

На правах рукописи



Бабенко Татьяна Сергеевна

**Закономерности роста деревьев и древостоев  
ели сибирской в высокогорьях Южного Урала  
(на примере г. Малый Ирмель)**

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

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук**

Екатеринбург 2006

Работа выполнена в Уральском государственном лесотехническом университете.

Научные руководители – доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор З.Я. Нагимов;

кандидат биологических наук,  
научный сотрудник П.А. Моисеев

Официальные оппоненты – доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор В.А. Усольцев;

кандидат сельскохозяйственных наук,  
научный сотрудник Н.Н. Теринов

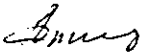
Ведущая организация – Башкирский государственный аграрный университет

Защита состоится 28 декабря 2006г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при Уральском государственном лесотехническом университете по адресу: 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета.

Факс: (343)254-62-25

Автореферат разослан 24 ноября 2006г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор  Л.И. Аткина

### Введение

**Актуальность темы.** В связи с существенным потеплением климата нашей планеты в XX в. значительно увеличился интерес мировой научной общественности к изучению реакции экосистем и их отдельных компонентов на это явление. Наиболее чувствительными к изменению климатической обстановки являются экосистемы, расположенные в высокоширотных и высокогорных районах. Ожидается смещение ботанико-географических зон и рубежей к северу и выше в гору. Высокогорные экосистемы в настоящее время остаются наименее изученными в лесоводственно-таксационном отношении. В то же время в рассматриваемом аспекте вопросы формирования насаждений, роста и дифференциации деревьев в условиях верхнего предела произрастания леса, приобретают особую актуальность. Исследования их важны для оценки динамики верхней границы леса и биосферной роли насаждений, произрастающих в этих условиях. В частности, повышение верхней границы леса в горах свидетельствует о расширении площадей насаждений, обеспечивающих длительное консервирование углерода. Для оценки углеродододепонирующей роли этих насаждений необходимы целенаправленные исследования их роста и продуктивности.

Исследования автора проводились в 2002-2006 гг. в рамках международного проекта INTAS-01-0052.

**Цель и задачи исследования.** Основная цель работы заключалась в выявлении особенностей формирования и роста деревьев и древостоев ели сибирской на верхнем пределе их произрастания в наиболее возвышенной части Южного Урала в меняющихся климатических условиях XX века.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- изучение возрастной структуры еловых древостоев с учетом высоты их расположения над уровнем моря;
- оценка дифференциации деревьев и степени конкурентных взаимоотношений между ними в исследуемых древостоях;
- исследование взаимосвязей между таксационными показателями стволов и крон деревьев ели;
- изучение хода роста деревьев ели по основным таксационным показателям (диаметру, высоте и объему) в древостоях разных высотных уровней;
- выявление основных факторов, оказывающих влияние на рост деревьев ели сибирской на верхней границе леса.

**Научная новизна.** Впервые в высокогорных условиях Южного Урала выполнена оценка возрастной структуры древостоев, выявлены особенности дифференциации деревьев и изучены взаимосвязи между их основными таксационными показателями. Установлены основные факторы, влияющие на рост и развитие деревьев ели на верхней границе леса и особенности их роста, связанные с высотой произрастания древостоев относительно уровня моря и изменением климатической обстановки. Получены

количественные подтверждения поднятия верхней границы леса в горах Южного Урала и данные о таксационной структуре произрастающих в этих условиях насаждений.

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

- особенности изменения возрастной структуры древостоев с увеличением высоты их произрастания относительно уровня моря;
- особенности дифференциации деревьев в условиях верхней границы леса;
- эколого-ценотические закономерности роста деревьев в исследуемых насаждениях.

**Практическая значимость работы.** Результаты исследований могут быть использованы при проведении научных, лесоучетных и лесохозяйственных работ в высокогорных лесах Южного Урала. Практическое применение могут иметь разработанные таблицы возрастной динамики таксационных показателей деревьев с учетом высоты над уровнем моря и корреляционные уравнения связей таксационных показателей стволов и крон.

**Обоснованность и достоверность результатов** обеспечивается анализом достаточного по объему экспериментального материала, собранного с использованием обоснованных методик, применением современных математических методов, компьютерной техники и прикладных программ при его обработке.

**Личный вклад.** Сбор экспериментального материала в полевых условиях, лабораторный анализ образцов, получение лесоводственно-таксационной характеристики древостоев, разработка уравнений, интерпретация полученных результатов, формулировка выводов и предложений выполнены лично автором или при его непосредственном участии.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались на Всероссийских научно-технических конференциях студентов и аспирантов (Екатеринбург, 2002, 2004, 2006) и Международной научной конференции (Екатеринбург, 2006).

**Публикации.** Основное содержание диссертации изложено в 6 печатных работах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, основных выводов, списка использованной литературы из 134 наименований, приложения. Текст изложен на 148 страницах, включая 19 таблиц и 25 рисунков.

## **Глава I. Состояние вопроса**

Одной из важнейших глобальных экологических проблем, стоящих сейчас перед человечеством, является проблема возможного изменения климата. Первые высказывания о возможности использования годичных колец деревьев для реконструкции климатических условий прошлого были сделаны такими выдающимися учеными, как Леонардо да Винчи и Карл

Линней (Glock, 1941, 1955; Studhalter, 1955). В настоящее время древесные кольца широко используются для изучения и реконструкции климатических условий предшествующего и настоящего периода времени, а также для построения моделей изменения климата (Kaennel, Schweingruber, 1995; Мазепа, 1985; Шиятов, 1986, 2001; Моисеев, 2002). Отмечается, что применение дендрохронологического анализа особенно перспективно в высокогорьях (Горчаковский, Шиятов, 1985).

При изучении формирования и роста насаждений важное значение имеет оценка дифференциации деревьев и взаимосвязей их таксационных показателей. Степень дифференциации деревьев, как правило, оценивается по коэффициенту варьирования таксационных показателей. Отмечается, что дифференциация деревьев и конкурентные взаимоотношения наиболее полно оцениваются при помощи относительной высоты  $H:D$  (Высоцкий, 1962; Юкнис, 1983; Нагимов, 2000; Соловьев, 2006; Третьякова, 2006).

Особенностям строения и роста древостоев в различных экологических условиях посвящены многочисленные исследования (Никитин, 1966; Шанин, 1967; Шасти, 1970; Верхунов, 1975; Макаренко, 1975; Кузьмичев, 1977; Гусев, 1978; Загреев, 1978; Маслаков, 1981; Усольцев, 1985; Шавнин, 1990; Луганский, Нагимов, 1994; Казимиров, 1995; Гурский, 1997; Шукенбаева, 1999; Нагимов, 2000; Захаров, 2001; Колтунова, 2004; Соловьев, 2006; и др.).

Рост деревьев и древостоев – это результат физиологических процессов, протекающих в древесном пологе. Поэтому многие исследователи уделяют внимание изучению варьирования размеров крон (Смертин, 1972; Верхунов, 1975; Смоленков, 1975; Семечкина, 1978; Калинин, 1979; Луганский, Нагимов, 1994; и др.), а также оценке взаимосвязей между размерами крон и таксационными показателями деревьев и древостоев (Неволин, 1967; Кузьмичев, 1977; Горячев, 1987; Сальникова, 2005; и др.).

