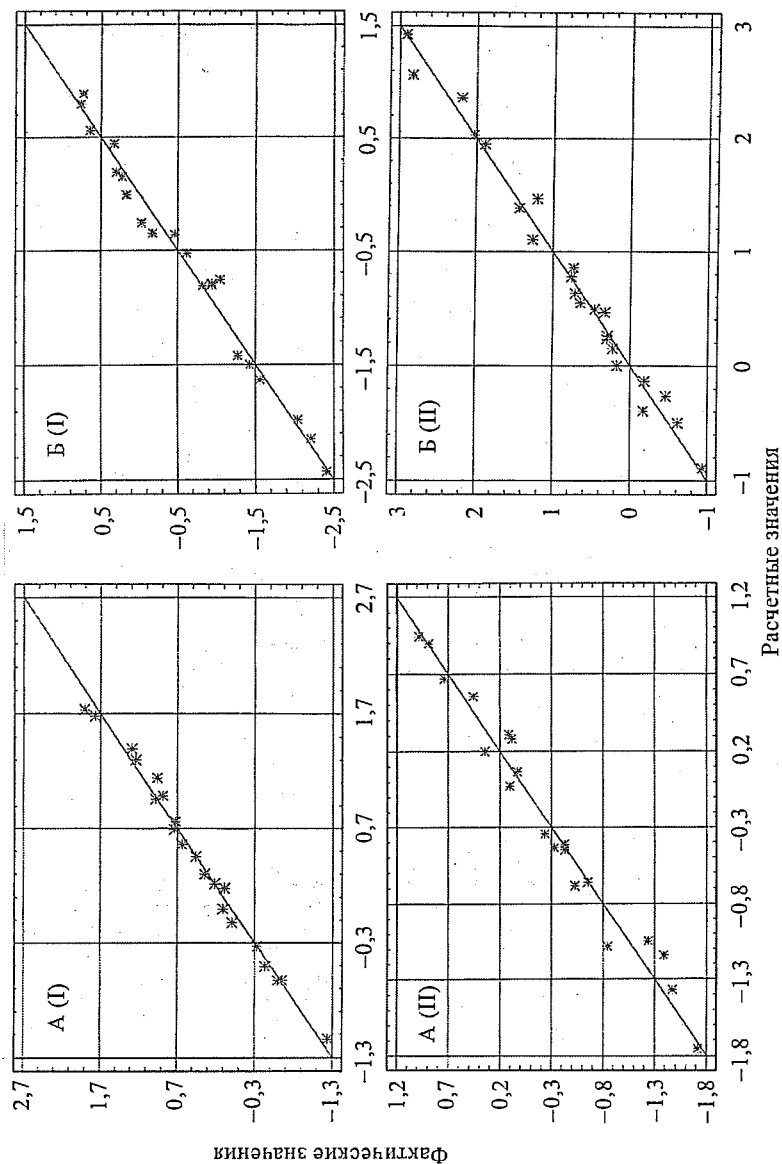


Рис. 10.2. Соотношение кумулятивных экспериментальных (см. табл. 10.7) и расчетных (по уравнению (10.2)) значений фитомассы корней ели (А) и мелколиственных пород (Б) при сопоставлении вариантов 1 и 2 (I) и 2 и 3 (II)

Результаты табулирования уравнений (10.2) в табл. 10.9 и 10.10 по значениям  $d_i$ ,  $h_j$  и  $X$  приведены в табл. 10.7 и 10.8 в нижней части блоков данных для каждого из трех вариантов. Очевидно, что значения расчетных и экспериментальных двумерных кумулятов в табл. 10.7 и 10.8 различаются несущественно, что и подтверждается показателями  $R$  в табл. 10.9 и 10.10, близкими к единице (от 0,999 до 0,987).

Известно, что кумулятивные (интегральные) кривые по определению имеют по сравнению с исходными более плавный характер, и осуществить аналитическую подгонку расчетных данных к экспериментальным с помощью кумулятов более просто, чем по исходным данным. Нам в конечном счете интересуют точность подгонки не кумулятивных, а исходных данных, и она, по определению, должна быть ниже.

Последовательным вычитанием (назовем эту операцию разверткой) расчетных значений двумерных кумулятов фитомассы (см. табл. 10.7) и длины (см. табл. 10.8) корней по каждому из трех вариантов в направлении от более глубоких слоев почвогрунта к поверхности почвы (по вертикали) для каждой градации  $d_i$  и затем последовательным вычитанием полученных значений в направлении от крупных фракций к мелким (по горизонтали) для каждого слоя почвогрунта  $h_j$ , т. е. в последовательности, противоположной показанной в табл. 10.7 и 10.8, составлены искомые таблицы расчетных исходных данных (табл. 10.11, 10.12).

Цифровой материал табл. 10.7–10.8 и 10.11–10.12 позволяет проанализировать соотношение вертикально-фракционного распределения фитомассы (и длины) корней ели и листовых пород и оценить их с точки зрения конкурентных отношений двух ярусов: а) в разных эдафических условиях (пласты и дно борозд) при единичном участии мелколиственных деревьев последующего возобновления (варианты формирования 1 и 2) и б) в одних и тех же эдафических условиях (дно борозды), но при разной доле участия мелколиственных пород в пологе (варианты 2 и 3).

Согласно полученным вертикально-фракционным распределениям фитомассы корней ели (см. табл. 10.5 и 10.11), масса тонких корней в варианте 1 (пласты) вдвое больше по сравнению с вариантом 2 (борозды), но лишь в верхнем слое 0–20 см (гумусированная толща пласта), а в нижнем (20–30 см) соотношение меняется на противоположное. Доля тонких корней в общей массе корней в варианте 1 вдвое меньше, чем в варианте 2 (9,4 против 18,3 %), но лишь в верхнем слое 0–10 см, во втором слое, напротив, в 2,4 раза больше (50,6 против 21,1 %), а в нижнем слое 20–30 см различия в относительной доле тонких корней менее существенные. Вследствие лучших эда-

Таблица 10.11

Последовательность развертки кумулятивных расчетных данных по модели (10.2) и исходные (фактические) данные о вертикально-фракционном распределении массы корней ели (числитель) и листовенных пород (знаменатель) по трем вариантам формирования культуриценозов

Глубина почвенного слоя, см	Масса корней (т/га) по грациям толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
<i>Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 1)</i>				
Расчетные данные после первой развертки (одномерная кумулята)				
0-10	0,64 / 0,10	1,32 / 0,20	2,92 / 0,44	3,97 / 0,59
10-20	0,21 / 0,01	0,43 / 0,02	0,94 / 0,04	1,30 / -
20-30	0,15 / 0,01	0,31 / 0,02	0,69 / 0,03	-
Расчетные данные после второй развертки				
0-10	0,64 / 0,10	0,68 / 0,10	1,60 / 0,24	1,05 / 0,15
10-20	0,21 / 0,01	0,22 / 0,01	0,51 / 0,02	0,36 / -
20-30	0,15 / 0,01	0,16 / 0,01	0,38 / 0,01	-
Экспериментальные исходные данные				
0-10	0,55 / 0,09	0,69 / 0,12	1,37 / 0,14	3,25 / 0,62
10-20	0,44 / 0,02	0,21 / 0,01	0,19 / 0,01	0,03 / -
20-30	0,10 / 0,02	0,07 / 0,02	0,01 / 0,01	-
<i>Посадка в дно борозды. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 2)</i>				
Расчетные данные после первой развертки (одномерная кумулята)				
0-10	0,31 / 0,42	0,59 / 0,69	1,18 / 1,20	1,55 / 1,49
10-20	0,22 / 0,18	0,41 / 0,30	0,82 / 0,51	1,07 / 0,63
20-30	0,19 / 0,14	0,36 / 0,23	0,72 / 0,40	-
Расчетные данные после второй развертки				
0-10	0,31 / 0,42	0,28 / 0,27	0,59 / 0,51	0,37 / 0,29
10-20	0,22 / 0,18	0,19 / 0,12	0,41 / 0,21	0,25 / 0,12
20-30	0,19 / 0,14	0,17 / 0,09	0,36 / 0,17	-
Экспериментальные исходные данные				
0-10	0,29 / 0,39	0,36 / 0,45	0,44 / 0,41	0,49 / 0,14
10-20	0,23 / 0,15	0,23 / 0,19	0,54 / 0,31	0,09 / 0,04
20-30	0,20 / 0,09	0,10 / 0,08	0,04 / 0,07	-
<i>Посадка в дно борозды. Ель под пологом. Состав 4Е4Б2Ос (вариант 3)</i>				
Расчетные данные после первой развертки (одномерная кумулята)				
0-10	0,07 / 0,78	0,15 / 1,77	0,33 / 4,38	- / 6,23
10-20	0,02 / 0,56	0,04 / 1,29	0,09 / 3,17	- / 4,52
20-30	0,02 / 0,50	0,03 / 1,15	0,06 / 2,84	- / 4,04

Окончание табл. 10.11

Глубина почвенного слоя, см	Масса корней (т/га) по грациям толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
Расчетные данные после второй развертки				
0-10	0,07 / 0,78	0,08 / 0,99	0,18 / 2,61	- / 1,85
10-20	0,02 / 0,56	0,02 / 0,73	0,05 / 1,88	- / 1,35
20-30	0,02 / 0,50	0,01 / 0,65	0,03 / 1,69	- / 1,20
Экспериментальные исходные данные				
0-10	0,18 / 0,83	0,25 / 1,21	0,36 / 1,29	- / 3,26
10-20	0,05 / 0,51	0,11 / 0,98	0,08 / 2,77	- / 6,05
20-30	0,02 / 0,24	0,04 / 0,43	0,03 / 0,65	- / 0,13

Таблица 10.12

Последовательность развертки кумулятивных расчетных данных по модели (2) и исходные (фактические) данные о вертикально-фракционном распределении длины корней ели (числитель) и мелколиственных пород (знаменатель) по трем вариантам формирования культуриценозов

Глубина почвенного слоя, см	Протяженность корней (тыс. км/га) по грациям толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
<i>Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 1)</i>				
Расчетные данные после первой развертки (одномерная кумулята)				
0-10	5,66 / 0,90	5,97 / 0,96	6,35 / 1,03	6,47 / 1,06
10-20	3,06 / 0,24	3,22 / 0,25	3,39 / -	-
20-30	2,50 / 0,16	2,64 / 0,18	2,79 / 0,46	-
Расчетные данные после второй развертки				
0-10	5,66 / 0,90	0,31 / 0,06	0,38 / 0,07	0,12 / 0,03
10-20	3,06 / 0,24	0,16 / 0,01	0,17 / -	-
20-30	2,50 / 0,16	0,14 / 0,02	0,15 / 0,28	-
Экспериментальные исходные данные				
0-10	5,27 / 0,88	0,77 / 0,14	0,18 / 0,02	0,04 / 0,01
10-20	4,23 / 0,21	0,12 / 0,02	0,03 / -	-
20-30	0,92 / 0,19	0,08 / 0,03	0,004 / 0,002	-
<i>Посадка в дно борозды. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 2)</i>				
Расчетные данные после первой развертки (одномерная кумулята)				
0-10	2,89 / 3,82	3,07 / 4,00	3,29 / 4,21	3,38 / 4,29
10-20	2,20 / 1,39	2,34 / 1,46	2,51 / 1,53	2,58 / 1,57
20-30	1,99 / 1,03	2,13 / 1,08	2,28 / 1,15	-

Окончание табл. 10.12

Глубина почвенного слоя, см	Протяженность корней (тыс. км/га) по градам толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
Расчетные данные после второй развертки				
0-10	2,89 / 3,82	0,18 / 0,18	0,22 / 0,21	0,09 / 0,08
10-20	2,20 / 1,39	0,14 / 0,07	0,17 / 0,07	0,07 / 0,04
20-30	1,99 / 1,03	0,14 / 0,05	0,15 / 0,07	—
Экспериментальные исходные данные				
0-10	2,79 / 3,72	0,42 / 0,44	0,08 / 0,04	0,006 / 0,002
10-20	2,22 / 1,43	0,27 / 0,18	0,08 / 0,03	0,006 / 0,001
20-30	1,91 / 0,85	0,10 / 0,08	0,01 / 0,01	—
<i>Посадка в одно борозды. Ель под пологом. Состав 4Е4Б2Ос (вариант 3)</i>				
Расчетные данные после первой развертки (одномерная кумулята)				
0-10	1,76 / 8,11	2,05 / 8,63	2,20 / 9,23	- / 9,48
10-20	0,40 / 4,44	0,47 / 4,73	0,49 / 5,06	- / 5,20
20-30	0,27 / 3,66	0,32 / 3,88	0,35 / 4,16	—
Расчетные данные после второй развертки				
0-10	1,76 / 8,11	0,29 / 0,52	0,15 / 0,60	- / 0,25
10-20	0,40 / 4,44	0,07 / 0,29	0,02 / 0,33	- / 0,14
20-30	0,27 / 3,66	0,05 / 0,22	0,03 / 0,28	—
Экспериментальные исходные данные				
0-10	1,74 / 7,94	0,30 / 0,96	0,13 / 0,15	- / 0,03
10-20	0,46 / 4,87	0,10 / 0,84	0,02 / 0,30	- / 0,06
20-30	0,18 / 2,28	0,04 / 0,31	0,01 / 0,08	—

фических условий роста для ели в варианте 1 общая масса корней здесь больше по сравнению с вариантом 2 более чем вдвое (6,9 против 3,0 т/га). В варианте 2 условия роста для ели хуже, поэтому она не выдерживает конкуренции с листовыми, которые имеют здесь вдвое большую массу корней, чем в варианте 1 (2,3 против 1,1).

