Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Воронежская государственная лесотехническая академия»

С.М. Матвеев Д.Е. Румянцев

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯ

Рекомендовано УМО по образованию в области лесного дела в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 250100.62 «Лесное дело» (квалификация (степень) «бакалавр»)

2-е издание, переработанное и дополненное

Воронеж 2013

УДК 630*561.24 (075)
М33

Печатается по решению учебно-методического совета
ФГБОУ ВПО «ВГЛТА» (протокол № 1 от 26 октября 2012 г.)

Рецензенты: главный научный сотрудник ФГБУ науки
Институт лесоведения РАН д-р биол. наук, ст. научный
сотрудник М.Г. Романовский;
заведующий кафедрой экологии и защиты леса
ФГБОУ ВПО «МГУЛ» канд. биол. наук, доц. В.А. Липаткин

Матвеев, С. М.

М33 Дендрохронология [Текст] : учебное пособие / С. М. Матвеев, Д. Е. Румянцев ; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – 2-е изд., перераб. и доп. – Воронеж, 2013. – 140 с.

ISBN 978-5-7994-0535-9 (в пер.)

В учебном пособии излагаются основы дендрохронологии и дендроклиматологии, история развития и современный уровень науки. Освещены крупнейшие дендрохронологические школы в мире и в России. Рассмотрены особенности формирования прироста по диаметру и факторы, влияющие на его изменчивость, цикличность в динамике прироста деревьев и ее связь с солнечной активностью. Большое внимание уделено принципам и методам анализа годичных колец деревьев. Показаны возможности использования методов дендрохронологического анализа в лесном хозяйстве, для реконструкции и прогнозирования климатических условий, для индикации антропогенных воздействий на лесные экосистемы.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 250100 – Лесное дело.

УДК 630*561.24 (075)

© Матвеев С.М., 2001
© Матвеев С.М., Румянцев Д.Е., 2013, с изменениями
© ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», 2013

ISBN 978-5-7994-0535-9

Предисловие к первому изданию

Информация, содержащаяся в многолетней динамике прироста древесных пород (годичных кольцах) широко используется при решении фундаментальных и прикладных задач экологии, лесоведения, лесоводства и других областей естественных наук. Особенно интенсивное развитие дендрохронология и ее раздел дендроклиматология получили в связи с использованием результатов и методов этих наук в системе экологического мониторинга, в том числе и мониторинга лесных экосистем.

В основу учебного пособия положены лекции, прочитанные С.М. Матвеевым на кафедре лесоводства лесохозяйственного факультета ВГЛТА по дендрохронологии – новой дисциплине, впервые включенной в учебный процесс в 1998 г., а также дендроклиматические исследования автора.

В учебном пособии нашли отражение современные достижения в области дендрохронологии и дендроклиматологии. Весьма ценен общий экологический подход при анализе многолетней динамики прироста древесных пород, предполагающий учет особенностей лесорастительных условий и типов леса, а также лимитирующих факторов роста в формировании многолетней изменчивости прироста древесных пород, проявляющейся в иерархии циклов, обусловленной солнечной активностью.

В пособии последовательно излагаются: предмет дендрохронологии, области применения, история становления и развития на примере основных школ, сформировавшихся в различных странах, в том числе в СССР и России, методы дендроклиматического анализа; цикличность роста деревьев в связи с солнечной активностью и климатическими факторами, основы использования дендроклиматического анализа для индикации состояния окружающей среды и лесных экосистем; показана возможность прогнозирования состояния лесных экосистем и учета цикличности их развития при проведении различных лесохозяйственных мероприятий. В учебном пособии нашли отражение результаты не только отечественных, но и зарубежных исследований.

Профессор, доктор биологических наук В.И. Таранков

Предисловие авторов ко второму изданию

Второе издание учебного пособия «Дендрохронология» существенно переработано с учётом развития науки за прошедший 10-летний период. Кроме того, в него включены разделы, разработанные профессором Московского государственного университета леса, доктором биологических наук Д.Е. Румянцевым. Основная структура книги сохранена как прошедшая апробацию и показавшая хорошие результаты при освоении студентами одноимённой учебной дисциплины.

1. ПРЕДМЕТ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ И ДЕНДРОКЛИМАТОЛОГИИ

Предмет, или научное направление, с которым вам предстоит познакомиться в этой книге, носит название «дендрохронология». Эта сравнительно молодая и быстро развивающаяся область научных исследований возникла на стыке целого ряда наук: биологии, экологии, географии, климатологии, археологии, лесоводства и др.

О молодости этой научной дисциплины можно судить даже по тому, что название ее многие специалисты определяют по-разному (в зависимости от области применения, направленности исследований авторов и т.д.). Например, в первой в России бесспорно дендрохронологической работе профессора Ф.Н. Шведова, опубликованной в 1892 г., автор назвал свои исследования дендрометрическими. Изданный в 1995 г. в г. Брно (Чехия) учебник по этой дисциплине называется «Дендрометрия» и в скобках – «Дендрохронология». Н.В. Ловелиус, один из ведущих российских дендрохронологов, определил свои исследования как «Дендроиндикацию природных процессов и антропогенных воздействий» (1979). Монография Т.Т. Битвинскаса (1974) – первая книга, в которой изложена подробная методика дендрохронологических исследований, – названа «Дендроклиматические исследования». Изданная в 1993 г. монография ведущего швейцарского дендрохронолога, профессора Ф. Швейнгрубера, названа «Дендроэкология», а периодический журнал, освещающий вопросы этой науки и публикуемый в Европе на нескольких языках, называется «Дендрохронология».