Сведения об особенностях роста древостоев на верхней границе леса в основном носят описательный характер. Целенаправленные таксационные исследования в этих условиях практически не проводились.

## **Глава 2. Характеристика природных условий района исследований**

Исследования проводились на склонах горного массива Ирмель. Он расположен в полосе наиболее высоких центральных возвышенностей Южного Урала, образующих Башкирский антиклинорий. Ирмельское поднятие находится в пределах Ирмельско-Авалаякского природного района, для которого характерны значительные высоты (до 1200—1600 м над у. м), большие амплитуды высот (до 1100 м), сложная геологическая структура, влажный климат (свыше 800 мм в год), ярко выраженная высотная ландшафтная поясность и господство темнохвойной тайги.

В главе на основе литературных источников приведено описание геологии, геоморфологии, климата, почв и растительности.

### Глава 3. Методика исследований и объем работ

Исследования проводились по методике международного проекта INTAS-01-0052. На юго-западном склоне горы Малый Ирмель был заложен профиль. Для его закладки подбирался участок склона с хорошо сформированными почвами и типичной для данного района растительностью. На профиле фиксировались три высотных уровня: первый (верхний) – на высоте 1300 м над уровнем моря, второй (средний) – на высоте 1260 м и третий (нижний) – на высоте 1210 м. На этих уровнях согласно методике вышеуказанного проекта закладывались 6 макроплощадок размером 20×20 м. В пределах высотного уровня макроплощадки располагались таким образом, чтобы их центры отстояли друг от друга на расстоянии не более 5-10 м в вертикальном направлении и не более 50-100 м в горизонтальном. Макроплощадки разбивались на 4 мезоплощадки размером 10×10 м. На всех мезоплощадках для каждого дерева устанавливались: порода, номер, точное местоположение, форма ствола (одностовольная, многостовольная), высота, диаметр каждого ствола у основания и на высоте груди, диаметр по двум направлениям проекции кроны и ее протяженность, а также возраст стволов по буровым кернам.

Для изучения хода роста деревьев и определения таксационных показателей древостоев за пределами макроплощадок по способу пропорционального ступенчатого представительства были отобраны модельные деревья ели. До рубки у каждого из них определялись класс роста и развития по Крафту, форма, диаметр и протяженность кроны, на стволе отмечалась северная сторона света. После рубки у модельных деревьев определялись возраст и длина, а также выпилялись из ствола кружки (образцы древесины) на шейке корня, отметке 1,3 м, серединах секций (одно или двухметровых) и конце последней секции.

У каждого образца древесины была измерена ширина годовичных колец по четырем радиусам согласно сторонам горизонта с точностью 0,01 мм на измерительном комплексе LINTAB-III с программной поддержкой TSAP. Индивидуальные серии были перекрестно датированы друг с другом с помощью графического пакета TSAP, а их стандартизация производилась при помощи сплайн-функции в программном пакете Trend (Riemer, 1991).

Измерения и соответствующие расчеты позволили для всех модельных деревьев определить диаметр, высоту, объем по годам жизни, а на основе перечета на исследуемых площадях вычислить основные таксационные показатели древостоев (табл. 3.1).

В исследовании были использованы данные по средним температурам отдельных месяцев и месячным суммам осадков по метеостанциям Таганай-гора (1934-1996 гг.) и Златоуст (1837-2000 гг.).

Таблица 3.1. Таксационная характеристика древостоев по высотным уровням

| Характеристики                             | Высотные уровни |              |        |
|--|-----------------|--------------|--------|
|  | Верх-<br>ний    | Сред-<br>ний | Нижний |
| Высота, м над ур. моря.                    | 1300            | 1260         | 1210   |
| Средний диаметр у основания ствола, см     | 10,6            | 13,5         | 24,2   |
| Средний диаметр ствола на высоте груди, см | 8,9             | 10,4         | 19,8   |
| Средняя высота деревьев, м.                | 3,3             | 5,3          | 10,5   |
| Средний возраст деревьев, лет              | 51              | 64           | 95     |
| Средний диаметр кроны, м.                  | 4,1             | 3,2          | 2,9    |
| Относительная полнота                      | 0,30            | 0,52         | 0,71   |

#### Глава 4. Дифференциация и взаимосвязь таксационных показателей деревьев

##### 4.1. Распределение деревьев ели по возрасту

Распределение деревьев ели по возрасту в исследуемых древостоях носит вполне закономерный характер (рис.4.1). Это свидетельствует о том,

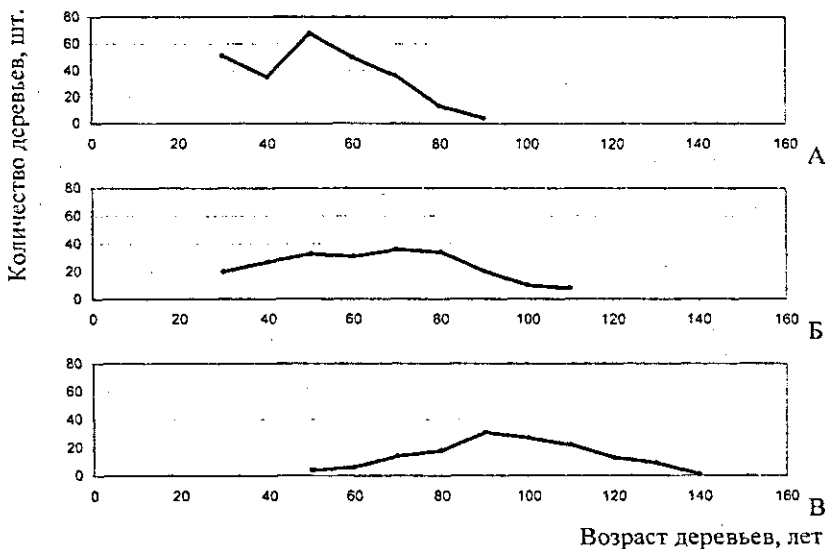


Рис. 4.1 Распределение деревьев по возрасту на разных высотных уровнях: А – верхний уровень; Б – средний; В – нижний.

что с биологических позиций их можно характеризовать как сформировавшиеся природные объекты. Однако, характер распределения деревьев по данному показателю существенным образом определяется высотой над уровнем моря. На всех уровнях древостоев ели отличаются значительной амплитудой колебания возраста слагающих их деревьев. Причем, возрастной интервал существенно уменьшается по мере поднятия в гору: на

верхнем уровне возраст деревьев колеблется от 25 до 91 лет, на среднем – от 25 до 114 лет и на нижнем – от 45 до 145 лет. Таким образом, исследуемые древостои относятся к категории абсолютно разновозрастных.