Сопоставление вариантов 2 и 3 по доле тонких корней в общей массе показывает, что различие здесь в верхнем слое 0-20 см несущественное, но в нижнем слое 20-30 см доля тонких корней в варианте 2 втрое превышает аналогичный показатель варианта 3 (59 против 19 %). Вследствие более развитого яруса листовых пород и сильного угнетающего влияния его на культуры ели в варианте 3 по сравнению с вариантом 2 масса корней листовых здесь больше, а масса корней ели, напротив, меньше по всем почвенным горизонтам и фракциям корней, и в целом по суммарным показателям фитомас-

сы превышение и занижение соответственно 8- и 3-кратное. По длине корней тенденции в основном повторяются, и мы их опускаем.

Было бы неправомерно оценивать точность расчетных исходных данных фитомассы, полученных после развертки двумерных кумулят, по всей совокупности фракций всех ячеек матрицы распределения  $d_i - h_j$  (см. табл. 10.5 и 10.11), поскольку доли участия фракций в названных ячейках неравнозначны (Сенкевич, 1980; Рождественский и др., 1988). Чтобы показать степень этой неравнозначности, для каждой ячейки матрицы по данным табл. 10.5 рассчитали: а) долю участия фракции в общей фитомассе корней отдельно для ели и листовых пород, в том числе отдельно также по вариантам формирования культур, и б) относительное отклонение по модулю исходных расчетных (см. табл. 10.11) от исходных экспериментальных (см. табл. 10.5 и 10.11) данных и связали их уравнением, структуру которого применили ранее при моделировании корней сосняков (Усольцев, Крепкий, 1994; Усольцев, 1997):

$$Otk = a_0 + a_1 (1/Dol)^2, \quad (10.3)$$

где  $Otk$  – относительное отклонение по модулю, %;  $Dol$  – доля фракции корней данной ячейки матрицы в общей фитомассе корней (отдельно для ели и листовых), %.

Для выявления степени достоверности различия уравнений (10.3) по трем вариантам формирования культур мы ввели в уравнение (10.3) блок фиктивных переменных  $X_1, X_2$  (Дрейпер, Смит, 1973), кодирующих варианты 1, 2 и 3 соответственно как  $(X_1=0, X_2=0)$ ;  $(X_1=0, X_2=1)$  и  $(X_1=1, X_2=0)$ :

$$Otk = a_0 + a_1 (1/Dol)^2 + a_2 X_1 + a_3 X_2. \quad (10.4)$$

В результате расчета уравнений (10.4) получены значения коэффициентов Стьюдента для констант  $a_2$  и  $a_3$  соответственно для ели  $0,52 < 2,0$  и  $1,56 < 2,0$  и для листовых  $0,91 < 2,0$  и  $0,92 < 2,0$ . Это означает, что величины  $Otk$  по трем вариантам формирования культур достоверно не различаются. На этом основании сформированы обобщенные выборки  $Otk$  отдельно для ели и листовых пород и выполнено их сравнение посредством уравнения

$$Otk = a_0 + a_1 (1/Dol)^2 + a_2 X, \quad (10.5)$$

где  $X$  – бинарная переменная: для ели  $X = 0$  и для листовых  $X = 1$ . После расчета уравнения (10.5) оказалось, что значимость по Стьюденту константы  $a_2$  при бинарной переменной  $X$  равна  $t = 0,34$ , что значительно меньше стандартной величины  $t_{05} = 2,0$ .



На этом основании выборки значений  $Otk$  для ели и лиственных пород объединены в одну и для нее рассчитано обобщенное уравнение

$$Otk = 21,182 + 169,48(1/Dol)^2; R^2 = 0,945. \quad (10.6)$$

Уравнение (10.6) протабулировано по задаваемым значениям  $Dol$  и полученные величины  $Otk$  нанесены на поле распределения их экспериментальных данных по грациям  $Dol$ . Оказалось, что для большей части фракций фитомассы в соответствующих ячейках матрицы  $d_i - h_j$ , доля участия которых в общей фитомассе корней варьирует в пределах от 5 до 60 %, величина  $Otk$  составляет 20–25 %, а при меньшем участии экспоненциально нарастает (рис. 10.3).

Относительное отклонение  $Otk$  не является, строго говоря, адекватной оценкой точности опыта, и мы его использовали для выявления общего характера зависимости отклонения от доли фракции в общей фитомассе корней, а также степени достоверности различия этой зависимости по вариантам формирования культурценозов.

После того как мы установили возможность исследования точности определения массы фракций корней в каждой ячейке матрицы по обобщенному массиву данных, т. е. без подразделения по породам и вариантам формирования, появилась возможность расчета стандартной (среднеквадратичной) ошибки  $SE$  и выявления ее связи с долей участия фракции корней в общей их фитомассе ( $Dol$ ). Для этого диапазон варьирования  $Dol$  (см. рис. 10.3, I) разделили на девять градаций, для каждой рассчитали величину  $SE$  и затем – зависимость последней от  $Dol$ . Получено уравнение

$$SE = 11,42 + 593,69(1/Dol)^2, R^2 = 0,985, \quad (10.7)$$

константы которого значимы на уровне  $t_{05}$ , а коэффициент детерминации равен 0,985. Результаты табулирования уравнения (10.7) по задаваемым значениям  $Dol$  показаны на фоне экспериментальных данных на рис. 10.3, II. Таким образом, установлено, что основная масса фракций корней в ячейках матрицы в диапазоне от 10 до 60 % может быть определена уравнениями (10.2) со стандартной ошибкой  $SE = 12-20$  %, а при снижении этой доли за пределы 10 %  $SE$  экспоненциально нарастает. Фитомасса тонких корней на 1 га определяется по уравнениям (10.2) с ошибкой  $SE = 44$  % и общая фитомасса корней – с ошибкой  $SE = 26$  %.

Мы не выполняем подобную процедуру для фракционного распределения длины корней, поскольку ее результаты во многом повторяются.

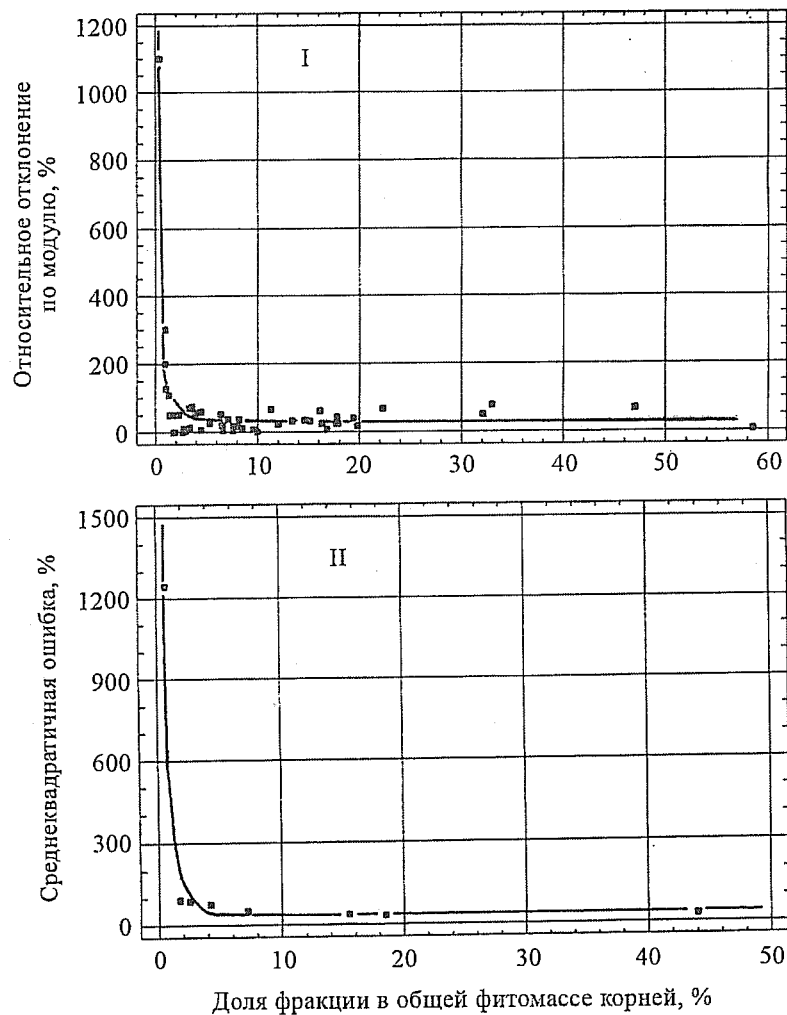


Рис. 10.3. Зависимости относительного отклонения по модулю (I) и среднеквадратичной ошибки (II) от доли фракции корней данной ячейки матрицы в их общей фитомассе, рассчитанные по уравнениям соответственно (10.6) и (10.7)

Кроме установленных закономерностей изменения массы и длины корней ели и мелколиственных по толщинам и почвенному профилю, полученные нами фактические данные (см. табл. 10.5) дают

Таблица 10.13

Фактическая (числитель) и расчетная по уравнениям (10.9) и (10.10) (знаменатель) доля мелколиственных пород в общей массе корней культурценоза (%), распределенная по вариантам формирования культур ели в зависимости от толщины фракции корней и глубины почвенного слоя

Глубина почвенного слоя, см	Доля лиственных в общей массе корней (%) по градам толщин, мм			
	0-1	1-3	3-10	10-16
<i>Посадка в пласт. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 1)</i>				
0-10	14,1 / 15,3	14,8 / 14,5	9,3 / 11,6	16,0 / 9,0
10-20	4,3 / 1,2	4,5 / 4,5	5,0 / 16,2	—
20-30	16,7 / 14,9	22,2 / 22,4	50,0 / 48,7	—
<i>Посадка в дно борозды. Открытое место. Состав 10ЕедБ (вариант 2)</i>				
0-10	57,3 / 61,5	55,5 / 57,0	48,2 / 41,1	22,2 / 27,6
10-20	39,5 / 37,3	45,2 / 37,0	36,5 / 35,8	30,8 / 34,7
20-30	31,0 / 40,9	44,4 / 44,8	63,6 / 58,2	—
<i>Посадка в дно борозды. Ель под пологом. Состав 4Е4Б2Ос (вариант 3)</i>				
0-10	82,2 / 85,5	82,9 / 85,9	78,2 / 77,2	—
10-20	91,1 / 87,3	89,9 / 90,1	97,2 / 87,8	—
20-30	92,3 / 90,2	91,5 / 94,3	95,6 / 98,3	—

возможность рассчитать долю корней мелколиственных в общей массе и длине корней культурценоза, которая на количественном уровне характеризует степень подавления деревьев ели в культурах мелколиственными породами. Результаты такого расчета приведены в табл. 10.13. Аналитически описать изменение доли мелколиственных пород в общей массе корней по вариантам формирования культурценозов, представленное в табл. 10.13, можно с помощью уравнения общего вида

$$Pro = f(d_i, h_j, X), \quad (10.8)$$

где  $Pro$  – доля лиственных в общей массе корней культурценоза, %.