В настоящее время имеется немало определений дендрохронологии. Например, предложенное американским дендрохронологом Г. Фритсом (1968): «Дендрохронология – систематическое изучение древесных колец с целью датирования событий прошлого и оценки климатических изменений».

Дендрохронологию часто подразделяют на дендроклиматологию, которая занимается реконструкцией прошлых климатических условий, и собственно дендрохронологию, которая лишь датирует годичные кольца и события прошлого. Профессор С.Г. Шиятов, основатель и руководитель крупнейшей в России школы дендрохронологов (Екатеринбург), считает такое подразделение искусственным, так как дендроклиматологическое (дендроклиматическое) исследование обязательно включает в себя дендрохронологическую часть. Это деление в основном используется для того, чтобы подчеркнуть основную цель того или другого исследования (хронологическую или климатологическую) (Шиятов, 1973). На наш взгляд, такое подразделение целесообразно и при ознакомлении с основными принципами и методами дендрохронологических исследований.

В.И. Таранков, профессор кафедры лесоводства ВГЛТА, основатель и руководитель современной Воронежской школы дендрохронологов, выделяет дендроклиматологию как раздел дендрохронологии и дает следующие определения этих дисциплин.

Дендрохронология, возникшая на стыке биологических, географических и исторических наук, изучает изменчивость годичного прироста (ширины годичных колец) деревьев для точного датирования времени образования годичных колец.

Дендроклиматология как раздел дендрохронологии занимается датированием годичных колец и выяснением связи динамики радиального прироста деревьев с изменением геофизических и климатических факторов в целях восстановления (реконструкции) и прогнозирования климата и солнечной активности.

Как видите, в этих определениях кратко сформулированы цели и задачи дендрохронологии и дендроклиматологии. Можно предложить и более краткие определения:

Дендрохронология – изучение изменчивости ширины годичных колец (годичного прироста) деревьев для точного датирования времени их образования.

Дендроклиматология – изучение годичных колец деревьев с целью оценки изменений климата.

Дендрохронология базируется на хорошей «памяти» деревьев, образующих лесные экосистемы, которые в структуре, химическом составе и размерах годичных колец прироста четко фиксируют все изменения, происходящие как внутри экосистемы, так и во внешних условиях, определяющих их развитие. Дендрохронология относится к комплексному наземному методу исследований, способному с достаточной достоверностью и хронологической точностью восстановить ход прошлого развития главного компонента лесной экосистемы – древостоя (Комин, 1990). Дендрохронолог занимается изучением погодичной изменчивости качественных и количественных характеристик слоев прироста и выявлением факторов внешней среды, которые определяют эту изменчивость (Шиятов, 1973). Установленные связи между климатическими условиями и приростом деревьев дают основание и для прогноза изменчивости продуктивности лесных насаждений. Для реконструкции климатов прошлого Земли используют различные косвенные признаки: показатели разного типа выветривания горных пород и осадконакопления, включая состав и строение осадочных пород, показатели гидрологических и других природных процессов, ископаемые останки животных и растений. Годичные кольца деревьев также несут в себе

информацию о климатических условиях прошлого и дают возможность прогнозирования будущих климатических изменений. Как справедливо отмечает А.А. Молчанов в книге «Дендроклиматические основы прогнозов погоды» (1976), «...лучше всего решает вопрос прогнозов погоды дендроклиматический метод» (очевидно, что речь идет о долгосрочном прогнозировании).

В изменчивости годичных колец деревьев также заключена информация о циклических колебаниях природных процессов. Древесные растения можно использовать в качестве индикаторов воздействия антропогенных факторов на лесные экосистемы. Эти вопросы решает ещё один раздел дендрохронологии – дендроиндикация.

Дендроиндикация – выявление естественных колебаний природных процессов и экологически значимых антропогенных изменений на основе реакции на них древесных растений и их сообществ.

Разумеется, дендроиндикацию можно рассматривать и в более широком смысле, чем раздел дендрохронологии, в зависимости от применяемых методов исследования.

Дендрохронологический анализ применяется во многих областях науки:

- в геофизике и астрономии для установления солнечно-земных связей;
- в палеоэкологии и археологии для восстановления климатов и экологических условий прошлого;
- в климатологии и метеорологии для выяснения климатических условий и сверхдолгосрочного прогнозирования;
- для изучения влияния климатических условий на изменение природы леса и возникновение лесных пожаров;
- для изучения возрастной структуры насаждений, смены пород, естественного возобновления;
- для прогнозирования продуктивности лесов и оценки лесохозяйственных мероприятий;
- для оценки влияния климата на водные ресурсы, речной сток и уровень воды в водоемах;
- для индикации частоты схода лавин и селей;
- для датирования вулканических извержений;
- в судебно-биологической экспертизе (контроль за законностью вырубки древесины);
- в гляциологии, гидролесомелиорации и т.д.

2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МИРЕ И В РОССИИ

2.1. Пионерные дендрохронологические работы

Установить, кто первый обратил внимание на различную ширину годичных колец деревьев и сопоставил эти изменения с климатом, разумеется, невозможно. Чередование годичных колец «хорошего» и «плохого» роста и их зависимость от климатических изменений были давно замечены лесорубами, охотниками, пастухами. Леонардо да Винчи в XV в. заметил, что в засушливых областях изменчивость ширины годичных колец зависит от осадков; Карл Линней (1747) отметил, что в северных районах ширина годичных колец отражает изменения теплового режима (Битвинскас, 1974). Лесоводы уже не один век изучают влияние климата на рост леса, а таксаторы – радиальный и объемный прирост. В чем отличие исследований дендрохронологического направления? Т.Т. Битвинскас (1974) предложил считать дендроклиматическими (дендрохронологическими) исследования, в которых учтены три необходимых элемента:

1) погодичное изучение серий годичных колец,
2) использование метода исключения фактора возраста для лучшего выявления влияния климатических факторов на радиальный прирост деревьев,
3) получение относительных величин годичного прироста, не зависящих от возраста изучаемых деревьев и других частных факторов влияния на них.