Результаты математико-статистической обработки исходных материалов приведены табл. 4.1. Из ее данных видно, что с увеличением высоты над уровнем моря заметно понижается средний возраст деревьев ели. Если на нижнем уровне этот показатель равен 95 годам, то на верхнем уровне он снижается до 51 года. Наблюдаются различия между высотными

Таблица 4.1. Основные статистические характеристики распределения количества деревьев по возрасту на различных высотных уровнях

| Статистические характеристики | Высотные уровни |         |        |
|-------------------------------|-----------------|---------|--------|
|                               | верхний         | средний | нижний |
| Средний возраст, лет          | 51              | 64      | 95     |
| Стандартное отклонение, лет   | 15,7            | 21,1    | 19,4   |
| Коэффициент эксцесса          | -0,64           | -0,60   | -0,27  |
| Коэффициент асимметрии        | 0,17            | 0,15    | -0,10  |
| Коэффициент вариации, %       | 30,9            | 33,0    | 20,5   |
| Вероятность ошибки, %         | 1,90            | 2,80    | 3,18   |

уровнями в значениях коэффициента варьирования возраста деревьев. Выявляется тенденция изменения асимметрии рядов распределения с положительных значений на отрицательные при движении сверху вниз. Абсолютные значения эксцесса свидетельствуют о том, что по крутости эмпирические кривые распределения существенно отличаются от нормальной кривой. Наблюдается закономерное уменьшение значений этого показателя по мере снижения высоты над уровнем моря.

Приведенные выше материалы свидетельствуют, что исследуемые древостои имеют сложную возрастную структуру. Однако, характер распределения деревьев не дает полного основания для выделения поколений на всех высотных уровнях: кривые распределения не имеют разрывов, а на среднем и нижнем уровнях одновышинны (рис. 4.1). Тем не менее, характер варьирования и пределы колебаний возраста деревьев ели обуславливают дифференцированный подход к исследованию хода роста деревьев с выделением условных возрастных поколений. На верхнем уровне нами выделены три условных возрастных поколения. В первое объединены деревья ели в возрасте от 30 до 50 лет; во второе – от 51 до 70 лет; в третье – от 71 до 90 лет. На среднем уровне к выше указанным поколениям добавляется еще одно – с диапазоном изменения возраста деревьев от 91 до 120 лет. На нижнем уровне также выделены 4 условных возрастных поколения: от 51 до 70 лет; от 71 до 90 лет; от 91 до 120 лет и от 121 до 140 лет.

По особенностям формирования древостои разных высотных уровней весьма разнообразны и не могут быть отнесены к единой статистической совокупности.



#### 4.2. Распределение деревьев по диаметру и высоте стволов

На каждом высотном уровне древостои ели отличаются достаточно большим диапазоном изменения диаметров стволов. Средний диаметр древостоев закономерно уменьшается с повышением высоты над уровнем моря (с 19.8 см на нижнем уровне до 8.9 см - верхнем).

Исследуемые древостои отличаются высокой изменчивостью диаметров стволов. Коэффициент варьирования диаметров на верхнем уровне составляет 66,8 %, на среднем – 50,7 % и на нижнем – 26,3 %. Ряды распределения количества деревьев по диаметру на всех высотных уровнях характеризуются положительной асимметрией и отрицательным эксцессом. Причем, абсолютные значения этих показателей закономерно увеличиваются с повышением высоты расположения древостоев: коэффициента асимметрии с 0.23 до 0.69, а коэффициента эксцесса - с  $-0,30$  до  $-0.54$ . Значения коэффициентов асимметрии и эксцесса достоверны на 5 % уровне, т.е. экспериментальные кривые не подчиняются нормальному закону.

Изменчивость высот деревьев в исследуемых древостоях значительно ниже, чем их диаметров. Значения коэффициентов варьирования высот (как и диаметров) деревьев закономерно увеличиваются с повышением высоты над уровнем моря (17.2% - на нижнем уровне, 37.8% - на среднем и 38.2% - на верхнем). Следует отметить, что в специальной литературе варьирование высот обычно характеризуется коэффициентом 5–12 %. Коэффициент асимметрии рядов распределения деревьев по высоте с увеличением высоты над уровнем моря с отрицательных значений переходит в положительные ( $-0.59$  на нижнем уровне,  $0.01$  – на среднем и  $0.47$  – на верхнем). В целом мода распределения высот деревьев относительно моды распределения диаметров находится правее, что вполне согласуется с литературными данными. Кривые распределения деревьев по высоте характеризуются отрицательным эксцессом, значения которого увеличиваются с  $-0.08$  на нижнем уровне до  $-0.48$  на верхнем.

Обобщая все вышесказанное, следует отметить, что изменчивость диаметра и высоты, и характер их распределения в древостоях разных высотных уровней значительно отличаются. Значение коэффициентов варьирования этих показателей в большинстве случаев превышают данные, приводимые в специальной литературе.

#### 4.3. Взаимосвязь диаметра и высоты деревьев

В литературе отмечается, что у одиночно растущих деревьев соотношение диаметра и высоты величина постоянная и изменение соотношений между этими показателями (появление криволинейной зависимости) в основном обуславливается не возрастом деревьев, а уровнем конкуренции (Юкнис, 1983). Анализ графиков, приведенных на рис. 4.2,

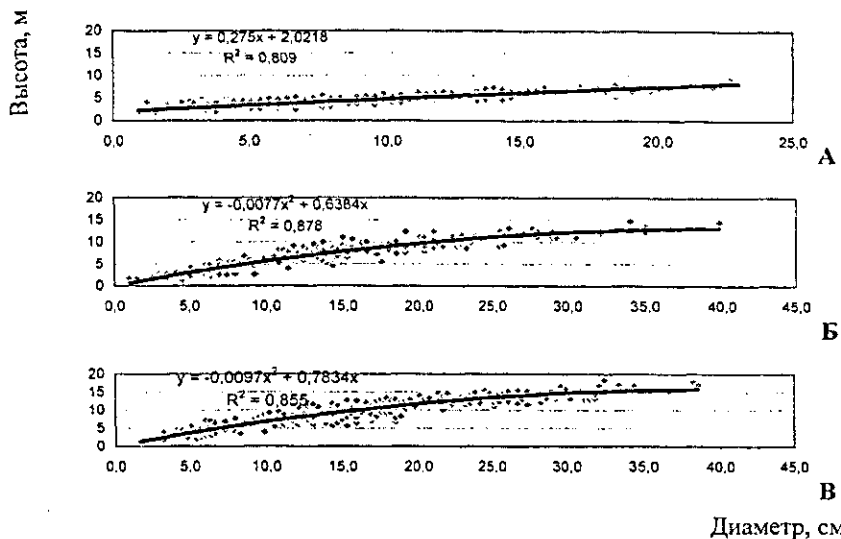


Рис. 4.2 Связь высоты и диаметра деревьев ели на разных высотных уровнях: А – верхний уровень; Б – средний; В – нижний.

позволяет отметить следующее. На верхнем уровне связь высоты и диаметра деревьев ели на всем протяжении роста выражается прямой линией, а соотношение этих показателей – величина постоянная. Прямолинейная пропорциональность означает отсутствие конкуренции между деревьями. Такое положение объясняется тем, что на данном высотном уровне деревья растут практически в изолированном состоянии (древостои сильно разрежены).