В результате расчета моделей (10.8) по фактическим данным табл. 10.13 получены уравнения:

для сопоставления вариантов 1 ( $X = 0$ ) и 2 ( $X = 1$ )

$$Pro = 59,775 - 2,510d_i - 5,792h_j + 0,139(h_j)^2 + 0,209d_ih_j + 58,09X - 1,006Xh_j - 1,844X d_i; R^2 = 0,929, \quad (10.9)$$

для сопоставления вариантов 2 ( $X = 0$ ) и 3 ( $X = 1$ )

$$Pro = 63,716 - 1,078h_j - 0,166(d_{ij})^2 + 0,091d_ih_j + 19,555X + 1,223Xh_j; R^2 = 0,978. \quad (10.10)$$

Значения  $R^2$  и соотношение фактических и расчетных значений (рис. 10.4) свидетельствуют о достаточно высокой адекватности уравнений (10.9) и (10.10). Все рассчитанные в них константы значимы на уровне  $t_{05}$ , в том числе и при бинарной переменной  $X$ . Это означает, что статистически значимы не только расчетные относительные показатели фитомассы корней лиственных пород по толщинам и почвенному профилю, но и различия сопоставляемых вариантов (1-го со 2-м и 2-го с 3-м) по доле лиственных пород в общей массе корней. Путем табулирования уравнений (10.9) и (10.10) получены расчетные значения относительной массы корней лиственных пород, приведенные в табл. 10.13 наряду с фактическими значениями. Сопоставление их дало ошибку  $SE = 19\%$ .

Данные табл. 10.13 дают наглядное количественное выражение конкурентных отношений ели и лиственного полога по сравниваемым вариантам, при этом степень подавления ели лиственными породами, выраженная их долей в общей массе корней, нарастает последовательно от варианта 1 к варианту 3 по всем почвенным горизонтам.

Более сильное конкурентное воздействие лиственных в варианте 2 по сравнению с вариантом 1 обусловлено тем, что в бороздах ель имеет худшие эдафические условия роста, чем в пластах и, как уже отмечалось, уступает пространство ризосферы более приспособленным к этим условиям лиственным породам. Известно, что во влажных условиях произрастания ель предпочитает микроповышения (в том числе детриты), обладающие лучшей почвенной аэрацией и трофностью (Декатов, 1931; Усольцев, 2001, 2003; Терехов и др., 2007).

Преобладание доли лиственных в общей фитомассе корней в варианте 3 по отношению к варианту 2 в одних и тех же эдафических условиях (посадка ели в борозды) характеризует еще большую степень подавления ели, чем это было в вариантах 1 и 2, вследствие того, что рубки ухода в варианте 3 не проводились, и быстрорастущие лиственные практически полностью захватили здесь пространство роста как в надземной сфере, так и в подземной.

У проницательного читателя может возникнуть вопрос, зачем было предлагать громоздкую процедуру расчетов с применением кумулянт, если можно непосредственно смоделировать распределение экспериментальных значений фитомассы и длины корней в матрицах  $d_i - h_j$ , представленных в табл. 10.5 и 10.6, а также доли лиственных пород в общей фитомассе корней, представленной в табл. 10.13?

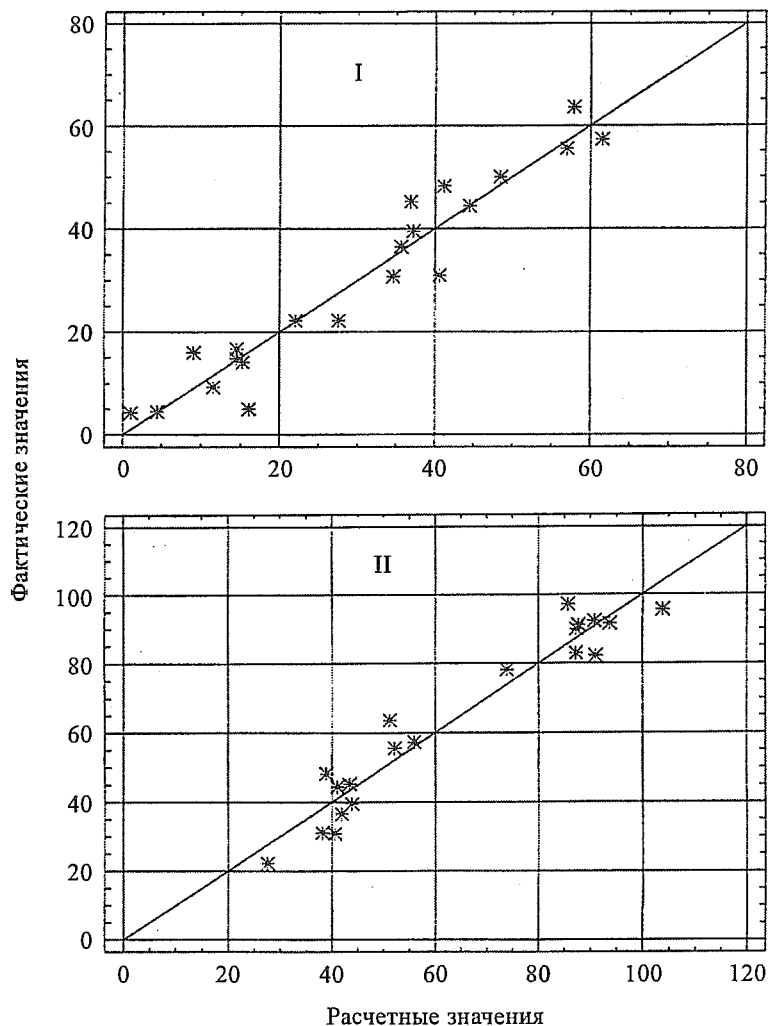


Рис. 10.4. Соотношение фактических (см. табл. 10.13) и расчетных (по уравнениям (10.9) и (10.10)) значений доли корней мелколиственных пород в общей массе корней культурнозона (мас. %) при сопоставлении вариантов 1 и 2 (I) и 2 и 3 (II)

Особенность метода моделирования вертикально-фракционного распределения корней с использованием двумерных кумулят, как уже отмечалось, состоит в том, что, используя модели (10.2), можно получить значения массы и длины корней не только для принятых в табл. 10.5 и 10.6 градаций толщины и глубины почвенных слоев, но и для любых задаваемых значений  $d_i$  и  $h_j$ , полученных для других регионов другими авторами. Двумерная кумулята представляет значения из непрерывного ряда (Айвазян и др., 1985), а приведенные в табл. 10.5 и 10.6 градации толщины корней и глубины почвенного слоя – это значения с прерывным интервалом. Покажем, каким образом метод кумулят позволяет приводить несопоставимые данные, представленные с прерывным интервалом и с произвольно выбранными градациями этого интервала, к сопоставимому виду.

В литературе мы нашли лишь одно исследование вертикально-фракционного распределения массы корней ели, в котором общий диапазон  $d_i$  и  $h_j$  матрицы экспериментальных данных более или менее близок к нашим объектам (Абражко, 1973). Это естественный 120-летний ельник чернично-осоково-сфагновый по повышениям в подзоне южной тайги Тверской области (Va класс бонитета, состав 7E1C2B, запас 137 м<sup>3</sup>/га), корни в котором проникают на глубину до 40 см и в пределах почвенного профиля выделены по двум горизонтам: 0–20 и 20–40 см. В этих горизонтах учтены корни трех градаций: 0–0,6; 0,6–10 и 10–30 мм.

Таким образом, градации почвенных горизонтов и толщины сегментов корней у М.А. Абражко и в нашей работе не совпадают. Корневые лапы в 120-летнем ельнике занимают практически весь профиль, и их масса оценена без подразделения по горизонтам. Можно сопоставить наши расчетные данные (вариант 1) с результатами М.А. Абражко, но лишь в некоторой части корневой системы естественного ельника, а именно в диапазоне толщин корней от 0 до 30 мм, т. е. без учета корневых лап (табл. 10.14). Расчет выполнен по градациям  $d_i$  и  $h_j$ , которые предложила М.А. Абражко (1973), лишь для ели, без учета сопутствующих пород.

По результатам расчета (см. табл. 10.14) можно сделать вывод, что, несмотря на различия ельников в возрасте, происхождении и экорегионах, разница в показателях массы сосущих корней в них сравнительно небольшая (24 %). Но по остальным фракциям кореннасыщенность почвы в культурах выше, чем в естественном ельнике, в горизонте 0–20 см – в 2–3 раза и в горизонте 20–40 см – в 11 раз. В пересчете на 1 га это различие в целом примерно двукратное (4,10 против 9,04 т/га). Но если учесть массу корневых лап (28,6 т/га), то соотношение меняется на противоположное: кореннасыщенность

Таблица 10.14

Вертикально-фракционное распределение экспериментальных значений фитомассы корней естественного 120-летнего ельника (числитель), по М.А. Абражко (1973), и расчетных по уравнению (10.2) после двумерной развертки для 1-го варианта формирования 30-летних культур ели (знаменатель)

Глубина почвенного слоя, см	Масса корней (т/га) по грациям толщин, мм			
	0-0,6	6-10	10-30	Всего
0-20	0,80 / 0,61	1,80 / 3,25	1,40 / 4,11	4,00 / 7,97
20-40	—	0,10 / 1,07	—	0,10 / 1,07
Итого	0,80 / 0,61	1,90 / 4,32	1,40 / 4,11	4,10 / 9,04

почвы в естественном 120-летнем ельнике выше, чем в 30-летних культурах, в 3,6 раза.

Таким образом, вертикально-фракционное распределение массы и длины корней в пространстве ризосферы елового 30-летнего культурценоза, сформированного на вырубке и представленного культурами ели и мелколиственного древостоя последующего возобновления, является важной количественной характеристикой конкурентных отношений ели и лиственных пород.

В варианте 1 формирования культур (посадка ели в пласты) эдафические условия для роста ели благоприятнее (лучшие условия аэрации и трофности почвы), чем в варианте 2 (посадка в борозды), в результате чего корневая система получает лучшие условия развития и ель лучше противостоит конкурентному давлению мелколиственных пород. В одних и тех же эдафических условиях (посадка ели в пласты) в варианте 2 ель после прочисток получает лучшие условия для роста, чем в варианте 3, где прочистки с удалением мелколиственных не проводились. В результате доля корней лиственных в общей фитомассе корней в варианте 3 примерно в 8 раз больше, а доля корней ели, напротив, в 3 раза меньше по сравнению с вариантом 2.

Предложенный метод регрессионного моделирования вертикально-фракционного распределения массы и длины корней с использованием двумерных кумулянт позволяет давать адекватное аналитическое описание этого распределения и сравнивать результаты, полученные в разных природных условиях с применением различных градаций почвенных горизонтов и толщины сегментов корней.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показатели биологической продуктивности культур в качестве определяющих при оптимизации способов искусственного лесоразведения более эффективны и наглядны, чем чисто визуальное сопоставление или сравнение лишь по ходу роста культур в высоту и по диаметру.

Значения фитомассы 20-летних деревьев в культурах, полученные в серии опытов 1, не различаются по древесным видам (ели сибирская и европейская) и виду посадочного материала (саженцы и сеянцы) и входят в одну генеральную совокупность, которая может быть использована в целом для составления соответствующих нормативов.

По результатам исследования серии опытов 2 составлены таблицы для определения фитомассы по полному фракционному составу деревьев в культурах ели I-II классов возраста двух типов: а) по диаметру и высоте и б) по диаметру и возрасту. Модели, положенные в основу составленных таблиц, характеризуются высокой степенью адекватности.

В серии опытов 3 бонитет на участке 2-72 примерно на один класс ниже, чем на 1-72, вследствие худших лесорастительных условий и периодических повреждений молодых побегов ели заморозками в пониженном местообитании, где скапливаются холодные массы воздуха. Поэтому фитомасса деревьев на участке 1-72 существенно больше, чем на участке 2-72, во всех вариантах без ухода и в большинстве вариантов — с уходом. Уход за культурами значительно повысил фитомассу деревьев, причем в лучших условиях произрастания повышение составило 1-23 %, а в худших — 39-63 %.

Расчет показателей фитомассы на площади 1 га в серии опытов 1 показал, что в общей массе хвои от 0,2 до 0,8 % в вариантах с посадкой сеянцами и 0,2-0,6 % в вариантах с саженцами составляет хвоя, растущая на стволах. Масса отмерших ветвей в вариантах с сеянцами составляет 0,5-0,8 % и в варианте с саженцами — около 3 % от сухой массы живых ветвей. Надземная фитомасса в возрасте 20 лет варьирует от 9 до 35 т/га, общая — соответственно от 11 до 54 т/га. Между двумя видами ели статистически достоверных различий по структуре и продуктивности фитомассы на площади 1 га не выявле-

но. Продуктивность еловых культур на Урале составляет 15–32 % по надземной и 16–45 % – по общей фитомассе от соответствующих показателей в условиях Белоруссии.