С учетом вышеприведенных элементов исследований первыми дендрохронологическими работами можно считать работы: А. Покорни, Австрия (Pokorny, 1869); Ф.Н. Шведова, Россия (Шведов, 1892); А.Э. Дугласа, США (Douglass, 1909).

Учитель Венской гимназии А. Покорни предложил методику определения метеорологических коэффициентов по годичному приросту стволов двусемядольных растений. Его работа так и называлась: «Метод определения метеорологических коэффициентов ежегодного прироста древесины стволов двусемядольных растений (1869)». Покорни обнаружил зависимость годичного прироста от климатических факторов и предложил проводить измерения годичных колец по двум радиусам (длинному и короткому), оценивая изменения прироста в зависимости от возраста по десятилетиям. Влияние климата Покорни определял по отношению ширины

отдельных годичных колец к их средним многолетним величинам (Битвинскас, 1974).

Профессор Одесского университета Фёдор Никифорович Шведов (1859-1905), физик и метеоролог, в своей знаменитой работе «Дерево как летопись засух» на основании анализа годичных колец двух деревьев белой акации, срубленных в Одессе, установил прямую связь годичного прироста с осадками гидрологического года (октябрь-сентябрь). Самые узкие годичные кольца совпали с засушливыми годами. Ф.Н. Шведов определил условия, необходимые для использования дендрохронологических данных в целях прогнозирования климатических изменений. Для нивелирования индивидуальных свойств каждого дерева Шведов предложил радиус наружного годичного кольца изучаемых деревьев (зависящий от диаметра дерева) умножать на так называемый «нормальный» радиус (500 мм). Затем ширина годичных колец каждого года соотносилась со среднемноголетним значением. Ф.Н. Шведов установил, что сухие и влажные годы чередуются в определенном порядке: год засухи наступает не внезапно, обычно ему предшествуют годы с пониженным количеством осадков (Шведов, 1892 / Дендроклиматохронология..., 1972).

Американский астроном из Аризоны Андреа Элиотт Дуглас (1867-1962 гг.) по праву считается основателем нового научного направления – дендрохронологии. Свои первые дендрохронологические исследования Дуглас начал в лесах Северной Аризоны в 1901-1904 гг. на пнях деревьев сосны желтой. Кроме того, он собрал большое количество срезов из различных стран Европы и Америки, в том числе срезов очень старых деревьев (например, секвойя гигантская из Южной Калифорнии возраста 3200 лет). Во всех группах обследованных срезов Дуглас обнаружил 11-летний солнечный цикл. Годы максимальной деятельности Солнца совпали с увеличением ширины годичных колец, при минимумах ширина колец уменьшалась. Дуглас выявил также наличие связи годичного прироста с климатическими факторами. Результаты своих исследований Дуглас впервые опубликовал в 1909 году в работе «Погодные циклы в росте больших деревьев». А.Э. Дуглас впервые сформулировал и проверил на практике основные принципы дендрохронологии и создал первую школу дендрохронологов (Шиятов, 1973; Drapela, Zach, 1995 и др.).

Следует упомянуть еще ряд работ того же периода, посвященных исследованию влияния климатических и неклиматических факторов на прирост деревьев: Bravais, Martins, 1841; Kuechler, 1859; Бекетов, 1868; Stoechart, 1871; Hartig, 1891; Ключников, 1902; Тольский, 1904 и др., но эти работы нельзя считать вполне дендрохронологическими (если придерживаться условий, выдвинутых Т.Т. Битвинскасом).

2.2. Крупнейшие дендрохронологические школы мира

2.2.1. Школа дендрохронологов США

Основателем американской школы дендрохронологов, как и в целом основателем дендрохронологии, является А.Э. Дуглас (Andrew Ellicott Douglass). В 30-х годах им было основано «Общество годичных колец» («Tree-Ring Society»), которое с 1934 года выпускает «Бюллетень годичных колец» («Tree-Ring Bulletin») – специализированный дендрохронологический журнал, играющий большую роль в популяризации методов и результатов исследований. В 1937 году на базе Аризонского университета А.Э. Дуглас создал первую в мире лабораторию по дендрохронологическому исследованию годичных колец деревьев (The Laboratory of Tree-Ring Research), существующую и по сей день. А.Э. Дуглас разработал метод перекрестного датирования – один из основных методов дендрохронологического анализа – и первым применил его при датировке археологических объектов.

Наиболее известные последователи Дугласа: В. Глок (W. Glok), опубликовавший ряд методических и обзорных работ по дендрохронологии (1937, 1950, 1955), Е. Шульман (E. Schulman) – один из основоположников статистического анализа в дендрохронологии, Гарольд Фритс (H. Fritts). Е. Шульман с сотрудниками в 1940-1950-х годах вели поиски старых деревьев для составления длительных хронологий годичных колец. Ими было найдено немало сосен и можжевельников возрастом более 1000 лет и насаждение сосны остистой (Pinus aristata) возрастом свыше 4000 лет. К 1969 г. (Fergusson, 1969) американскими дендрохронологами была создана дендрошкала по сосне остистой (Калифорния) длительностью 7104 года, на основе изучения колец живых деревьев и отмерших стволов и сучьев. К настоящему времени дендрохронологи США продлили эту шкалу почти до 12000 лет.