На среднем и нижнем высотных уровнях связь высоты и диаметра деревьев криволинейна. Причем наблюдается увеличение криволинейности по мере снижения высоты над уровнем моря. Об этом свидетельствуют и расположение экспериментальных точек на графиках и значения коэффициентов при  $X^2$  в уравнениях зависимости. При снижении высоты над уровнем моря увеличивается густота и полнота насаждений, а, следовательно, и конкурентные взаимоотношения между деревьями, которые являются основной причиной нарушения постоянства соотношений между диаметром и высотой деревьев.

При одинаковом диаметре высота деревьев закономерно снижается с повышением высоты над уровнем моря. Так, высота деревьев диаметром 20 см в среднем составляет на нижнем уровне около 12 м, на среднем – 9,5 м, а на верхнем – менее 8 м. Таким образом, по мере поднятия в гору меняется разряд высот. Ход изменения высоты по ступеням диаметра меняется с высотой над уровнем моря. Поэтому кривая высот древостоя конкретно-

го высотного уровня не является частью (отрезком) кривой высот какого-либо разряда из разрядной шкалы высот, применяемой при таксации сомкнутых древостоев на равнинной местности.

#### 4.4. Относительная высота деревьев

Известно, что дифференциация деревьев и конкурентные взаимоотношения между ними наиболее полно оцениваются при помощи относительной высоты  $H:D$ . На рис. 4.3 представлено фактическое распределение

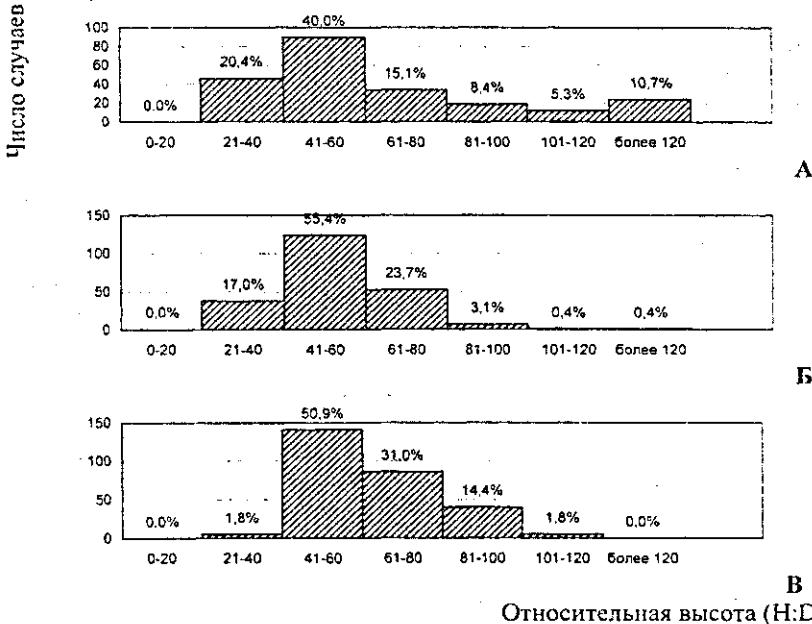


Рис. 4.3 Распределение деревьев ели по показателю относительной высоты на высотных уровнях: А – верхний уровень; Б – средний; В – нижний.

деревьев ели по показателю относительной высоты в разрезе высотных уровней. Максимальное количество деревьев на всех уровнях имеют относительную высоту от 41 до 60. По данным многих исследователей в сомкнутых древостоях этот показатель у большинства деревьев превышает 80.

Распределение деревьев по величине относительной высоты не равномерное. На наш взгляд, это объясняется неравномерной полнотой и густотой исследуемых древостоев. Здесь деревья территориально располагаются в основном достаточно изолированными друг от друга био группами той или иной величины. Причем деревья, расположенные в центре био-

группы, и на ее периферии по-разному испытывают эффект загущенности и отличаются разными значениями отношения прироста по высоте к приросту по диаметру ( $Z_h : Z_d$ ). Кроме того, в данных древостоях встречаются и отдельно растущие деревья (практически в изолированном состоянии). Естественно, эти деревья, при прочих равных условиях, характеризуются еще меньшими значениями  $Z_h : Z_d$ , чем деревья растущие в биогруппах.

Следует также отметить, что в исследуемых насаждениях встречаются многоствольники – деревья, имеющие общую корневую систему и произрастающие густыми куртинами. Причем, такие куртины могут насчитывать свыше 15-20 стволов. Количество многоствольных форм заметно увеличивается с повышением высоты над уровнем моря. Именно это обстоятельство объясняет, на наш взгляд, наличие на верхнем уровне (при очень низкой полноте) значительного количества деревьев с относительными высотами более 120.

Таким образом, наличие в исследуемых насаждениях достаточно обособленных био групп, многоствольных форм и отдельно растущих деревьев обуславливает достаточно широкий диапазон варьирования относительных высот и неравномерность распределения деревьев по ступеням данного показателя.

Известно, что напряженность роста и степень конкурентных взаимоотношений между деревьями становятся опасными для существования насаждений, когда предельное значение  $H:D$  достигает величины более 100. По нашим данным, на верхнем уровне 83,9 %, на среднем – 99,2 % и на нижнем – 98,2 % общего числа деревьев не достигли этой предельной величины.

Средние значения относительной высоты деревьев, рассчитанные по десятилетиям возраста, свидетельствуют, что степень напряженности конкурентных взаимоотношений между деревьями закономерно снижается с увеличением высоты над уровнем моря. Это вполне объяснимо – по мере поднятия в гору уменьшаются густота и полнота древостоев. Показатель относительной высоты на каждом высотном уровне снижается с увеличением возраста деревьев. Однако, степень уменьшения этого показателя с возрастом на нижнем уровне значительно выше, чем на вышележащих уровнях (чем меньше полнота насаждения, тем в меньшей степени сказывается влияние возраста на относительную высоту).

Наши данные по относительной высоте значительно ниже, чем данные из ТХР, взятые для сравнения. В целом напряженность роста и степень конкуренции взаимоотношений между деревьями даже на нижнем уровне не опасны для существования насаждений.

#### 4.5. Распределение деревьев по диаметру крон

Сведения об особенностях распределения деревьев по размерам крон довольно ограничены, а в условиях верхней границы леса данный вопрос

практически не изучен. Результаты математико-статистической обработки экспериментального материала позволяют отметить следующее. Средние значения диаметра крон закономерно снижаются с уменьшением высоты над уровнем моря. Средний диаметр кроны составляет на нижнем уровне 2,9 м, на среднем – 3,2 м и на верхнем – 4,1 м. Такое положение объясняется соответствующими изменениями густоты и полноты древостоев.

Коэффициент вариации диаметра крон в исследуемых ельниках изменяется от 27,4 до 48,6 %. С увеличением высоты расположения древостоев изменчивость этого показателя закономерно возрастает. Коэффициент асимметрии рядов распределения с увеличением высоты над уровнем моря с отрицательных значений переходит в положительные (-0,33 на нижнем уровне, 0,52 – на верхнем). Кривые распределения деревьев по диаметру крон в основном характеризуются отрицательным эксцессом, максимальное значение которого (-0,66) наблюдается на нижнем уровне.