Расчетом показателей фитомассы на 1 га в серии опытов 2 установлено, что наибольшую фитомассу 9-летняя ель сформировала на грядах вследствие лучшего дренажа, питания и устранения конкуренции трав, тогда как при химической обработке действует лишь последний фактор. Тем не менее сравнение фитомассы ели, выращенной с подготовкой почвы по каждому из трех вариантов, с контролем показало, что на подготовленной почве она достоверно выше, чем на контроле. Если при сопоставлении фитомассы культур на уровне дерева массообразующие показатели (диаметр и высота или диаметр и возраст дерева) в разных вариантах предполагались одинаковыми, т. е. сравнивались лишь равновеликие деревья, то при сопоставлении культур на уровне древостоя различия по вариантам учитывали разницу не только в фитомассе при условии равенства массообразующих показателей, но и в самих массообразующих показателях, которые, естественно, сильно различаются по вариантам.

Спустя 11 лет в серии опытов 2, т. е. в 20-летнем возрасте культур, наибольшие различия фитомассы насаждений установлены по вариантам «посадка по грядам и пластам» и «контроль» на открытых местах с превышением первого над вторым в 6,4 раза. Наименьшие, тем не менее достоверные различия выявлены по вариантам «посадка по грядам и пластам» и «химическая обработка» на открытых местах с превышением первого над вторым в 2,0 раза. При выращивании ели под пологом вторичного листового древостоя примерно 5-кратное превышение фитомассы оказалось в вариантах «посадка по грядам и пластам» по сравнению с вариантом «химическая обработка» и с контролем.

Таким образом, при выращивании ели как на открытых местах, так и под пологом листового вторичного древостоя с ее посадкой по грядам и пластам обеспечивается 2–5-кратное превышение запаса фитомассы по сравнению с выращиванием при химической обработке почвы. Это происходит вследствие того, что при посадке по грядам и пластам обеспечиваются два фактора лучшего роста – дренаж и лучшее питание, во-первых, и устранение конкуренции травянистой растительности, во-вторых, а при химической обработке – лишь последний фактор. Столь существенная разница в названных соотношениях означает, что при формировании культур ели в их успешном росте и продуцировании лучшие условия дренажа и питания играют первоочередную роль, а устранение конкуренции напочвенного покрова – лишь вторичную.

Наличие возрастного диапазона культур от 8 до 35 лет с известными показателями фитомассы (серии опытов 2 и 3) позволило впервые на Среднем Урале составить таблицы хода роста по фитомассе (ТХРФ) при различных способах выращивания ели. С этой целью материалы серий опытов 2 и 3 объединены, и для каждого из анализируемых отдельно вариантов – «на открытых местах» и «под пологом» – выделены по три подварианта: 1) посадка без подготовки почвы и химической ухода (контроль), 2) посадка по пластам и 3) химическая обработка по целине.

Составленные ТХРФ показывают, что до 10 лет культуры ели растут во всех вариантах и подвариантах по V классу бонитета. Это свидетельствует, во-первых, об однородности лесорастительных условий на участках опытных культур и, во-вторых, о том, что на этом этапе роста варианты и подварианты формирования культур не оказывают влияния на продуктивность культур ели. Но с возрастом дифференциация продуктивности культур по вариантам и подвариантам становится все более очевидной. В результате наблюдаются совершенно разные закономерности роста культур по вариантам формирования. Наиболее низкой продуктивностью (V классом бонитета по шкале М.М. Орлова для семенных древостоев) на протяжении всего исследованного возрастного диапазона характеризуется вариант «контроль, под пологом». В отличие от контроля в вариантах «пласты и гряды, под пологом» и «химическая обработка, под пологом» культуры, начав расти в I классе возраста по V классу бонитета, с возрастом ускоряют рост и к концу II класса возраста достигают в первом случае III и во втором – IV класса бонитета. На открытом пространстве культуры ели также начинают расти по V классу бонитета, но к концу II класса возраста, освободившись от угнетающего влияния травяного покрова, достигают на контроле II, а в вариантах с обработкой почвы – даже I класса бонитета.

В соответствии с различиями в изменении класса бонитета различаются и показатели фитомассы ели. На открытых пространствах в подвариантах «контроль», «пласты и гряды» и «химическая обработка» фитомасса ели больше, чем под пологом мелколиственного древостоя, в середине I класса возраста на 33, 13 и 76 %, а к концу II класса возраста соответственно в 5,2; 4,5 и 7,0 раз.

Особенности природных условий роста культур ели на открытых пространствах вырубок Урала (подмерзание молодых побегов в период заморозков, солнечные ожоги весной, близкий уровень верховодки на вырубках и др.) обуславливают довольно низкую их продуктивность в первом классе возраста по сравнению с аналогичными культурами, произрастающими в лучших, нежели на Урале, кли-

матических условиях, в подзоне хвойно-широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции (Белоруссия). Даже по сравнению с культурами, произрастающими в пессимальных для Белоруссии условиях, надземная фитомасса на Урале в 3–13 раз меньше. По-видимому, столь большие различия культур по продуктивности определяются не только худшими условиями произрастания (IV–V классы бонитета), но и в 3–5 раз более низкой густотой на Урале. Однако к концу II класса возраста, несмотря на более низкую густоту культур на Урале, надземная фитомасса ели, растущей к этому времени по I классу бонитета, превышает аналогичный показатель Белоруссии в 1,3–2,8 раза.

Для определения первичной продукции фракционного состава деревьев в культурах ели I–II классов возраста, созданных на открытых местах и под пологом вторичного древостоя, составлены отдельные таблицы. Они дают представление о степени различия первичной продукции культур ели по полному фракционному составу между вариантами выращивания на открытых местах и под пологом. Это различие показано при условии равенства линейных размеров стволов в обоих вариантах, при этом показатели первичной продукции ели на открытых местах на 20 % выше по сравнению с выращиванием под пологом вторичного листового древостоя.

Наибольшие различия первичной продукции древостоев установлены по вариантам «на открытых местах» и «под пологом». В числовом выражении это превышение примерно 3-кратное, тогда как на уровне дерева составляло лишь 20 %. Посадка по грядкам и пластам дает примерно 7-кратное превышение первичной продукции по сравнению с контролем и лишь 2-кратное – по сравнению с вариантом «химическая обработка». Показатели первичной продукции подварианта «по грядкам и пластам» по сравнению с подвариантом «химическая обработка» оказываются в 4, а по сравнению с контролем – почти в 6 раз выше.

Сопоставление полученных на наших объектах показателей первичной продукции с аналогичными показателями 25-летних культур в лесостепной зоне Красноярского края показало меньшее относительное участие стволов в общей первичной продукции и соответственно большее – кроны. Это свидетельствует о преимущественном распределении ассимилятов в крону в ущерб стволу, что объясняется различиями в густоте, которая на сибирском объекте составляет 14 тыс. экз/га, т. е. выше примерно в 5 раз.

На статистически достоверном уровне наибольшая первичная продукция получена в варианте формирования культур после первого десятилетия на открытых местах, и она во всех случаях выше,

чем под пологом вторичного древостоя. В том и другом вариантах подвариант «посадка по грядкам и пластам» дает более высокую первичную продукцию по сравнению с подвариантом «химическая обработка» и с контролем. Фактические значения фитомассы и первичной продукции, полученные на наших объектах, включены в базу данных о биологической продуктивности лесов Северной Евразии (Усольцев, 2007) в качестве биопродукционной характеристики искусственных фитоценозов ели в таежной зоне Среднего Урала.

Лесоводственные мероприятия – рубки ухода, проведенные на лесокультурном участке в сомкнутом елово-лиственном молодняке, способствуют появлению самосева ели сибирской. Наиболее интенсивное формирование елового самосева происходит на 3-й и 4-й годы после второго приема рубок ухода, т. е. в тот период, когда плотный подпологовый опад, сформировавшийся до ухода, разложился, а опад и травянистый ярус прореженного насаждения еще не сформировались.

Биометрические показатели елового самосева (подроста) и его фитомасса на начальном этапе онтогенеза определяются типом микрорельефа: наиболее высокие показатели фитомассы характерны для микроповышений, наиболее низкие – для микропонижений, промежуточные – для целинной части участка и крайне низкие – на древесном детрите. В еловом культурценозе за счет елового самосева постепенно формируется разновозрастный сложный древостой, более устойчивый и продуктивный, с лучшими средообразующими функциями. Таким образом, естественное возобновление как ключевой «программирующий» ценопопуляционный и экосистемный процесс с позиций современной популяционной лесной экологии (Санников, Санникова, 1985) создает предпосылки для «натурализации» культур и «вписывания» их в динамику естественных лесных экосистем с наименьшими затратами труда и средств (Шварц, 1974).

Отсутствие листовых пород после рубок ухода в 30-летних культурах увеличило горизонтальную проекцию корневой системы ели, которая превысила проекцию крон в вариантах: по пластам в 1,8–3,5 раза, по дну борозд – в 1,6–3 раза и под пологом листовых пород по дну борозд – в 1,6–2,2 раза. Основная масса корневой системы ели расположена в верхнем 0–20-сантиметровом слое почвы. Протяженность корневой системы ели в 30-летних культурах под пологом листовых пород в 1,5–9 раз меньше, чем на открытом месте (7,9 тыс. км/га). Максимальной протяженностью (11,7 тыс. км/га) отличаются корни в культурах по пластам. Рубки ухода в молодых культурах ели, улучшая экологические условия в насаждении, способствуют увеличению биометрических показателей надземной ча-

сти деревьев ели, активному развитию корневой системы в пространстве ризосферы и накоплению ее фитомассы, что, в свою очередь, повышает продуктивность и ветроустойчивость еловых культур.

Культуры ели, созданные по пластам, с первых лет имеют преимущество по темпам роста по сравнению с культурами в бороздах вследствие лучших эдафических условий для ели. Это преимущество сохраняется и после осветлений, а в вариантах посадки по дну борозд к моменту проведения прочисток (т. е. к возрасту 15 лет) культуры оказываются под пологом лиственных пород либо имеют боковое затенение. В результате формируется высокополнотный сложный елово-лиственный древостой.

Прочистка, проведенная лишь на части участка (вторая оставлена в качестве контрольного варианта, где ель затенялась лиственными породами последующего возобновления), в значительной мере изменила экологические условия в насаждении. В результате к 30-летнему возрасту на участке сформировались два типа насаждений: одноярусные чистые еловые с единичным участием мелколиственных и двухъярусные лиственно-хвойные молодняки. Различия деревьев с уходом и без него составили по высоте 80 % и по диаметру на высоте груди 70 %.

Исследования морфоструктуры и фитомассы насаждений выполнены на трех пробных площадях, заложенных в культурах ели соответственно по трем вариантам: 1 – культуры на открытом месте с минимальной степенью затенения кроны единичными деревьями лиственных пород, заложенные по пластам; 2 – то же, заложенные по дну борозд, 3 – культуры, сформировавшиеся под пологом березы и осины (состав 4Е4Б2Ос), заложенные по дну борозд.

Высота и диаметр ели на открытых местах при посадке в дно борозд (вариант 2) меньше соответствующих показателей ели при посадке ее в пласт (вариант 1) на 32–41 %, а при посадке в дно борозд морфометрические показатели ели под пологом лиственных (вариант 3) ниже соответствующих значений ели на открытых местах (вариант 2) на 42–46 %. В первом случае различия в морфоструктуре обусловлены разными эдафическими условиями в вариантах 1 и 2, а во втором – различной степенью угнетения ели вторичным мелколиственным древостоем в вариантах 2 и 3.

Установлено, что на открытом месте (варианты 1 и 2) горизонтальная проекция корневой системы превышает проекцию кроны в первом варианте в 1,8–3,5 раза, во втором – 1,6–3 раза. В междурядьях сформировалась зона максимальной корненасыщенности на удалении от оси ряда 0–1,5 м. Фитомасса корней ели в почвенной толще достигла здесь в первом варианте 5,49 и во втором 2,57 т/га, а на

середине междурядий – соответственно в 6 и 9 раз меньше (0,96 и 0,27 т/га). На открытых местах (варианты 1 и 2) доля лиственных пород в общей фитомассе корней в худших для ели эдафических условиях (вариант 2) существенно больше (35–62 %), чем в лучших (вариант 1) (13–14 %). В варианте 1 корни ели занимают основное пространство наиболее плодородного верхнего слоя почвы вследствие хемотропизма, оставляя на долю единичных лиственных лишь 12–15 % от общей массы корней. Напротив, в варианте 2 верхний слой, особенно в зонах, тяготеющих к середине междурядья, преимущественно (56–73 %) занимают корни единичных лиственных.