В 1974 году был создан международный банк древесных колец (ITRDB), для руководства которым избран международный комитет из пяти ведущих дендрохронологов мира:

1.Гарольд Фритс (H. Fritts) – США
2.Чарльз Стоктон (Ch. Stocton) – США
3.Бернд Бекер (B. Becker) – Германия
4.Здислав Бернарш (Z. Bernarz) – Польша
5.Джон Пилчер (J. Pilcher) – Северная Ирландия

Возглавил комитет Г. Фритс, руководивший в это время Аризонской лабораторией исследования древесных колец.

В 1976 году Г. Фритс опубликовал одну из первых монографий по дендроклиматологии «Древесные кольца и климат» («Tree Rings and Climate»), 566 с. В конце 80-х годов Г. Фритс принял участие в совместных исследованиях с российскими специалистами по моделированию формирования структуры годичных колец в зависимости от климатических изменений (Fritts, Vaganov, Sviderskaya, Shashkin, 1991).

Интересные исследования воздействия загрязнений воздушной среды на хвойные насаждения проведены в Аризонской лаборатории в 1987-1989 гг. под руководством Д.А. Грейбилла (D. Graybill). Д.А. Грейбилл и его коллеги проводили совместные исследования с российскими дендрохронологами: С.Г. Шиятовым, В.С. Мазепой, Е.А. Вагановым и др., как в США, так и в России.

В 1990 г. в США опубликована совместная монография американских и российских специалистов: «Методы дендрохронологии. Применение в науках об окружающей среде» («Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences») 394 с., под общей редакцией Е. Кука (E. Cook) и Л. Кайрюкштиса.

В настоящее время в США работают и другие дендрохронологические лаборатории (кроме Аризонской), например, Нью-Йоркская лаборатория.

2.2.2. Школа дендрохронологов Германии

Основателем дендрохронологии в Западной Европе (по мнению многих европейских дендрохронологов) считается немецкий ботаник Бруно Губер (B. Huber (1899-1969 гг.)). Он создал метод и прибор для автоматизированного измерения годичных колец и корригирования их несоответствия, создал дендрохронологическую шкалу по дубу для Германии длиной 1000 лет. Губер основал в Гамбурге лабораторию биологии и защиты древесины, которая является центром дендрохронологических исследований в Германии и доминирующей школой в Западной Европе.

Губер первым в Европе применил метод дендрохронологии в археологии (в США это сделал А.Э. Дуглас).

К настоящему времени в Германии созданы дендрошкалы по дубу, буку, ели, пихте. Проводится датировка (с помощью дендрошкал) строений, картин, деревянных скульптур, кораблей.

Представителями школы Губера, немецкой школы дендрохронологов являются: Дитер Экштейн (D. Eckstein) (ведущий дендрохронолог Германии в настоящее время, работающий в университете г. Гамбурга), Д. Баух (J. Bauch), В. Лизе (W. Liese), Б. Бекер (B. Becker), Ч. Дитмар (Ch. Dittmar) и многие

другие (Кайрюкштис, 1977 и др.). Интересные дендрохронологические исследования в области моделирования связей прироста деревьев и климата проводит Вольфганг Бек (W. Beck) в Институте экологии и таксации леса (г. Эберсвальде).

2.2.3. Школа дендрохронологов Швейцарии

В настоящее время школа дендрохронологов Швейцарии, очевидно, является ведущей в Европе. В Швейцарии имеется ряд центров дендрохронологических исследований, например, дендрохронологические лаборатории в г. Цюрихе и в г. Неухателе. В 70-х годах швейцарскими дендрохронологами разработан интересный комплект для дендрохронологических исследований. В комплект входят: 1) бур, 2) приспособление к буру, обеспечивающее точное его наведение на сердцевину дерева, 3) устройство для обработки керна, 4) денситомер для определения плотности ранней и поздней древесины керна по световому эффекту в «х» – лучах, выходящих из специального устройства.

Ведущим дендрохронологом Швейцарии является профессор Фриц Ханс Швейнгрубер (F.H. Schweingruber) (Швейцарский Федеральный исследовательский институт леса, снега и ландшафта, г. Бирменсдорф), который создал современную школу дендрохронологов Швейцарии.

Ф. Швейнгрубер опубликовал целый ряд работ по дендрохронологии и дендроклиматологии на немецком и английском языках, в том числе методического плана («Tree Ring: basics and applications of dendrochronology», 1988; «Trees and wood in dendrochronology», 1993 и др.). В 1990 г. в журнале «Дендрохронология» опубликована совместная работа Ф. Швейнгрубера, Д. Экштейна (Германия) и др. «Идентификация, презéнтация и интерпретация каждого года и отдельных лет в дендрохронологии» (англ.) (Dendrochronologia. № 8. 1990. P. 9-38), в которой изложена методика построения и анализа скелетных графиков.

В 1993 году Ф. Швейнгрубер опубликовал монографию «Годичные кольца и окружающая среда (Дендроэкология)» («Jahrringe und Umwelt (Dendroekologie)», 474 с., на немецком языке, очень ценную в методическом плане работу, раскрывающую возможности использования информации, заключенной в годичных кольцах. В 1996 г. эта книга издана на английском языке («Tree Rings and Environment. Dendroecology»), 609 с.