Таким образом, приведенные выше материалы свидетельствуют, что статистические показатели рядов распределения количества деревьев по диаметру кроны зависят от высоты над уровнем моря и подтверждают ранее сделанный вывод о том, что древостои разных высотных уровней не могут быть отнесены к единой статистической совокупности.

#### 4.6. Взаимосвязь диаметра крон с размерами стволов

Известно, что соотношения между размерами крон и стволов в процессе роста деревьев меняется в широких пределах в зависимости от условий роста и, прежде всего, с изменением полноты древостоев (Lembke, 1956; Юкнис, 1983).

Форма связи между диаметрами стволов и крон зависит от высоты расположения древостоев относительно уровня моря: на верхнем уровне рассматриваемая связь прямолинейна, а на нижележащих уровнях – криволинейна и достаточно полно описывается уравнением кривой второго порядка без свободного члена (рис 4.4).

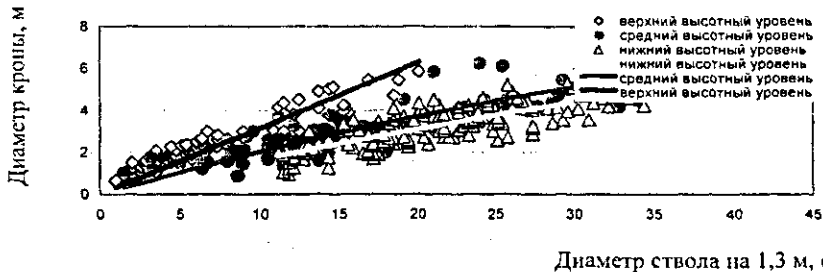


Рис. 4.4 Связь диаметра ствола с диаметром кроны у деревьев ели по высотным уровням.

Теснота связей закономерно уменьшается с понижением высоты над уровнем моря (коэффициент детерминации равен на верхнем уровне 0.82, на среднем-0.78, на нижнем-0.68) Увеличение криволинейности и снижение тесноты связи между диаметром кроны и диаметром ствола объясняется повышением конкуренции между деревьями с увеличением полноты.

Связь между диаметром кроны и высотой ствола на всех высотных уровнях близка к прямолинейной. Однако лучшие результаты при выравнивании опытных данных обеспечивает степенная функция (рис. 4.5).

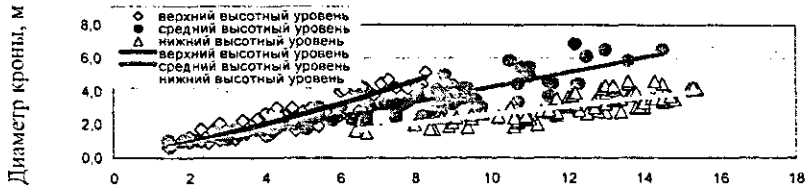


Рис. 4.5 Связь высоты ствола с диаметром кроны у деревьев ели по высотным уровням.

Теснота связи между рассматриваемыми показателями уменьшается с понижением высоты расположения древостоев (коэффициент детерминации равен на верхнем уровне 0.84, на среднем-0.82, на нижнем-0.72). Обращает на себя внимание более тесная связь диаметра кроны с высотой стволов, чем с их диаметром.

Следует отметить еще одну особенность исследуемых связей: при одинаковых значениях диаметра и высоты стволов диаметр кроны увеличивается с повышением высоты над уровнем моря. Это объясняется изменением ранга деревьев одинаковых размеров и полноты древостоев по мере продвижения в гору. Известно, что ранг деревьев одинаковой толщины увеличивается с уменьшением возраста и ухудшением условий местопроизрастания. В нашем случае, с повышением высоты над уровнем моря ухудшаются условия роста, уменьшаются возраст и полнота древостоев. Поэтому деревья одинакового диаметра и высоты на верхнем уровне характеризуются лучшим ранговым положением и, соответственно, большим диаметром кроны, чем на нижележащих уровнях.

В целом, результаты данных исследований свидетельствуют, что связи диаметра кроны с размерами стволов имеют отличительные особенности в зависимости от высоты произрастания насаждений относительно уровня моря. Эти особенности, безусловно, должны быть учтены при лесоводственно-биологических и таксационных работах на верхней границе леса. В частности, их учет значительно повысит точность при дешифровочном методе таксации лесных массивов.

## Глава 5. Особенности хода роста деревьев ели на верхней границе леса

Основной целью данных исследований явилось выявление особенностей хода роста деревьев ели разных возрастных поколений в зависимости от высоты над уровнем моря. Известно, что в любом древостое особенности роста деревьев определяются их ранговым положением. Поэтому на первом этапе исследований производилась оценка рангов деревьев и группировка их в ранговые группы.

### 5.1. Выделение ранговых групп деревьев

Ранговое положение деревьев в конкретных древостоях определяется размерами стволов и развитием крон. Большинство исследователей при решении тех или иных задач применяют ранжирование деревьев по диаметру (Маслаков, 1981; Соловьев, 2006; и др.). Для получения надежных результатов при исследовании хода роста на каждом высотном уровне в пределах возрастных поколений с учетом распределения деревьев по диаметру были выделены 5 условных ранговых групп деревьев. В первую ранговую группу вошли деревья 0-20 рангов, во вторую – 21- 40 рангов, в третью – 41-60 рангов, в четвертую – 61-80 рангов и в пятую – 81-100.

Дифференцированные по возрастным поколениям и ранговым группам исследования дали возможность сравнивать ход роста деревьев примерно одинакового возраста, занимающих одинаковое ранговое положение, но произрастающих на разных высотных уровнях.

### 5.2. Ход роста по диаметру

Диаметры деревьев ели одноименной ранговой группы закономерно увеличиваются при одинаковом возрасте со снижением высоты над уровнем моря, а при одинаковой высоте над ур. м. – с увеличением возраста.

Как было указано выше, для всех модельных деревьев определялись диаметры по годам их жизни. На рис.5.1 показан ход роста деревьев 5 ран-

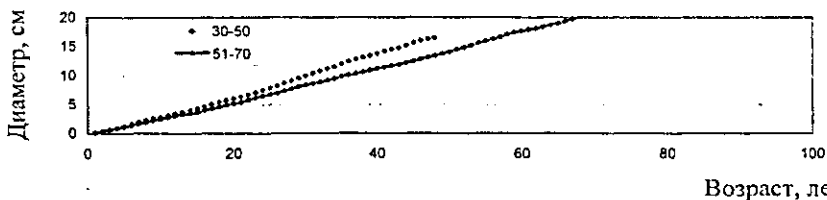


Рис 5.1. Возрастная динамика диаметра деревьев пятой ранговой группы на верхнем высотном уровне

говой группы двух возрастных поколений на верхнем высотном уровне. Деревья этой ранговой группы наиболее стабильны в отношении сохранения рангового статуса в процессе онтогенеза. Выявляется, что кривые роста деревьев по диаметру в суровых условиях верхней границы леса в исследуемом возрастном интервале характеризуются отсутствием затухаю-

шей части. Это свидетельствует о том, что точки второго перегиба кривых находятся за пределами исследуемого возрастного периода. Оказалось, что уравнение 2-го порядка без свободного члена дает хорошее приближение к опытным данным практически во всех вариантах исследований хода роста. Полученные уравнения связи диаметра деревьев с возрастом характеризовались коэффициентами детерминации более 0,95, следовательно, вполне адекватно описывают исследуемые зависимости. На основе этих уравнений составлены таблицы возрастной динамики диаметров деревьев. Фрагмент полученных результатов показан в табл. 5.1.