При посадке ели в дно борозды (варианты 2 и 3) также прослеживается четкая закономерность повышения доли лиственных в общей массе корней по мере увеличения степени угнетения ели верхним пологом: если во втором варианте эта доля составляет 35–62, то в третьем – 84–98 %. В обоих вариантах доля лиственных в массе корней возрастает по мере приближения к середине междурядья: в варианте 2 от 35 до 62 и в варианте 3 – от 84 до 95–98 %. На середине междурядья в варианте 2 наибольшая доля корней лиственных сосредоточена в верхнем слое, а в варианте 3 – в нижнем, где она составляет около 100 %. Таким образом, по мере возрастания угнетения ели верхним пологом лиственные вытесняют ель не только из пространства ризосферы в целом, но и из наиболее плодородного верхнего слоя.

Основная масса (53–85 %) и протяженность (42–73 %) корней приходится на верхний (0–10 см) слой почвы. В варианте 2 нижнему слою соответствует относительно большая доля общей корненасыщенности ризосферы (11–25 %) по сравнению с вариантом 1 (2–8 %) вследствие того, что при посадке корневая система ели заделывалась на глубину 15–20 см. Посадка в дно борозды, имеющей глубину 10–15 см, увеличила глубину заделки корневой системы ели до 30–35 см, а посадка в пласт, имеющий толщину около 20 см, напротив, уменьшила ее относительно уровня целинной части. В последнем случае более высокая концентрация корней в верхнем слое при посадке усилилась в процессе роста феноменом хемотропизма. В варианте 3 увеличение глубины заделки при посадке в борозду не проявилось в относительно большей доле протяженности корней в нижнем слое, но в данном случае причина явления в чрезвычайно развитой корневой системе верхнего полога из березы, осины и ивы.

Вертикально-фракционное распределение массы и длины корней в пространстве ризосферы елового 30-летнего культурценоза, сформированного на вырубке и представленного культурами ели и мелколиственного древостоя последующего возобновления, являет-

ся важной количественной характеристикой конкурентных отношений ели и лиственных пород.

В варианте 1 формирования культур (посадка ели в пласты) эдафические условия для роста ели благоприятнее (лучшие условия аэрации и трофности почвы), чем в варианте 2 (посадка в борозды), в результате чего корневая система получает лучшие условия развития и ель лучше противостоит конкурентному давлению мелколиственных пород. В одних и тех же эдафических условиях (посадка ели в пласты) в варианте 2 ель после прочисток получает лучшие условия для роста, чем в варианте 3, где прочистки с удалением мелколиственных не проводились. В результате доля корней лиственных в общей фитомассе корней в варианте 3 примерно в 8 раз больше, а доля корней ели, напротив, в 3 раза меньше по сравнению с вариантом 2.

Предложенный метод регрессионного моделирования вертикально-фракционного распределения массы и длины корней с использованием двумерных кумулянт позволяет давать адекватное аналитическое описание этого распределения и сравнивать результаты, полученные в разных природных условиях с применением различных градаций почвенных горизонтов и толщины сегментов корней.

*Абражко М.А.* Закономерности распределения и фракционный состав биомассы подземных частей // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука, 1973. С. 109 – 116.

*Абрамова Л.П., Залесов С.В.* Сравнительная структура надземной фитомассы обычных и предварительных культур сосны и лиственницы // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 22. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. С. 143–148.

*Айвазян С.А., Енюков И.С., Мещалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.

*Алисов Б.П.* Климатические области и районы СССР. М.: ОГИЗ; Гос. изд-во геогр. лит., 1947. 211 с.

*Алятин М.В.* Особенности происхождения, формирования и воспроизводства сложных ельников Ижорского (Силурийского) плато: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб.: Гос. лесотехн. академия, 2007. 21 с.

*Аскарлов К.Ж.* Рост и продуктивность культур сосны разной густоты местами в ленточных борах Прииртышья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Алма-Ата: КазСХИ, 1974. 22 с.

*Аткин А.С.* Фитомасса и обмен веществ в сосновых лесах. Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1984. 135 с.

*Аткина Л.И., Петелина О.А.* Структура надземной фитомассы естественных молодняков и культур сосны Челябинской области // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: Сб. науч. тр. Вып. 3. Брянск, 2002. С. 3–6.

*Бабич Н.А., Барабин А.И., Турыгин Г.С.* Состояние и проблемы лесовосстановления на Европейском Севере // Проблемы лесовыращивания на Европейском Севере: Сб. науч. тр. Архангельск, 1999. С. 4–12.

*Бабич Н.А., Мерзленко М.Д.* Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск: АГТУ, 1998. 89 с.

*Бабич Н.А., Мочалов Б.А.* Лесные культуры в Архангельской области. М., 1982. 24 с.

*Бабич Н.А., Редько Г.И.* Продуктивность культур сосны в южной и средней подзонах европейской тайги // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Л.: ЛТА, 1983. С. 104–110.

*Беляев В.В.* Лесокультурная оценка индивидуальной изменчивости семян и саженцев сосны и ели // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие: Тр. междунар. симп. Ч. 2. М., 1990. С. 100–106.

*Берг Л.С.* Географические зоны Советского Союза. Изд. 3. М.: ОГИЗ; Гос. изд-во геогр. лит., 1947. 398 с.

Биологическая продуктивность лесов Поволжья / Под ред. С.Э. Вомперского. М.: Наука, 1982. 282 с.

*Борисов В.И.* Особенности выращивания сосны на Севере // Лесное хоз-во, 1964. № 1. С. 38–41.

*Бычваров Д., Петков П.Б., Сидеров К.* К характеристике корневой системы дубовых насаждений в Восточных Родапах // Горскостопанска Наука, 1976. Т. 13, № 2. С. 3–8 (болг.).



*Ведрова Э.Ф., Спиридонова Л.В., Стаканов В.Д.* Круговорот углерода в молодняках основных лесообразующих пород Сибири // Лесоведение, 2000. № 3. С. 40–48.

*Верзунов А.И.* Рост лиственницы и устойчивость культурных фитоценозов с ее господством на полугидроморфных почвах лесостепи Северного Казахстана // Экология, 1980. № 2. С. 38–44.

Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах / Под ред. С.Э. Вомперского и А.И. Уткина. М.: Наука, 1986. 261 с.

*Вувевский Д.И.* Таксационная структура сосняков искусственного происхождения // Сб. тр. БЛТИ. Вып. 6. Минск, 1940. С. 85–88.

*Габеев В.Н.* Продуктивность и биометрические показатели культур сосны в раннем возрасте // Изв. Сиб. отд. АН СССР. Сер. биол., 1975. № 10. Вып. 2. С. 8–14.

*Григалионас И.И.* Строение сосновых молодняков искусственного происхождения // Лесной журн., 1967. № 6. С. 27–31.

*Грязькин А.В.* Целесообразность и эффективность затрат на лесовосстановительные работы // Эколого-экономические проблемы окружающей среды: Тез. докл. Сыктывкар, 1998. С. 23–24.

*Гуцин В.А., Брызгалова Л.Р.* К экономической оценке способов рубок // Матл. отчет. сессии по итогам НИР за 1992 г. Архангельск, 1993. С. 63–65.

*Данилик В.Н., Исаева Р.П., Луганский Н.А.* Пути восстановления лесов Урала при их промышленной эксплуатации // Тр. Ин-та экол. растений и животных УНЦ АН СССР. Свердловск, 1978. № 118. С. 31–35.

*Данченко А.М., Фриккель А.Я., Верзунов А.И.* Формирование искусственных молодняков березы. Томск: НЦ СО АН СССР, 1991. 199 с.

*Декатов Н.Е.* Влияние микрорельефа на возобновление ели // Опытн.-исслед. работы по общему лесоводству. М.; Л.: Сельхозгиз, 1931. С. 251–295.

*Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.

*Дружинин Ф.Н.* Особенности формирования и роста подпологовой ели в лиственных насаждениях // Эколого-экономические аспекты гидролесомелиорации: Тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Вып. 58. Гомель, 2003. С. 115–116.

*Дударев А.Д., Успенский В.В.* Искусственное воспроизводство как средство повышения продуктивности леса // Науч. тр. Т. ХХХII, вып. 3. Вопросы повышения интенсивности лесного хозяйства. Воронеж, 1969. С. 103–108.

*Дыренков С.А.* Принципы и условия альтернативного выбора способов лесовосстановления на вырубках // Состояние возобновления и пути формирования молодняков на концентрированных рубках: Тез. докл. Всесоюз. совещания. Архангельск, 1971. С. 246–248.

*Евдокимов И.В.* Особенности формирования надземной фитомассы в культурах сосны (на примере Архангельской области): Автореф. дис. ... к. с.-х. наук. Архангельск: АГТУ, 2003. 20 с.

*Егоров М.Н.* Биологические и экологические особенности сосны в естественных и искусственных насаждениях Билимбаевского лесхоза: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск, 1972. 24 с.

*Егоров М.Н.* К вопросу изучения сравнительного роста сосновых насаждений естественного и искусственного происхождения Билимбаевского лесхоза Свердловской области // Тр. Урал. лесотехн. ин-та. Вып. 27. Свердловск, 1973. С. 48–52.

*Егоров М.Н.* Фенотипическая структура естественных популяций и культур сосны обыкновенной (на примере сосняков Среднего Урала и ЦЧО): Дис. ... докт. с.-х. наук. Воронеж, 1996. 376 с. (Фонды УГЛТУ).

*Ефименко В.М., Холодилова Л.В.* Особенности роста сосны по диаметру в хвойно-лиственных культурах фитоценозах // Проблемы лесоведения и лесоводства: Тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Вып. 56. Гомель, 2003. С. 131–137.

*Журихин А.И.* Оптимизация густоты культур сосны центральной лесостепи: Автореф. дис. ... к. с.-х. наук. Воронеж: ВГЛТА, 1995. 24 с.

*Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А.* Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 112 с.

Запасы и потоки углерода в лесном и земельном фондах России: инвентаризация и потенциал смягчения последствий климатических изменений / Б. Сонген, К. Андраско, М. Гитарский и др. М.: ЦЭПЛ, 2005. 51 с.

*Захаров В.К., Труэль О.А. и др.* Лесотаксационный справочник. Минск, 1959. 300 с.

*Золотухин Ф.М.* Сравнительный анализ роста сосновых молодняков естественного и искусственного происхождения // Лесное хоз-во, 1966. № 1. С. 30–33.

*Зубарева Р.С.* Пространственная дифференциация и классификация типов леса Билимбаевского массива // Науч. основы использования и воспроизводства таежных лесов Среднего Урала (на примере Билимбаевского лесхоза). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 16–44.

*Иванов Л.А.* К вопросу о взаимодействии листьев и корней у многолетних растений // ДАН СССР, 1953. Т. LXXXVIII. № 3. С. 567–570.

*Иванов Н.Н.* Ландшафтно-климатические зоны земного шара // Записки Географического общества. Т.1. Новая серия. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1948. 224 с.

*Ипатов Л.Ф.* Опытные культуры сосны на Европейском Севере. Архангельск, 1974а. 106 с.

*Ипатов Л.Ф.* Сравнительный анализ сосновых молодняков искусственного и естественного происхождения на Европейском Севере // Проблемы лесоводства: Тез. докл. пленарного заседания. М., 1974б. С. 131–133.

*Исаева Р.П., Луганский Н.А.* Рост и производительность естественных и искусственных древостоев // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск, 1972. С. 5–13.

Итоги XI Всемирного лесного конгресса. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 128 с.  
Итоги экспериментальных работ в лесной опытной даче ТСХА за 1862–1962 годы. М.: Гос. с.-х. академия, 1964. 519 с.

*Калякин А.Б.* Возобновление мягколиственных пород и влияние их на рост ели в культурах на вырубках // Сб. работ по лесному хозяйству ВНИИЛМ. М., 1970. Вып. 52. С. 54 – 68.

*Канунникова О.В.* Применение унифицированных моделей фитомассы деревьев в исследованиях углерододепонирующей способности лесов // Урал промышленный – Урал полярный: Социально-эконом. и эколог. проблемы лесного комплекса: Сб. мат.-лов Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. С. 339–340.

*Канунникова О.В., Сопица В.А.* Об использовании унифицированных моделей фитомассы деревьев // Естественные и технические науки, 2006. № 4(24). С. 145–146.

*Каризуми Н.* Определение биомассы корней в лесах путем отбора проб из почвенных блоков // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы (Сб. докл. Междунар. симп. СССР). Л.: Наука, 1968. С. 79–86.