Из коллег и учеников Швейнгрубера могут быть названы, например, О. Брекер (O. Braker), К. Бриффа (K. Briffa), П. Джонс (P. Jones), П. Ноглер (P. Nogler), У. Вебер (U. Weber), Т. Форстер (T. Forster) и др.

Профессор Швейнгрубер основал ежегодный выездной семинар для начинающих дендрохронологов «Дендроэкологическая полевая неделя», который дважды проводился в России: 9-я Дендроэкологическая полевая неделя в Вологде в 1994 году и 12-я – в Горном Алтае в 1997 году. В работе семинаров участвуют десятки дендрохронологов из различных стран мира.

2.2.4. Школа дендрохронологов Великобритании

Начиная с 1940-х годов, в Великобритании уделяется большое внимание дендрохронологическим исследованиям.

В 1977 г. в Гринвиче (Англия) состоялся Международный симпозиум по дендрохронологии в Северной Европе. На симпозиуме впервые присутствовал представитель дендрохронологов СССР – Леонардас Кайрюкштис. В симпозиуме участвовало 170 дендрохронологов из 15 стран Европы и Северной Америки, из них от Англии и Северной Ирландии было 132 представителя. К этому времени на Британских островах работало 8 групп и лабораторий дендрохронологов, занятых различными аспектами этой науки. Ведущая лаборатория: Исследовательская лаборатория археологии и истории искусств Оксфордского университета (Кайрюкштис, 1977).

Не случайно в состав первого руководящего комитета Международного банка древесных колец вошел представитель Великобритании Джон Пилчер (J. Pilcher).

Из дендрохронологов Великобритании можно назвать следующих: А. Лаузер (A. Lowther), Д. Шоуви (D. Schowe), К. Доббс (C. Dobbs), Е. Галл (E. Hall), М. Грил (Mc. Grail), М. Бидл (M. Biddle), Д. Уотерс (D. Waters) и многие другие.

2.2.5. Школа дендрохронологов Скандинавии

Большой вклад в развитие дендрохронологии внесли исследователи из стран Скандинавии. В первую очередь это методические работы норвежских (Andstad, 1934, 1938; Ordinq, 1941, 1945; Eidem, 1943; Ruden, 1945; Hoeg, 1956), а также шведских (Naslund, 1942; Eklund, 1955) ученых. Б. Эклунд, лесовод по образованию, выполнил и ряд ценных в лесоводственном отношении работ (Eklund, 1957, 1958), но, возможно, главной его заслугой следует считать созданный в 1950 году (Eklund, 1950) полуавтоматический прибор для измерения ширины годичных колец. Прибор состоит из трех основных частей: стереоскопического микроскопа с макро- и микронаводкой, электрического импульсопередаточного механизма и суммирующего устройства,

фиксирующего ширину измеренных годичных колец и их суммарную ширину. До настоящего времени прибор Эклунда (с различными модификациями) применяется дендрохронологами всего мира.

Интересные дендроклиматические исследования выполнены в Финляндии П. Миколой (Mikola, 1950, 1952, 1956), И. Гастигом (Hustich, 1956), Г. Сиреном (Siren, 1961, 1963), Я. Алестало (Alestalo, 1971) и другими.

2.2.6. Школа дендрохронологов Чехии

Основателем Чешской школы дендрохронологов можно считать Богуслава Винша (Bohuslav Vins).Чешские исследователи (Б. Винш и др.) еще в начале 60-х годов применили метод анализа годичных колец при изучении вредного влияния газов и дымов на древесную растительность (Vins, 1961, 1962, 1963 и др.). Дендроклиматические исследования велись чешскими лесоводами в тесном сотрудничестве с лесоустроителями. Б. Винш в конце 60-х годов сконструировал приставку к прибору Эклунда, автоматически рисующую график ширины измеренных годичных колец, а также установку, подготавливающую данные измерений для ЭВМ. В настоящее время на лесохозяйственном факультете Сельскохозяйственного и лесного университета г. Брно для обработки данных измерений годичного прироста применяются компьютерные программы для персональных компьютеров типа IBM, существует исследовательская лаборатория, оборудование которой позволяет измерять годичные кольца после сканирования спила дерева. Дендрохронологические исследования ведутся и в Праге (Чешский сельскохозяйственный университет, Карлов университет), и в г. Чешске Будейовице. В 1995г. в г. Брно издан учебник по дендрохронологии, его авторы – Карел Драпела (K. Drapela) и Ян Зах (J. Zach), по которому эта дисциплина преподается в лесных вузах страны.

2.3. Развитие дендрохронологических исследований в СССР. Основные центры дендрохронологических исследований в России

После работы Ф.Н. Шведова (1892) дендрохронологическое направление исследований в России долгое время практически не развивалось, хотя изучение воздействия климатических факторов на рост деревьев, в том числе с использованием данных изменчивости годичного прироста, не прекращалось и в этот период. Достаточно назвать работы А.П. Тольского (1913, 1936), С.Г. Заозерского (1934), С.И. Костина (1940), М.П. Скрябина (1946, 1949), И.М. Науменко (1946), П.Б. Раскатова (1948) и др.

Новый толчок развитию дендрохронологии в нашей стране дали методические работы В.Е. Рудакова (1951, 1952, 1958 и др).