Анализ полученных данных позволяет отметить следующее. На одном и том же высотном уровне ход роста деревьев одноименных ранговых групп в значительной мере определяется принадлежностью их к тому или иному возрастному поколению. Причем на верхнем и среднем уровнях рост деревьев ели по диаметру протекает тем интенсивнее, чем они моложе. Так, при одинаковом возрасте по пятой ранговой группе превосходятся деревья первого возрастного поколения (30-50 лет) над деревьями третьего возрастного поколения (71-90 лет) по диаметру в относительном выражении составляет 29,9 – 51,8 %. Примерно такие же результаты наблюдаются на верхнем высотном уровне. У деревьев низших рангов отмеченные закономерности несколько завуалированы, что возможно связано с ранговыми перестройками в процессе роста деревьев.

Как отмечалось выше, на верхнем и среднем высотных уровнях, густота (полнота) древостоев не может являться существенным фактором, определяющим ход роста деревьев. Поэтому мы склонны считать, что отмеченная закономерность связана с улучшением климатической обстановки в регионе в последние десятилетия. Деревья, появившиеся в более позднее время на склонах г. Малый Ирмель, попадали в более благоприятную климатическую обстановку (в более мягкие погодные условия).

Таблица 5.1 Изменение диаметров деревьев 5 ранговой группы разных возрастных поколений с возрастом по высотным уровням

| Возраст, лет | Верхний уровень      |       |       | Средний уровень      |       |       |
|--------------|----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|              | Возрастные поколения |       |       | Возрастные поколения |       |       |
|              | 30-50                | 51-70 | 71-90 | 30-50                | 51-70 | 71-90 |
| 20           | 6,2                  | 5,3   |       | 3,6                  | 7,1   | 2,6   |
| 40           | 13,6                 | 11,1  |       | 14,9                 | 15,5  | 8,1   |
| 60           | 22,4                 | 17,4  |       | 33,7                 | 24,9  | 16,6  |
| 80           |                      | 24,3  |       |                      | 35,6  | 27,9  |
| 100          |                      |       |       |                      |       | 42,2  |

На нижнем высотном уровне наблюдается совершенно иная картина. Линии хода роста по диаметру более молодых деревьев ели располагаются ниже, чем более старых. Таким образом, деревья молодого поколения отличаются менее интенсивным ростом по диаметру, чем деревья старшего возрастного поколения. Такое положение объясняется конкурентными



взаимоотношениями между деревьями. На данном высотном уровне древостой характеризуются более высокой полнотой (табл. 3.1). Деревья молодого возрастного поколения появились под пологом древостоя старшего поколения, поэтому находились под постоянным прессом. О конкурентных взаимоотношениях между деревьями на нижнем высотном уровне свидетельствует и отсутствие здесь более молодых деревьев (30-50 лет).

На ход роста деревьев ели по диаметру оказывает влияние и высота над уровнем моря. При сопоставлении хода роста деревьев, принадлежащих одному возрастному поколению и одной ранговой группе, обнаруживается, что интенсивность прироста повышается с уменьшением высоты расположения древостоев. Это вполне логично, так как с понижением высоты улучшается и климатическая обстановка и почвенные условия.

Обращает на себя внимание еще одна особенность роста исследуемых деревьев. Даже у деревьев старших возрастных поколений не выражено не только ожидаемое падение прироста по диаметру с возрастом, но и во многих случаях наблюдается повышение интенсивности прироста в последние 30 – 50 лет.

### 5.3. Ход роста по высоте

Возрастная динамика высот нами изучалась по той же методике, что и динамика диаметров: выявились особенности роста деревьев на разных высотных уровнях по возрастным поколениям, а в пределах их – ранговым группам. Выявлено, что кривые роста по высоте практически на всех графиках (как и кривые роста по диаметру) характеризуются только возрастающей частью, то есть еще не достигли точек второго перегиба и достаточно точно аппроксимируются уравнением второго порядка. Об этом свидетельствуют коэффициенты детерминации, значения которых колеблются от 0,98 до 0,99.

Наблюдается достаточно высокая сопряженность роста деревьев по диаметру и высоте на верхнем и среднем высотных уровнях. Она свидетельствует о незначительной конкуренции между деревьями. На верхнем и среднем высотных уровнях, где ценоотические факторы не являются определяющими, влияние принадлежности деревьев к тому или иному возрастному поколению на ход роста по высоте менее существенно, чем на ход роста по диаметру. Линии хода роста по высоте у молодых и старых деревьев располагаются очень близко друг к другу. Однако при анализе хода роста деревьев высших классов роста (5 ранговой группы) по высоте выявляется та же закономерность, которая была обнаружена в отношении роста деревьев по диаметру: линии хода роста по высоте у молодых деревьев располагаются заметно выше, чем аналогичные линии более старых.

На нижнем высотном уровне ход роста деревьев ели по высоте протекает аналогично ходу роста по диаметру – на фоне конкурентных взаимоотношений между деревьями. Деревья молодых возрастных поколений ха-

рактируются менее интенсивным ростом по высоте, чем деревья старших поколений. Причем в этом случае различия по высоте в одинаковом возрасте между деревьями разных поколений более существенны, чем по диаметру. На ход роста деревьев по высоте, как и на ход роста по диаметру оказывает влияние фактор высоты над уровнем моря. Интенсивность роста деревьев, принадлежащих одному возрастному поколению и одной ранговой группе, повышается с уменьшением высоты над уровнем моря.

#### 5.4. Ход роста по объему

Объем ствола является функцией трех показателей – диаметра, высоты и формы. Поэтому возрастной динамике объемов деревьев присущи те же закономерности, которые были отмечены выше в отношении диаметров и высот: на верхнем и среднем высотных уровнях кривые роста деревьев по объему молодых возрастных поколений располагаются заметно выше, чем аналогичные кривые старших поколений (рис. 5.2), а на нижнем уровне, наоборот, интенсивность роста по объему при одинаковом возрасте выше у более старых деревьев.

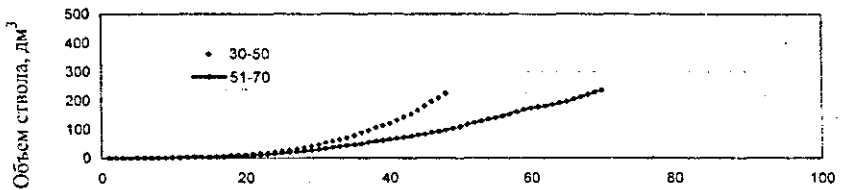


Рис 5.2. Возрастная динамика объема деревьев пятой ранговой группы на верхнем высотном уровне

Следует отметить, что деревья разных возрастных поколений при одинаковом возрасте отличаются по объему на верхнем и среднем уровнях на большие относительные величины, а на нижнем уровне – на меньшие, чем по диаметру и высоте. На наш взгляд, это объясняется более высокой полндревесностью деревьев молодых поколений. Известно, что при прочих равных условиях видовое число увеличивается с уменьшением высоты деревьев.