*Карцев А.Д., Вячкилев В.В., Ковалев М.С.* Влияние вида посадочного материала на сохранность и рост культур ели // Восстановление и мелиорация лесов Северо-Запада РСФСР: Сб. науч. тр. ЛенНИИЛХ. Л., 1980. С. 68–73.

*Кетпен Ф.Т.* Географическое распространение хвойных деревьев в европейской России и на Кавказе. СПб., 1885. 634 с.

*Кобак К.И., Яценко-Хмелевский А.А., Кондрашова Н.И.* Баланс углекислого газа в высоко- и малопродуктивных растительных сообществах // Проблемы атмосферного углекислого газа. Л., 1980. С. 252–264.

*Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П.* Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск, 1973. 176 с.

*Колесников В.А.* Методы изучения корневой системы древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1972. 152 с.

*Колосок О.Н.* Первичная нетто-продукция и депонированный углерод искусственных еловых древостоев Украинских Карпат // Проблемы лесоведения и лесоводства. Вып. 53. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2001. С. 80–83.

*Конашова С.И.* Эколого-лесоводственные основы формирования и повышения устойчивости рекреационных лесов: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 2000. 36 с.

*Конюшатов О.А., Бабич Н.А., Шестериков Н.П.* Опытные культуры ели Грязовецкого лесхоза. Вологда: Гос. молочно-хоз. акад., 2004. 48 с.

*Коростелев И.Ф.* Таксационная характеристика и товарная структура 100-летних культур сосны: Информ. листок ЦНТИ № 50–75. Свердловск, 1975. 4 с.

*Коростелев И.Ф., Злоказов В.А.* Таксационные показатели и динамика товарной структуры вековых культур сосны: Информ. листок ЦНТИ № 685–88. Свердловск, 1988. 4 с.

*Кравчинский Д.* По вопросу хозяйства в еловых и лиственных лесах северной и средней России // Лесной журн., 1905. № 3. С. 373–377.

*Красильников П.К.* Методика полевого изучения подземных частей растений (с учетом специфики ресурсоведческих исследований). Л.: Наука, 1983. 207 с.

*Красников Е.Л.* Особенности роста сосны в культурах на дерново-карбонатных почвах // Лесная геоботаника и биология древесных растений: Сб. науч. тр. Брянск: БТИ, 1982. С. 57–59.

*Крепкий И.С.* Корневые системы сосны в лесных культурах бора Аман-Карагай Кустанайской области // Лесные экосистемы в условиях континентального климата. Красноярск: Изд-во ун-та, 1987. С. 105–110.

*Курсанов А.Л.* Физиология растений и ее роль в развитии растениеводства // Природа, 1954. № 7. С. 21–34.

*Курсанов А.Л.* Усвоение растениями углекислоты через корневую систему // Тр. Ин-та физиологии растений им. К.А. Тимирязева, 1955. Т. 10. С. 150–155.

*Лазарев Ю.А.* Системный подход к проблеме лесовосстановления // Проблемы лесовосстановления в таежной зоне СССР: Тез. докл. Всесоюз. конф. Красноярск, 1988. С. 13–17.

*Ларин В.Б.* Естественное и искусственное лесовозобновление на концентрированных вырубках Северо-Востока европейской части СССР // Экология роста и развития сосны и ели на Северо-Востоке европейской части СССР: Тр. Коми фил. АН СССР, 1979. № 44. С. 30–33.

*Ларин В.Б., Паутов Ю.А.* Создание культур сосны и ели на Северо-Востоке европейской части СССР. Сыктывкар, 1984. 22 с.

*Ларин В.Б., Паутов Ю.А.* Формирование хвойных молодняков на вырубках Северо-Востока европейской части СССР. Л.: Наука, 1989. 144 с.

Леса России – 2005 // Российская лесная газета, 2006. № 8–10.

*Лиогенский Г.Л.* Лесовосстановление в Вологодской области // Рубки и лесовосстановление на Севере. Архангельск, 1968. С. 344–355.

*Луганский Н.А.* Морфолого-анатомическое строение хвои деревьев сосны в молодняках // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 7. Свердловск: УралЛОС ВНИИЛМ, 1972. С. 88–94.

*Майснер А.Д.* Характер формирования корневой системы ели и растений почвенного покрова в разных стадиях возраста // Флористические и геоботанические исследования в Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1970. С. 109–119.

*Макаров В.А.* Состояние и перспективы развития искусственного лесовосстановления в Билимбаевском лесхозе // Научные основы использования и воспроизводства таежных лесов Среднего Урала (на примере Билимбаевского лесхоза). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 98–109.

*Маркова И.А., Шестакова Т.А.* Лесокультурная оценка механизированной обработки перегноино-торфянистых почв на вырубках в таежной зоне // Лесоведение, 2001. № 2. С. 33–40.

*Мерзленко М.Д., Гурцев А.И.* Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной в зависимости от густоты посадки // Лесоведение, 1982. № 2. С. 85–88.

*Мерзленко М.Д., Шестакова Е.Ю.* Биологическая продуктивность искусственных молодняков ели // Науч. тр. МГУЛ. Мытищи, 1992. Вып. 257. С. 38–45.

*Мирошников В.С.* Особенности роста и строения лесных культур // Лесоведение и лесное хозяйство. Вып. 4. Минск, 1971. С. 127–134.

*Мирошников В.С.* Исследование роста и продуктивности смешанных сосновых культур // Лесоведение и лесное хозяйство. Вып. 8. Минск, 1974. С. 80–85.

*Науменко И.М.* Рост сосновых культур в условиях Воронежской области // Науч. зап. ВЛХИ. Т. 5. Воронеж, 1939. С. 49–80.

*Науменко Е.Н.* О повышении биологической устойчивости сосновых культур в Бузулукском бору // Лесное хоз-во, 1960. № 10. С. 32–39.

*Науменко Е.Н., Успенский В.В.* Итоги 48-летних наблюдений на постоянных пробных площадях в культурах сосны учебно-опытного лесхоза ВЛТИ // Лесной журнал, 1979. № 1. С. 18–21.

*Неволин О.А.* Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера. Архангельск, 1969. 104 с.

*Нефедов Н.М., Шишкин Н.А.* Лесные культуры и естественное возобновление в лесах Европейского Севера. Архангельск, 1970. С. 21–37.

*Никитин А.М.* Пути повышения продуктивности лесов в Билимбаевском лесхозе // Повышение продуктивности и рациональное использование лесов. Свердловск, 1967. С. 59–61.

*Никитин В.А.* Сравнительная продуктивность естественных и искусственных насаждений в северной части БССР: Автореф. дис. ... к. с.-х. наук. Минск, 1981. 18 с.

*Никитин Ф.А.* Сравнительная оценка различных методов создания и выращивания культур ели на вырубках // Науч. тр. МЛТИ. Вып. 167. М., 1985. С. 46–48.

Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР. М.: Госкомлес СССР, 1984. 308 с.

*Павлов И.Н., Барабанова О.А.* Рост лесных культур сосны обыкновенной в различных эдафических условиях Западной Сибири // Лесной и химический комплекс: проблемы и решения: Сб. тр. Т. 1. Красноярск: СибГТУ, 2003. С. 230–239.

*Пигарев Ф.Т.* Лесокультурное дело на Севере // Развитие лесной науки и лесного хозяйства на Севере за годы советской власти. Архангельск, 1967. С. 19–25.

*Пигарев Ф.Т., Сенчуков Б.А., Беляев В.В.* Состояние и рост лесных культур в зависимости от вида, возраста и размера посадочного материала // Искусственное восстановление леса на Севере. Архангельск: АИЛиЛХ, 1979. С. 85–97.

*Побединский А.В.* Возобновление леса на вырубках в таежных лесах // Лесное хоз-во, 1970. № 10. С. 20–23.

*Побединский А.В.* Рубки и возобновление в таежных лесах СССР. М.: Лесная пром-сть, 1973. 199 с.

*Побединский А.В.* Воспроизводство лесов на вырубках тайги // Лесоведение, 1986. № 5. С. 3–9.

*Поляков А.Н., Итатов Л.Ф., Успенский В.В.* Продуктивность лесных культур. М.: Агропромиздат, 1986. 240 с.

*Попова А.В.* Сравнительная характеристика искусственных и естественных сосняков // Лесное хоз-во, 1972. № 10. С. 44–45.

*Попова А.В.* Особенности хода роста сосняков и ельников естественного и искусственного происхождения Камско-Чусовского лесорастительного района Пермской области: Автореф. дис. ... к. с.-х. наук. Воронеж: ВЛТИ, 1973. 25 с.

*Прудня М.В.* Естественное возобновление на концентрированных вырубках ельников зеленомошниковых Тавда-Куминского междуречья // Южнотаежные леса Западно-Сибирской равнины. Свердловск: ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, 1972. С. 194–217.

Проект организации и ведения лесного хозяйства Билимбаевского лесхоза. Т. 1. Пояснительная записка. Екатеринбург: Свердл. упр. лесами, 2000.

Проект организации и ведения лесного хозяйства Шамарского лесхоза Департамента природных ресурсов по Свердловской области. Нижний Новгород, 2001. 203 с.

*Прокопьев М.Н.* Лесные культуры на концентрированных вырубках. М.: Лесная пром-сть, 1964. 144 с.

*Прокопьев М.Н.* Оценка эффективности лесовыращивания в таежной зоне // Лесное хоз-во, 1975а. № 11. С. 23.

*Прокопьев М.Н.* Эффективность культур сосны, созданных посадкой и посевом в основных типах леса Прикамья // Тр. Прикамской ЛОС. Вып. 1. Пермь, 1975б. С. 100.

*Прокопьев М.Н.* Создание смешанных культур сосны и ели // Лесное хоз-во, 1976. № 5. С. 37.

*Прокопьев М.Н.* Культуры С.В. Алексеева в Обозерском лесхозе. М.: Изд. ЦБНТИ лесхоз, 1977. 30 с.

*Прокопьев М.Н.* Создание смешанных культур сосны и березы // Лесное хоз-во, 1978а. № 1. С. 53.

*Прокопьев М.Н.* Лесные культуры Теплоуховых в Прикамье // ВНИИТИ, 1978б. № 231. 160 с.

*Прокопьев М.Н.* Культуры сосны в таежной зоне. М.: Лесная пром-сть, 1981. 138 с.

*Прокопьев М.Н.* Продуктивность культур сосны и лиственницы в подзонах южной и средней тайги // Лесное хоз-во, 1983. № 1. С. 32–35.

*Прудов Б.Н., Гуцин В.А.* Оценка, учет и обоснование очередности проведения способов лесовосстановления: практические рекомендации. Архангельск, 1978. 19 с.

*Разин Г.С., Рогозина В.П.* Влияние рубок ухода на рост и продуктивность еловых культур // Экологические основы рационального использования и воспроизводства лесов Урала. Свердловск, 1986. С. 48–49.

*Рахтеенко И.Н.* Корневые системы древесных и кустарниковых растений. Минск: АН БССР, 1963. 138 с.

*Рахтеенко И.Н., Якушев Б.И.* Комплексный метод исследования корневых систем растений // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы: Тр. Междунар. симпоз. Л.: Наука, 1968. С. 174–178.

*Редько Г.И.* Линдуловская лиственничная роща. Л.: ЛТА, 1984. 96 с.

*Редько Г.И., Бабич Н.А.* Рукотворные леса Европейского Севера. Архангельск, 1991. 96 с.

*Редько Г.И., Гузюк М.Е., Травникова Г.И.* Показатели качества лесных культур. Л.: ЛЛТА, 1989. 60 с.

*Редько Г.И., Невзоров В.М., Невзоров И.М., Хиров А.А.* Лесные культуры в Бузулукском бору: Учебное пособие. Л.: ЛЛТА, 1985. 87 с.

*Родин А.Р.* Культуры ели на вырубках. М., 1977. 168 с.

*Родин А.Р., Мерзленко М.Д.* Рост культур сосны и ели на сутлинистых почвах // Лесное хоз-во, 1974. № 12. С. 26–30.

*Родин А.Р., Шапкин О.М.* Приживаемость и рост культур ели, созданных крупномерным посадочным материалом // Лесное хоз-во, 1972. № 9. С. 29–32.

*Рождественский С.Г., Уткин А.И., Гульбе Я.И.* Статистическая обработка фактического материала // Анализ производственной структуры древостоев. М.: Наука, 1988. С. 7–10.

*Рубцов В.И.* Культуры сосны в лесостепи центрально-черноземных областей. М.: Лесная пром-сть, 1964. 316 с.

*Рубцов В.И.* Культуры сосны в лесостепи. М.: Лесная пром-сть, 1969. 288 с.