1960-е годы ознаменовались расцветом нового направления науки в СССР. Это, например, работы А. Звиедриса и др. (1958, 1960, 1962), С.И. Костина (1960, 1961, 1963, 1965 и др.), С.Г. Шиятова (1962, 1965, 1967 и др.), Б.А. Колчина (1962, 1963, 1964, 1965 и др.), В.Е. Вихрова и др. (1962, 1965, 1967), В.Н. Адаменко (1963, 1968), Г.Е. Комина (1963, 1968 и др.), Т.Т. Битвинскаса (1964, 1965, 1966 и др.), Н.В. Ловелиуса (1966, 1970 и др.) и многих других исследователей. В это же время были созданы первые специализированные лаборатории и группы, занимающиеся дендрохронологическими исследованиями. Первая лаборатория была организована в 1959 г. в институте археологии АН СССР для датировки древесины, собранной из деревянных сооружений (Колчин, 1962, 1963, 1964, 1965; Черных, 1965). Несколько позже – в Лимнологическом институте СО АН СССР (Галазий 1965, 1967), на географическом факультете МГУ (Турманина и др., 1968), в институте ботаники Литовской АН СССР (Битвинскас, 1968).

В 1971 году в Латвии сконструирован полуавтоматический прибор для измерения ширины годичных колец (Шпалте, 1971).

В 1970-е годы в СССР опубликован ряд фундаментальных методических и обзорных работ по дендрохронологии и дендроклиматологии:

1. Шиятов, С. Г. Дендрохронология, ее принципы и методы (1973).
2. Битвинскас, Т. Т. Дендроклиматические исследования (1974).
3. Молчанов, А. А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды (1976).
4. Ваганов, Е.А., Терсков, И.А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец (1977).
5. Ловелиус, Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий (1979).

Названные работы до настоящего времени являются основными методическими пособиями для освоения дендрохронологического метода исследований, и именно они, в первую очередь, были использованы при подготовке данного учебного пособия.

За последующие десятилетия проведено огромное количество разнообразных исследований дендрохронологического направления практически во всех регионах нашей страны. Опубликован ряд ценных монографий: Шиятов С.Г. «Дендрохронология верхней границы леса на Урале» (Москва, 1986), Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. «Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике» (Новосибирск, 1996), Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М.

«Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги» (Архангельск, 1997) и др. Из последних работ назовем ряд монографий и учебных пособий, разумеется, не исчерпывающий все значимые публикации:

- Ваганов, Е. А. Рост и структура годичных колец хвойных [Текст] / Е. А. Ваганов, А. В. Шашкин. – Новосибирск : Наука, 2000. – 232 с.
- Методы дендрохронологии [Текст]. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации : учеб.-метод. пособие / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов [и др.]. – Красноярск : КрасГУ, 2000. – 80 с.
- Матвеев, С. М. Дендрохронология [Текст] : учеб. пособие / С. М. Матвеев. – Воронеж, 2001. – 88 с.
- Матвеев, С. М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи [Текст] / С. М. Матвеев. – Воронеж, 2003. – 272 с.
- Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях [Текст] / М. С. Александрова, В. В. Коровин [и др.] // под ред. В. А. Липаткина, Д. Е. Румянцева. – М. : МГУЛ, 2007. – 138 с.
- Ваганов, Е. А. Дендрохронология [Текст] : учеб. пособие / Е. А. Ваганов, В. Б. Круглов, В. Г. Васильев. – Красноярск : СФУ, 2008. – 120 с.
- Дендрохронологическая экспертиза при расследовании незаконных рубок лесных насаждений [Текст] : учеб. пособие / С. В. Унжакова, В. И. Воронин, М. М. Наурзабаев, Н. Ю. Жигалов. – Иркутск : ФГОУ ВПО ВСИ МВД России, 2009. – 56 с.
- Романовский, М. Г. Лес и климат Центральной полосы России [Текст] / М. Г. Романовский, Р. В. Щекалев – М. : ИЛ РАН, 2009 – 65 с.
- Румянцев, Д. Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии [Текст] / Д. Е. Румянцев. – М. : МГУЛ, 2010. – 109 с.

Развитию дендрохронологических исследований в нашей стране способствовали Всесоюзные совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии, которые состоялись:

1968 г. – 1-е совещание, г. Каунас,
1972 г. – 2-е совещание, г. Вильнюс,
1978 г. – 3-е совещание, г. Архангельск,
1983 г. – 4-е совещание, г. Иркутск,
1990 г. – 5-е совещание, г. Свердловск.

А также, позднее, Всероссийские совещания (с участием иностранных специалистов):

2000 г. – Реакция растений на глобальные и региональные изменения природной среды, г. Иркутск,

2003 г. – Дендрохронология: Достижения и перспективы, г. Красноярск,

2011 г. – РусДендро, г. Екатеринбург,

2012 г. – Дендро-2012, г. Москва,

Материалы всех совещаний (в виде сборников научных трудов) опубликованы.

В настоящее время в России география дендрохронологических исследований очень широка. Наиболее крупные исследовательские центры созданы в Екатеринбурге (лаборатория дендрохронологии Института экологии растений и животных УрО РАН) под руководством проф. С.Г. Шиятова, в Красноярске (лаборатория дендрохронологии Института леса им. Сукачева СО РАН, Сибирский Федеральный университет) под руководством проф. Е.А. Ваганова.

С 1987 по 2001 гг. С.Г. Шиятов входил в состав руководящего комитета ITRDB. В лаборатории дендрохронологии Екатеринбурга (Р.М. Хантемировым с коллегами) построена хронология по кольцам живых деревьев и полуископаемым остаткам древесины лиственницы сибирской длительностью в 7000 лет (с 4999 г. до н.э. по настоящее время) на полуострове Ямал, создан Банк данных дендрошкал России (2003 г.).