## Глава 6. Влияние климатических факторов на рост деревьев ели

### 6.1. Изменения климата по данным инструментальных наблюдений

При анализе инструментальных данных метеостанций региона были выявлены высокие связи (0,82-0,98) между значениями средних месячных температур отдельных месяцев даже для удаленных друг от друга метеостанций. Это указывает на достаточно большую согласованность изменений термических условий в регионе.

### 6.2. Характеристика и анализ древесно-кольцевых хронологий

Для построения качественной обобщенной хронологии требуется не менее 10 индивидуальных хронологий, поэтому по причине отсутствия в некоторых ранговых группах необходимого количества повторностей, хронологии были объединены в две группы по темпам роста: медленнорастущие деревья (М) – 1-3 ранговых групп и быстрорастущие (Б) – 4 и 5.

Наибольший временной интервал охватывает обобщенная хронология на нижнем высотном уровне (табл. 6.1). Стандартное отклонение увеличивается при снижении высоты над ур. моря и колеблется от 11,6 до 29,0.

Таблица 6.1 Статистические характеристики хронологий

| Показатели                                   | Высотные уровни |      |         |      |        |
|--|-----------------|------|---------|------|--------|
|  | верхний         |      | средний |      | нижний |
| Высота над ур. м., м                         | 1300            |      | 1260    |      | 1210   |
| Группы по темпам роста                       | Б               | М    | Б       | М    | Б      |
| Длительность индивидуальных хронологий, лет  | 91              | 79   | 87      | 87   | 114    |
| Число лет, обеспеченное более чем 10 сериями | 52              | 52   | 54      | 54   | 75     |
| Стандартное отклонение                       | 11,6            | 14,8 | 18,8    | 28,7 | 29,0   |

На рис.6.1 представлены усредненные индексы прироста по всем высотным уровням. После построения и анализа генерализованных хронологий для различных радиусов по всем деревьям (группам и высотным уровням) стало хорошо видно, что наиболее высокие связи существуют между южным и западным ( $r=0.89$ ) и восточным и северным радиусами ( $r=0.85$ ).

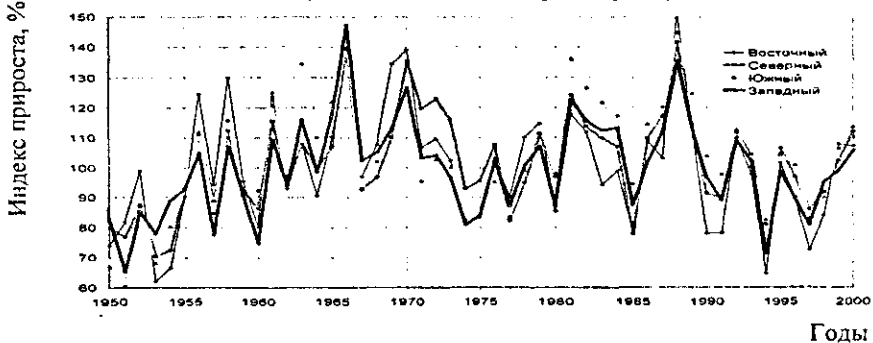


Рис. 6.1 Индексы прироста по сторонам света всех деревьев на всех высотных уровнях

На наш взгляд, разделение хронологий по радиусам на две группы (юг-запад и север-восток) можно наиболее вероятно объяснить лишь влиянием на радиальный прирост деревьев на верхнем пределе их произрастания сильных ветров, которые вызывают раскачивание и кренение стволов по

господствующему юго-западному направлению. Поэтому по северо-восточному радиусу у некоторых деревьев возможно формируется компрессионная древесина, как правило, отличающаяся более узкими годичными кольцами по сравнению с противоположенным направлением.

На рис. 6.2. хорошо заметно, что амплитуды колебаний индексов прироста у медленнорастущих деревьев на верхнем и среднем уровнях значительно больше, чем у быстрорастущих. Это подтверждается и при статистическом анализе – стандартное отклонение медленнорастущих на обоих уровнях всегда выше, чем у быстрорастущих деревьев (см. табл. 6.1). Данный факт указывает на то, что медленнорастущие деревья в нашем случае могут быть наиболее чувствительными к изменению факторов среды.

На различную норму реакции быстро и медленнорастущих деревьев также указывает и тот факт, что коэффициенты корреляции между ними всегда чуть ниже для хронологий с одного высотного уровня, чем между быстрорастущими или медленно растущими с разных уровней.

При сравнении хронологий быстро- и медленнорастущих деревьев, произрастающих на разных высотных уровнях (табл. 6.1 и рис.6.2) видно, что амплитуды колебаний индексов прироста у деревьев с верхнего уровня ниже, чем у деревьев на нижних уровнях. Приведенные выше результаты указывает на то, что деревья с нижних уровней могут быть более чувствительными к изменению основных контролирующих рост факторов среды, чем произрастающие на верхнем уровне.

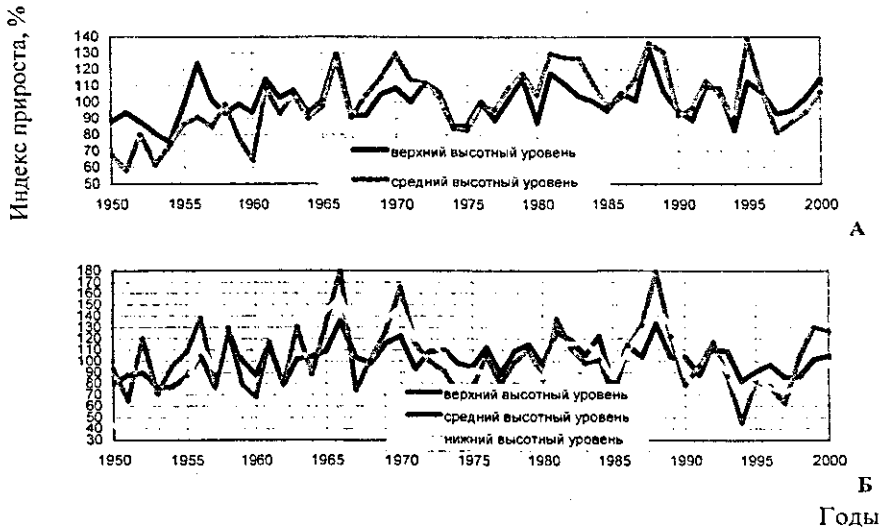


Рис.6.2 Сравнение индексов прироста между высотными уровнями деревьев ели: А – быстрорастущие, Б – медленнорастущие

Результаты кластерного анализа указывают на то, что хронологии деревьев различных групп по темпам роста на верхнем уровне все же ближе друг к другу чем, с другими хронологиями. При этом медленнорастущие деревья на среднем уровне оказываются чуть ближе к медленнорастущим на нижнем уровне, чем с быстрорастущими на среднем уровне.