*Рубцов В.И., Новосельцева А.И., Попов В.К., Рубцов В.В.* Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне. М.: Наука, 1976. 223 с.

*Рубцов В.И., Рубцов В.В.* Биологическая продуктивность 20-летних культур сосны при разной густоте посадки // Лесоведение, 1975. № 1. С. 28–36.

*Русаленко А.И., Петров Е.Г.* Определение прироста фитомассы в сосновых насаждениях // Текущий прирост древостоев: Мат-лы науч. конф. Минск: Ураджай, 1975. С. 139–140.

*Рябокоть А.П.* Определение биологического оптимума густоты сосновых древостоев в условиях свежей субори // Лесоведение, 1979. № 3. С. 16–23.

*Савич Ю.Н., Овсянкин В.Н., Полубояринов О.И.* О росте, продуктивности и устойчивости сосновых культур, созданных при различной густоте посадки // Вопросы лесной таксации: Науч. тр. УкрСХА. Вып. 213. Киев, 1978. С. 27–38.

*Санников С.Н., Санникова Н.С.* Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. М.: Наука, 1985. 149 с.

*Санников С.Н., Санникова Н.С., Петрова И.В.* Естественное лесовозобновление в Западной Сибири: эколого-географический очерк. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 198 с.

*Санникова Н.С.* Микроэкологический анализ ценопопуляций древесных растений. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 65 с.

*Саурин Н.И., Каменецкая И.В.* Масса корней сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в сосняке мшисто-лишайниковом южной тайги // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол., 1969. Т. 74, № 5. С. 96–100.

*Семечкина М.Г.* Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука, 1978. 165 с.

*Семечкина М.Г., Порядина О.П.* Рост и продуктивность семилетних культур сосны и кедра // Лесные почвы Ангаро-Енисейского экономического региона. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. С. 55–65.

*Сенкевич Н.Г.* Зависимость между массой листьев и проводящей системой ствола вяза мелколистного // Лесоведение, 1980. № 1. С. 89–94.

*Сироткин Ю.Д., Праходский А.Н.* Биологическая продуктивность ели в подпологовой культуре // Лесоведение и лесное хоз-во. Вып. 6. Минск: Вышэйш. шк., 1972. С. 106–113.

*Смирнов Н.А., Годнев Л.Е.* Создание культур ели посадкой саженцев в зоне хвойно-широколиственных лесов // Проблемы повышения продуктивности лесов и перехода на непрерывное рациональное лесопользование в свете решений XXVI съезда КПСС: Тез. докл. Всесоюз. конф. Архангельск, 1983. С. 47–48.

*Смолюгов Е.П., Трусов П.Ф., Софронов Б.И., Тришин Б.А.* Особенности лесного фонда и лесопользования в Билимбаевском опытно-показательном лесхозе // Научные основы использования и воспроизводства таежных лесов Среднего Урала (на примере Билимбаевского лесхоза). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 3–12.

Софронов М.А., Волокитина А.В. Об экологических особенностях зоны северных редколесий в Средней Сибири // Сиб. экол. журн., 1998. № 3–4. С. 245–250.

Стадницкий Г.В. Энергетика биогеоценоза и проблемы лесовосстановления // Стабильность и продуктивность лесных экосистем: Тез. докл. Всесоюз. совещ. Тарту, 29–31 окт. 1985 г. Тарту: Гос. ун-т, 1985. С. 128–131.

Старостенко В.П. Ход роста сосновых молодняков искусственного происхождения в пристепных борах УССР: Автореф. дис. ... к. с.-х. наук. Киев, 1967. 20 с.

Судаков Н.М. Посев и посадка на нераскорчеванных вырубках. Сыктывкар, 1969. 85 с.

Терехов Г.Г. Развитие корневых систем пятилетних культур ели сибирской на Урале // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 25. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. С. 133–141.

Терехов Г.Г., Усольцев В.А., Бирюкова А.М. Лесоводственная оценка самосева ели сибирской в словых культуранценозах Среднего Урала // Изв. СПб. лесотех. акад., 2007. Вып. 180. С. 20–31.

Тимофеев В.П. Закономерности формирования сосновых насаждений естественного и искусственного происхождения // Лесное хоз-во, 1965. № 8. С. 5–12.

Токмурзин Т.Х., Байзаков С.Б. Рекомендации по таксации надземной массы и освоение древесной зелени сосновых и еловых лесов Казахстана. Алма-Ата: КазСХИ, 1970. 63 с.

Турлюк В.Д. Изменение качества хвои и биологическая продуктивность предварительных культур ели // Лесоведение и лесное хозяйство. Вып. 18. Минск: Вышэйш. шк., 1983. С. 57–61.

Тюрмер К.Ф. Пятьдесят лет лесохозяйственной практики. М., 1891. 182 с.

Угаров А.И. Влияние различных способов подготовки почвы на рост культур ели в условиях влажной сурамени // Науч. тр. МЛТИ. Вып. 167. М., 1985. С. 57–59.

Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России / Д.Г. Замолодчиков, Г.Н. Коровин, А.И. Уткин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 200 с.

Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 216 с.

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 707 с.

Усольцев В.А. Этот загадочный род «*Picea*» // Вестник УрО РАН: Наука, общество, человек. Екатеринбург, 2003. № 1(3). С. 108–113.

Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.

Усольцев В.А., Канунникова О.В., Платонов И.В. Исследование ошибок при оценке углеродного пула лесов посредством аллометрических моделей // Современные проблемы устойчивого управления лесами, инвентаризации и мониторинга лесов: Мат-лы Междунар. конф. СПб.: ГЛТА, 2006. С. 363–370.

Усольцев В.А., Крепкий И.С. Распределение массы ветвей и корней сосны по их толщинам: моделирование и составление таблиц // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибТИ, 1990. С. 50–59.

Усольцев В.А., Крепкий И.С. Регрессионный анализ вертикально-фракционно-го распределения массы корней в сосняках Аман-Карагайского бора // Экология, 1994. № 2. С. 21–33.

Усольцев В.А., Крепкий И.С., Вэнклей Дж. К. Рост и структура фитомассы сосны естественного и искусственного происхождения // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 17. Екатеринбург: УГЛТА, 1994. С. 39–58.

Усольцев В.А., Крепкий И.С., Нагимов З.Я. и др. Распределение массы ветвей и корней по толщине и вертикальному профилю как специфичная характеристика биопродуктивности лесных экосистем // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Ч. 1. М., 1990. С. 246–249.

Усольцев В.А., Нагимов З.Я., Деменев В.В., Шарафутдинов Р.Р. Распределение массы ветвей по их толщинам в сосняках Среднего Урала // Изв. вузов. Лесной журн., 1991а. № 1. С. 7–12.

Усольцев В.А., Нагимов З.Я., Теткин С.В. Распределение массы ветвей ели по их толщинам и вертикальному профилю: моделирование и составление таблиц // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибТИ, 1991б. С. 32–41.

Усольцев В.А., Усольцева Р.Ф. Аппроксимирование надземной фитомассы березы и осины по диаметру и высоте ствола // Вестник с.-х. науки Казахстана, 1977. № 7. С. 83–89.

Усольцев В.А., Филиппов А.В., Ненашев Н.С. и др. Оценка некоторых методов определения первичной продукции ветвей деревьев // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. по итогам 5-й Междунар. науч.-техн. конф. «Лес-2004». Вып. 8. Брянск: Ин-т экологии МИА, 2004. С. 65–67.

Усольцев В.А., Щерба Н.П. Структура фитомассы кедровых сосен в плантационных культурах. Красноярск: СибТИ, 1998. 134 с.

Успенский В.В. Ход роста, товарная и сортиментная структура культур сосны ЦЧР: Автореф. дис. ... к. с.-х. наук. Воронеж, 1971. 21 с.

Успенский В.В., Попов В.К. Особенности роста, продуктивности и таксации культур. М.: Лесная пром-сть, 1974. 128 с.

Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов: Методы изучения и результаты // Лесоведение и лесоводство: итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1975. Т. 1. С. 9–189.

Фирсова В.П., Павлова Т.С., Дедков В.С., Прокопович Е.В. Почвенный покров Билимбаевского лесхоза // Научные основы использования и воспроизводства таежных лесов Среднего Урала (на примере Билимбаевского лесхоза). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 45–72.

Фишер Ф.Б. О посеве и посадке деревьев на острове Уналашке // Лесной журн., 1841. № 8. С. 149–158.

Фрейберг И.А. Экологические особенности сосны обыкновенной на луго-степных солонцах Зауралья // Мат-лы VI совещан. «Вид и его продуктивность в ареале» (Программа ЮНЕСКО «Человек и биосфера»). СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 343–345.

Царьков А.С. Строение сосновых молодняков. М.: Лесная пром-сть, 1967. 28 с.

Царьков А.С. Сортиментная структура сосновых культур // Лесное хоз-во, 1969. № 9. С. 38–41.

Царьков А.С. Изменение таксационных показателей сосновых культур при равной высоте // Лесной журн., 1970. № 5. С. 24–27.

Цветков В.Ф. Сосновые молодняки различного происхождения на Кольском полуострове // Лесное хоз-во, 1981. № 3. С. 19–21.

Цветков В.Ф. Сосновые древостои высокой продуктивности в Мурманской области // Математическое моделирование в биогеоценологии: Тез. докл. Всесоюз. шк. Петрозаводск, 1985. С. 39–41.

Цветков В.Ф. Вопросы лесовосстановления на Европейском Севере // Проблемы лесовыращивания на Европейском Севере. Архангельск, 1999. С. 13–25.

Цветков В.Ф., Гуцин В.А. Лесоводственно-экономическая оценка способов естественного и искусственного возобновления в Коми АССР // Мат-лы отчет. сессии по итогам НИР в девятой пятилетке. Архангельск, 1975. С. 36–39.