Обширные, разносторонние дендрохронологические и дендроклиматические исследования ведутся и в других регионах нашей страны: в Москве (Московский государственный университет леса, Институт географии РАН, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова), в Томске (Институт мониторинга экологических и климатических проблем СО РАН), в Архангельске (Северный (Арктический) Федеральный университет), в Иркутске (Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН), в Барнауле (Алтайский государственный университет), в Воронеже (Воронежская государственная лесотехническая академия), в городах Санкт-Петербург, Сочи, Владивосток, Вологда, Брянск, Новосибирск и многих других.

2.4. Дендроклиматические исследования в Воронеже

Воронежские ученые, лесоводы и климатологи Сергей Иосифович Костин, Митрофан Петрович Скрябин и многие другие (И.М. Науменко, Ф.С. Яковлев, П.Б. Раскатов, В.И. Рубцов, А.М. Ильин и др.) в 1940-е – 1960-е годы внесли весомый вклад в изучение изменчивости годичного прироста

сосны, дуба, ясеня и некоторых других пород под воздействием климатических факторов (температурного режима, режима увлажнения) и выявление солнечно обусловленной цикличности в динамике прироста деревьев.

В этих исследованиях не применялись методы исключения фактора возраста и расчета относительных величин прироста (за исключением работ С.И. Костина, опубликованных в 1960-е годы и позднее), но присутствует погодичное изучение древесных колец, ранней и поздней древесины, использованы среднегодовые, сезонные, среднемесячные данные температуры и осадков, режим грунтовых вод, характеристики почвенных условий и т.д., то есть все исследования имеют дендроклиматическую направленность.

С.И. Костин изучал динамику климата Русской равнины и при этом большое внимание уделял изменчивости прироста деревьев: «Повторяемость засух в Воронежской области (по данным анализа годичного прироста ясеня)» (1940), «Колебания климата в Центральной лесостепи Русской равнины (по данным анализа прироста дуба в толщину)» (1955, опубликована в 1960 г.) и другие работы. Исследуя радиальный прирост дубовых древостоев, С.И. Костин обосновал механизм воздействия солнечной активности на прирост: «Одиннадцатилетние колебания прироста деревьев, связанные с солнечной активностью, вызываются тем, что последняя в значительной мере определяет тип атмосферной циркуляции». При этом С.И. Костин обращает внимание на важнейшую роль в изменчивости прироста лесорастительных условий и таксационных характеристик древостоев: «Для данной древесной породы прирост зависит в сильной степени от условий произрастания дерева – типа леса, состава насаждения, его полноты, возраста деревьев, типа почвы, рельефа, экспозиции склонов, уровня грунтовых вод и т.д.» («Солнечная активность и рост деревьев», 1962). Для расчета относительных индексов прироста С.И. Костин применял метод скользящего сглаживания средних величин.

М.П. Скрябин, рассматривая воздействие на прирост солнечной активности, детально анализировал климатические характеристики за весь имеющийся ряд наблюдений: «Вековые циклы природных условий и боровая лесная растительность лесостепи» (1946), «Лес и солнечная активность» (1960) и другие работы. М.П. Скрябин изучал прирост различных древесных пород (сосна, дуб, береза, осина), но, к сожалению, использовал единичные деревья или небольшое количество образцов. Безусловным достоинством работ М.П. Скрябина является индивидуальный подход к лесорастительным условиям деревьев: «Следует всегда помнить, что любое дерево, да и насаждение, отражает приростом не столько влияние климата района или области, но в гораздо большей степени климат, присущий тому месту, где растет это дерево или насаждение» («Условия среды и взаимоотношения между

древесными породами в Усманском бору в ходе последнего векового цикла», 1964).

После трудов С.И. Костина и М.П. Скрябина систематические исследования дендрохронологического (дендроклиматического) направления в Воронеже не проводились.

Современная школа дендрохронологов в Воронежской государственной лесотехнической академии создана профессором В.И. Таранковым в 1980-х годах. В.И. Таранков опубликовал целый ряд работ по дендрохронологии и дендроклиматологии (1973, 1990, 1993 и др.) в том числе в соавторстве со своими учениками: Таранков, Лазуренко (1990); Таранков, Матвеев (1992, 1994, 1996, 1998, 2000 и др.), и продолжает плодотворно работать в настоящее время. Изучение работ В.И. Таранкова («Дендроклиматические аспекты устойчивости лесных биогеоценозов» (1993) и других) поможет понять сложный механизм реакции прироста древостоев и в целом лесных сообществ на колебания солнечной и геомагнитной активности, климата, на воздействие антропогенных факторов. Дендрохронологические исследования различного плана активно ведутся на кафедре лесоводства, лесной таксации и лесоустройства ВГЛТА и в настоящее время. С 1998 г. на кафедре разработан и преподается курс учебной дисциплины «Дендрохронология».

2.5. Дендрохронология и лесоводство

Большинство специалистов согласно с мнением, что современная дендрохронология развивалась особенно активно в сфере взаимодействия с потребностями климатологии и археологии, для решения же лесоводственных задач дендрохронологические методы применялись менее часто (Комин, 1968; Иерусалимов, 1971; Шиятов, 1973; Битвинскас, 1974).

Так, первая дендрохронологическая лаборатория в СССР, организованная в 1959 г именно в Институте археологии АН СССР (Колчин, Черных, 1977), занималась вопросами составления сверхдолгосрочных дендрошкал и датированием представляющих историческую ценность образцов древесины.