При визуальном сравнении полученных нами и приведенных в работах С.Г. Шиятова (1986, 2001) древесно-кольцевых хронологий для горы Дальний Таганай и Ирмель, отмечается средняя и высокая синхронность в проявлении периодов увеличения и уменьшения индексов прироста у деревьев ели. Следует отметить, что коэффициент корреляции между индексами прироста нашей генерализованной хронологии и хронологии по Д. Таганю составляет 0,85 и указывает на высокую согласованность изменений радиальных приростов в ответ на изменения климатических факторов на достаточно большом удалении в высокогорьях Южного Урала.

### 6.3. Влияние климатических факторов на радиальный прирост

В результате многофакторного корреляционного анализа были выявлены связи между индексами прироста и температурами и осадками: весенними и осенними предшествующего года (март, апрель, сентябрь, октябрь) и летними текущего года (июль, август) (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Частные коэффициенты корреляции между индексами прироста и средней температурой и суммой осадков в 1955 - 1996 гг.

| Год            | Независимые переменные | Быстророст. | Медленнорост. | Восток | Север | Юг    | Запад | Все   |
|----------------|------------------------|-------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                | R <sup>2</sup>         | 0,49        | 0,54          | 0,64   | 0,65  | 0,51  | 0,59  | 0,64  |
| Предшествующий | Тем. мар.              |             | -0,41         | -0,44  | -0,36 | -0,32 | -0,23 | -0,33 |
|                | Тем. сен.              | 0,24        | 0,32          | 0,29   | 0,36  | 0,36  | 0,31  | 0,30  |
|                | Тем. окт.              |             | -0,42         | -0,41  | -0,37 | -0,33 | -0,39 | -0,37 |
|                | Осадки апр.            | 0,26        | 0,32          | 0,41   | 0,35  | 0,19  | 0,20  | 0,31  |
|                | Осадки сен.            |             |               |        |       | 0,25  |       |       |
|                | Осадки окт.            | -0,44       |               |        | -0,55 | -0,56 | -0,38 | -0,58 |
| Текущий        | Тем. июл.-авг.         | 0,42        |               |        | 0,26  | 0,22  | 0,33  | 0,28  |
|                | Осадки июл.-авг.       |             | -0,42         | -0,47  | -0,26 | -0,34 | -0,24 | -0,32 |

Данные таблицы подтверждают ранее высказанное предположение об более высокой чувствительности медленнорастущих деревьев и хронологий, построенных по восточному и северному радиусам, к изменениям климатических параметров.

### Заключение

Верхняя граница леса в центральной, наиболее возвышенной части Южного Урала представлена абсолютно разновозрастными еловыми дре-

востоями без ярко выраженных поколений. С увеличением высоты над уровнем моря существенно понижаются средние значения возраста, диаметра и высоты деревьев и повышается средний диаметр крон.

Распределения деревьев по возрасту, размерам стволов и крон носят вполне закономерный характер, что с биологических позиций характеризует исследуемые древостои как сформировавшиеся природные объекты. Однако, характер распределений деревьев по таксационным признакам существенно различается в зависимости от высоты расположения древостоев над уровнем моря. Так, на верхней границе леса, древостои, различающиеся высотой расположения над уровнем моря на 50 м, следует относить к разным статистическим совокупностям.

Зависимость высоты и диаметра деревьев на верхнем высотном уровне прямолинейна. Прямая пропорциональность между этими показателями нарушается со снижением высоты, что является следствием увеличения полноты древостоев и усиления конкурентных взаимоотношений между деревьями. Ход изменения высот по ступеням диаметра в исследуемых древостоях отличается от кривых высот разрядной шкалы, применяемой при таксации сомкнутых древостоев.

Ельники на верхней границе леса характеризуются широким диапазоном варьирования относительных высот и неравномерным распределением деревьев по ступеням этого показателя. Такое положение является отражением особенностей формирования насаждений в данных условиях — наличием достаточно обособленных био групп, многоствольных форм ели. Значения относительных высот существенно ниже, чем в нормальных еловых насаждениях.

Ход роста деревьев ели на верхней границе леса по основному таксационным показателям (диаметру, высоте и объему) не подчиняется общеизвестной закономерности роста деревьев, выражаемой S-образной кривой. В подавляющем большинстве случаев кривые хода роста характеризуются отсутствием затухающей части. Не выражено не только ожидаемое падение приростов с возрастом, но и во многих случаях наблюдается повышение интенсивности прироста в последние 30 – 50 лет.

На высотных уровнях (верхнем и среднем), где древостои характеризуются очень низкой полнотой (и как следствие, отсутствием жестких конкурентных взаимоотношений между индивидами), темпы роста деревьев в онтогенезе по всем показателям тем интенсивнее, чем они моложе. На нижнем уровне в более высокополнотных насаждениях, наоборот, деревья более молодых возрастных поколений отличаются менее интенсивным ростом, чем деревья старших поколений. Это положение объясняется конкурентными взаимоотношениями между деревьями.

На верхней границе леса изменения закономерностей распределения деревьев по таксационным показателям и характера взаимосвязей между ними существенны при незначительных перепадах высоты над уровнем

моря. Поэтому верхнюю границу леса следует рассматривать как специфический объект таксации, где применение существующих лесотаксационных нормативов будет не всегда корректным.

Основными факторами, оказывающими влияние на рост деревьев на верхней границе леса являются летние температура и осадки текущего года (июль, август), весенние температура и осадки предшествующего года (март, апрель) и осенние температура и осадки предшествующего года (сентябрь, октябрь).

В целом, полученные материалы, свидетельствуют о значительном улучшении климатической обстановки и повышении верхней границы леса в последние десятилетия.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. **Бабенко Т.С., Фастовец А.А., Нагимов З.Я.** Структура деревьев ели в высокогорьях Южного Урала // Материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. С. 74 – 75.
2. **Бабенко Т.С., Нагимов З.Я.** Определение возраста с использованием перекрестной датировки // Материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. С. 47 – 48.
3. **Бабенко Т.С., Нагимов З.Я., Моисеев П.А.** Годичный прирост и возрастная структура Ели сибирской на пределе ее распространение (Южный Урал, М. Иремель) // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 26. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 134-141.
4. **Babenko T., Moiseev P., Koshkina N.** Radial growth and age structure of Siberian spruce stands within the South Urals treeline ecotone, Russia // Climate changes and their impact on boreal and temperate forests. Ekaterinburg: USFEU, 2006. P. 10-11.
5. **Бабенко Т.С., Нагимов З.Я., Моисеев П.А.** Радиальный рост и возрастная структура ели сибирской на верхней границе леса // Материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. С. 10 – 12.
6. **Бабенко Т.С., Нагимов З.Я., Моисеев П.А.** Особенности хода роста ели сибирской на верхнем пределе ее распространения (Южный Урал, массив Иремель) // Экология. 2007. № 1. в печати

Подписано в печать 22.11.06. Заказ № 433. Тираж 100. Объем 1,0 п. л.  
620100 г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37  
Уральский государственный лесотехнический университет.  
Отдел оперативной полиграфии.