- Частухин В.Я., Николаевская М.А. Биологический распад и синтез органического вещества в природе. Л., 1969. 326 с.
- Чернов Н.Н. Особенности создания и выращивания культур ели // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 25. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. С. 141–145.
- Чиссов Б.Е. Развитие корневых систем сосны в первые годы роста культур на юге Тюменской области // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 7. Свердловск: УралЛЮС ВНИИЛМ, 1972. С. 147–152.
- Чиндяев А.С., Соловьев Е.А., Александров В.В. Культуры хвойных пород на торфяных почвах. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 88 с.
- Чмыр А.Ф. Биологические основы восстановления еловых лесов южной тайги. Л.: ЛГУ, 1977. 160 с.
- Чмыр А.Ф. Лесные культуры: методические указания по исследованию корневых систем древесных пород. Л.: ЛЛТА, 1984. 40 с.
- Чмыр А.Ф., Ярмишко В.Т. Биомасса ели в культурах при реконструкции лиственных молодняков // Использование и воспроизводство лесных ресурсов Дальнего Востока: Тез. докл. Вессоюз. конф. Вып. 1. Хабаровск, 1972. С. 122–124.
- Шандер В.Д. Семеношение березы в Северном Казахстане // Исследования молодых ученых. Алма-Ата: КазНИИЛХ, 1973. С. 105–106.
- Шварц С.С. Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование. Докл. на юбил. сессии АН СССР, посв. 250-летию АН СССР. М., 1974. 24 с.
- Щерба Н.П. Структура фитомассы кедровых сосен в плантационных культурах пригородной зоны г. Красноярска: Автореф. дис. ... к. с.-х. наук. Красноярск: КГТА, 1995. 21 с.
- Эйтинген Г.Р. Лесоводство. М., 1953. 423 с.
- Якимов Н.И., Домасевич А.А. Исследование продуктивности культур сосны обыкновенной на землях, вышедших из сельскохозяйственного пользования // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие: Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. Минск: БГТУ, 2002. С. 154–156.
- Alden J., Bruce D. Growth and historical Sitka spruce plantations at Unalaska Bay, Alaska // USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station. General Technical Report PNW-GTR-236, 1989. 18 p.
- Baker T.G., Attiwill P.M., Stewart H.T.L. Biomass equations for *Pinus radiata* in Gippsland, Victoria // N.Z.J. Forest Sci., 1984. Vol. 14, No. 1. P. 89–96.
- Benčat T. Black locust biomass production in Southern Slovakia. Bratislava: VEDA, 1989. 191 p.
- Brown S. Present and potential role of forests in the global climate change debate // Unasylva 185, 1996. Vol. 47. P. 3–10.
- Brown S., Lugo A., Chapman J. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget // Can. J. For. Res., 1986. Vol. 16, No. 2. P. 390–394.
- Chave J., Riera B., Dubois M.A. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability // J. Trop. Ecol., 2001. Vol. 17. P. 79–96.
- Deevey E.S. The human population // Scientific American, 1960. P. 1–9.
- Fowler A., Low K., Stone J. Earth observation for sustainable development: Using space-based technology for monitoring Canada's forests // Information Forestry. April 2002. Canadian Forest Service. Pacific Forestry Centre. Victoria; British Columbia. P. 6–7.
- Fürst Ch., Bitter A.W., Eisenhauer D.-R. et al. Sustainable methods and ecological processes of a conversion of pure Norway spruce and Scots pine stands into ecologically adapted mixed stands // Contribution to Forest Sciences Tharandt, 2004. No. 20. P. 244.
- Global BIOME Program. U.S. Corvallis: Environmental Agency, 1991. 8 p.
- Grier C.C., Vogt K.A., Keyes M.R., Edmonds R.L. Biomass distribution and above- and belowground production in young and mature *Abies amabilis* ecosystems of the Washington Cascades // Can. J. For. Res., 1981. Vol. 11, No. 1. P. 155–167.
- Guź M.M. Kompleksowa metoda badań systemów korzeniowych roślin drzewiastych (Комплексный метод исследования корневых систем древесных растений) // Acta Agraria et Silvustria. Series silvestris. Kraków, 1990. Vol. 29. S. 17–29 (польск.).
- Haland B., Brække F.H. Distribution of root biomass in a low-shrub pine bog // Scand. J. For. Res., 1989. Vol. 4. P. 307–316.
- Harris W.F., Goldstein R.A., Henderson G.S. Analysis of forest biomass pools, annual primary production and turnover of biomass for a mixed deciduous forest watershed / Ed. H.E. Young // IUFRO biomass studies. Orono: University of Maine, USA, 1973. P. 43–64.
- Harris W.F., Kinerson R.S., Edwards N.T. Comparison of belowground biomass of natural deciduous forests and loblolly pine plantations // Pedobiologia, 1977. Vol. 17. P. 369–381.
- Hoffmann C.W., Usoltsev V.A. Modelling root biomass distribution in *Pinus sylvestris* forests of the Turgai Depression of Kazakhstan // Forest Ecology and Management, 2001. Vol. 149. P. 103–114.
- IGBP Terrestrial Carbon Working Group. The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto protocol // Science, 1998. Vol. 280. P. 1393–1394.
- Jenik J. Root structure and underground biomass in equatorial forests / Ed. P. Duvingneaud // Productivity of forest ecosystems: Proc. of the Brussels symposium organized by UNESCO and the International Biological Programme, 27–31 October 1969. Paris, 1971. P. 323–331.
- Kochenderfer J.N. Root distribution under some forest types native to West Virginia // Ecology, 1973. Vol. 54. No. 2. P. 445–448.
- Kräuchi N. Climate change and forest ecosystems – an overview // Schlöpfer R. (ed.). Long-term implication of climate change and air pollution on forest ecosystems: Progress report of the IUFRO Task Force «Forest, Climate and Air Pollution». Vienna, IUFRO; Birmensdorf, WSL., 1993. P. 53–76 (IUFRO World Series. Vol. 4).
- Leibundgut H. Vom Holzackerbau zum naturnähen Waldbau // Österr. Forstzeitung, 1987. No. 4. S. 10–11.
- Lundegårdh H. Carbon dioxide evolution of soil and crop growth // Soil Science, 1927. Vol. 23. No. 6. P. 417–453.
- Lundkvist K. Genetic structure in natural and cultivated forest tree populations // Silva fenn., 1982. Vol. 16, No. 2. P. 141–149.
- Madgwick H.A.I. Estimating the above-ground weight of forest plots using the basal area ratio method // N. Z. J. Forest Sci., 1982. Vol. 11, No. 3. P. 278–286.
- Müller D. Kreislauf des Kohlenstoffs // Handbuch der Pflanzenphysiologie. Berlin; Göttingen; Heidelberg: Springer Verlag, 1960. Bd 12, No. 2. S. 934–948.
- Schellnhuber H.J. Globales Umweltmanagement oder Dr. Lovelock übernimmt Dr. Frankensteins praxis // Jahrbuch Ökologie. München: CH Beck, 1999. P. 168–187.
- Schellnhuber H.J., Wenzel V. Earth system analysis. Berlin; Heidelberg; N. Y.: Springer-Verlag, 1998. 530 p.
- Schmidt P.A., Denner M. The effects of forest conversion of spruce (*Picea abies*) plantations into site-adapted mixed stands on the ground vegetation // Personnel and scientific provision for the sustainable forest management: conditions and prospects. Proc. Inter. Conf. 19–24 September 2005. Yoshkar-Ola, 2005. P. 158–168.
- Schulze E.-D. The carbon and nitrogen cycle of forest ecosystems / Ed. E.-D. Schulze // Carbon and nutrient cycling in European forest ecosystems. (Ecological Studies. Vol. 142). Berlin; Heidelberg; N. Y.: Springer-Verlag, 2000. P. 3–13.

*Thomasius H.* Ökologische und landeskulturelle Aspekte der forstwirtschaftlichen Stoffproduktion // TU Dresden, Universitätsreden, 1981. H. 54. S. 23–33.

*Usoltsev V.A.* Recurrent regression system as a base for tree and stand biomass tables // Harvesting and utilization of tree foliage. IUFRO Project Group P3.05-00 Meeting. Riga, 1989. P. 217–245.

WBGU. The accounting of biological sinks and sources under the Kyoto protokol: a step forward or backward for global environmental protection? German Advisory Council on Global Change. Special report. Bremerhaven: BWGU Secretariat, 1998. 75 p.

*West G.B., Brown J.H., Enquist B.J.* A general model for the structure and allometry of plant vascular systems // Nature, 1999. Vol. 400. P. 664–667.

*Whittaker R.H.* Net production relations of shrubs in the Great Smoky Mountains // Ecology, 1962. Vol. 43. P. 357–377.

*Wirth C., Schumacher J., Schulze E.-D.* Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation // Tree Physiology, 2004. Vol. 24. P. 121–139.

*Woodwell G.M., Whittaker R.H., Reiners W.A. et al.* The biota and the world carbon budget // Science, 1978. Vol. 199. P. 141–146.

*Zianis D., Mencuccini M.* On simplifying allometric analyses of forest biomass // Forest Ecol. Manage, 2004. Vol. 187. P. 311–332.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
<b>Глава 1.</b> Биологическая продуктивность насаждений естественного и искусственного происхождения .....	9
<b>Глава 2.</b> Биологическая продуктивность лесных культур в связи со способами их выращивания .....	17
<b>Глава 3.</b> Методика получения и обработки данных биологической продуктивности культур ели .....	20
<b>Глава 4.</b> Общая характеристика районов исследования .....	25
4.1. Природные условия Билимбаевского лесхоза Свердловской области .....	26
4.2. Характеристика и состояние лесного фонда Билимбаевского лесхоза .....	31
4.3. Природные условия Шамарского лесхоза Свердловской области .....	35
4.4. Характеристика и состояние лесного фонда Шамарского лесхоза .....	44
<b>Глава 5.</b> Описание вариантов создания и особенностей формирования опытных культур ели .....	54
5.1. Серия опытов 1 .....	54
5.2. Серия опытов 2 .....	59
5.3. Серия опытов 3 .....	73
5.4. Серия опытов 4 .....	77
<b>Глава 6.</b> Фитомасса деревьев в опытных культурах ели .....	81
6.1. Серия опытов 1 .....	81
6.2. Серия опытов 2 .....	86
6.3. Серия опытов 3 .....	95
6.4. Серия опытов 4 .....	101
6.5. Нормативные таблицы для подеревной оценки фитомассы в культурах ели сибирской I–II классов возраста .....	102
<b>Глава 7.</b> Фитомасса древостоев в опытных культурах ели .....	112
7.1. Серия опытов 1 .....	112
7.2. Серия опытов 2 .....	114
7.3. Серия опытов 3 .....	120
7.4. Серия опытов 4 .....	122
7.5. Эскизы таблиц хода роста по запасу фитомассы (ТХРФ) еловых молодняков искусственного происхождения .....	124

<b>Глава 8.</b> Структура первичной продукции 20-летних культур ели в Билимбаевском лесхозе и ее особенности .....	130
8.1. Структура первичной продукции культур ели на уровне дерева .....	130
8.2. Структура первичной продукции культур ели на уровне древостоя .....	138
<b>Глава 9.</b> Лесоводственная оценка самосева ели сибирской в еловых культурах Среднего Урала .....	150
<b>Глава 10.</b> Масса и протяженность корней культур ели сибирской и вторичного лиственного древостоя на Среднем Урале как характеристика их конкурентных отношений .....	159
10.1. Морфоструктура насаждений и корненасыщенность ризосферы культур ели сибирской и вторичного лиственного древостоя в связи с рубками ухода .....	159
10.2. Вертикально-фракционное распределение корней культур ели сибирской и вторичного лиственного древостоя в связи с рубками ухода .....	168
<b>Заключение</b> .....	191
<b>Список литературы</b> .....	199

CONTENTS

<b>Introduction</b> .....	5
<b>Chapter 1.</b> Biological productivity of natural and man-made forests .....	9
<b>Chapter 2.</b> Biological productivity of tree plantations as related to the ways of their management .....	17
<b>Chapter 3.</b> Methods of obtaining and processing of biological productivity data on spruce plantations .....	20
<b>Chapter 4.</b> Common characteristics of studied area .....	25
4.1. Natural conditions of Bilimbai forest farm of Sverdlovsk oblast ....	26
4.2. Characteristics and state of forest fund of Bilimbai forest farm ...	31
4.3. Natural conditions of Shamary forest farm of Sverdlovsk oblast ...	35
4.4. Characteristics and state of forest fund of Shamary forest farm ...	44
<b>Chapter 5.</b> Description of establishment variants and treatment peculiarities of spruce plantations .....	54
5.1. Experiment series 1 .....	54
5.2. Experiment series 2 .....	59
5.3. Experiment series 3 .....	73
5.4. Experiment series 4 .....	77
<b>Chapter 6.</b> Tree biomass on the experimental spruce plantations .....	81
6.1. Experiment series 1 .....	81
6.2. Experiment series 2 .....	86
6.3. Experiment series 3 .....	95
6.4. Experiment series 4 .....	101
6.5. Mensuration standards for tree biomass on spruce plantations of I-II age classes .....	102
<b>Chapter 7.</b> Stand biomass on the experimental spruce plantations .....	112
7.1. Experiment series 1 .....	112
7.2. Experiment series 2 .....	114
7.3. Experiment series 3 .....	120
7.4. Experiment series 4 .....	122
7.5. Yield tables for spruce biomass on spruce plantations of I-II age classes .....	124
<b>Chapter 8.</b> Primary production structure of 20-year-old spruce plantations on Bilimbai forest farm and its peculiarities .....	130
8.1. Primary production structure on a tree level .....	130
8.2. Primary production structure on a stand level .....	138

<i>Chapter 9.</i> Forestry analysis of spruce natural regeneration under the canopy of spruce plantations in the Middle Ural .....	150
<i>Chapter 10.</i> Root biomass and longevity on the community of spruce plantation and second-growth small-leaved forest as specific characteristics of their tree competition .....	159
10.1. Morphological structure and root biomass of the community of spruce plantation and second-growth small-leaved forest as related to its thinnings .....	159
10.2. Vertical-fraction distribution of root biomass of the community of spruce plantation and second-growth small-leaved forest as related to its thinnings .....	168
<b>Conclusion</b> .....	191
<b>Literature cited</b> .....	199

*Научное издание*

**Терехов Геннадий Григорьевич  
Усольцев Владимир Андреевич**

**ФОРМИРОВАНИЕ, РОСТ И БИОПРОДУКТИВНОСТЬ  
ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ СИБИРСКОЙ НА УРАЛЕ**  
Исследование системы связей и закономерностей

Рекомендовано к изданию  
ученым советом Ботанического сада  
и НИСО УрО РАН

Редактор *Л.А. Урядова*  
Технический редактор *Е.М. Бородулина*  
Корректор *В.А. Гукаленко*  
Компьютерная верстка *Н.С. Глушковой*

НИСО УрО РАН № 7(08) – 26.  
Сдано в набор 19.02.08. Подписано в печать 14.04.08.  
Формат 60×84 1/16. Бумага типографская. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 13,75. Уч.-изд. л. 15. Тираж 500. Заказ 134.

Оригинал-макет изготовлен в РИО УрО РАН.  
620219, Екатеринбург, ГСП-169, ул. Первомайская, 91.

Типография «Уральский центр академического обслуживания».  
620219, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91.