Традиционным объектом исследований известных отечественных дендрохронологов являлись насаждения в экстремальных условиях произрастания, например, лесотундровые экосистемы (Ловелиус, 1979; Шиятов, 1986; Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996; Мазепа, 1998). Исследования в данной сфере, безусловно, важны, но не являются приоритетной потребностью лесоводства и лесоведения. Как отмечал С.Г. Шиятов (1973), наблюдается общая тенденция, согласно которой наибольшее число исследований в области дендроклиматологии проведено на крайних пределах возможного

произрастания древесной растительности, где лимитирующие рост факторы проявляют свое действие наиболее полно. Это южные, нижние, верхние и полярные пределы произрастания лесов, переходные зоны между массивами лесов и болот, между лесопокрытой территорией и водной поверхностью.

Закономерности роста древостоев в районах интенсивного ведения лесного хозяйства дендрохронологически относительно слабо исследованы, но следует отметить, что данная тематика приоритетна для исследований ряда дендрохронологов, проявивших вместе с тем и стабильный интерес к поиску путей вовлечения дендрохронологической информации в сферу лесохозяйственной науки (Битвинскас, 1965, 1974; Комин, 1968, 1990; Иерусалимов, 1971; Молчанов, 1976, Русаленко, 1986; Таранков, 1996; Феклистов, Евдокимов, Барзут, 1997; Демаков, 2000; Матвеев, 2003, 2004; Матвеев, Таранков и др., 2009; Румянцев, 2010).

Основателем лесоводственного направления дендрохронологии следует считать Т.Т. Битвинскаса (1965, 1974), первым обратившего внимание на то, что «в основном дендрохронологические и дендроклиматические исследования вели климатологи и частично археологи. Лесоводы и ботаники ... в большинстве случаев использовали дендроклиматические методы несистематично, от случая к случаю, применяли ограниченные материалы, что суживало получаемые результаты», и рассмотревшего некоторые возможности применения дендрохронологических методов в лесном хозяйстве.

Не только ряд дендрохронологов занимался поиском путей постановки дендрохронологической информации на службу лесному хозяйству, но и ряд известных лесоводов не мог обойтись в своей исследовательской работе без привлечения к анализу данных об изменчивости годичных колец.

Основоположник отечественного лесоведения Г.Ф. Морозов (1922, 1931, 1970) для обоснования своих суждений неоднократно привлекал данные, полученные на основе анализа изменчивости годичных колец. В основном древесно-кольцевая информация использовалась им при изучении закономерностей развития подпологового возобновления. В то же время, в его труде «Учение о лесе» (1970) нашли место и ссылки на работы об определяющем влиянии на изменчивость ширины годичных колец сосны количества осадков за период май-июль; о том, что в годы обильного семеношения формируются узкие годичные кольца; о том, что у деревьев разных классов роста наблюдается разная ширина годичного кольца и разная доля поздней древесины.

Исследования, посвященные влиянию климатических факторов на прирост сосны в лесостепной зоне, проводились А.П. Тольским (1904; 1936). Этим же вопросом интересовался и М.Е. Ткаченко (1908, 1939): согласно его

исследованиям, годичный прирост леса в лесостепной зоне в значительной мере зависит от осадков в предшествующий осенне-зимний период.

Ряд серьезных работ отечественных исследователей был посвящен вовлечению дендрохронологической информации в сферу лесоведческих исследований путем ее использования в реконструкции истории лесных биогеоценозов, истории лесных пожаров, вспышек численности вредителей леса и разнообразных катастрофических событий в древостое.

Возможности дендрохронологии в исследовании истории экосистем могут заходить весьма далеко, выходя фактически в сферу палеобиогеоценологии. Так, Спенсер (по Fritts, 1976) реконструировал динамику численности популяции дикобраза в штате Колорадо на основе датировки язвенных ран, остававшихся в результате повреждения им камбия сосны колорадской (*Pinus edulis* Engelm.).

Комплексные дендрохронологические, палеокарпологические и ботанические исследования пищи, содержащейся в желудке шадринского мамонта, позволили реконструировать палеобиогеоценозы и некоторые климатические показатели верхнего плейстоцена на северо-востоке современной Якутии (Горлова, 1978).

Достаточно часто дендрохронологический метод использовался для оценки эффективности лесохозяйственных мероприятий, таких как рубки ухода, внесение удобрений, осушительные мелиорации, борьба с вредителями. Оценка состояния здоровья деревьев и древостоев на основе дендрохронологической информации – это одна из наиболее сложных и в то же время важных сфер развития лесоводственно ориентированной дендрохронологии. Решение этой задачи будет возможно лишь при условии глубокого знания экофизиологических механизмов изменчивости годичных колец. Важный аспект обсуждаемой проблемы – вовлечение дендрохронологической информации в исследование роста ценных лесных пород в условиях интродукции (Дроздов, 1998).

В области лесокультурного дела может быть важен учет цикличности изменений прироста. Так, Н.В. Ловелиусом (1979) выявлена прямая связь прироста годичных колец с данными по приживаемости фисташки обыкновенной (*Pistacia vera* L.) в районе возвышенности Бадхыз (Туркмения). Фактором, определяющим существование сопряженности во временных колебаниях рассматриваемых показателей, оказалось количество зимних осадков, влиявшее, с одной стороны, на величину радиального прироста, а с другой стороны – на приживаемость посевов фисташки.

Идеи Н.В. Ловелиуса впоследствии развиты в исследованиях С.М. Матвеева (2004), предложившего вести назначение лесохозяйственных

мероприятий (лесокультурные и лесозащитные мероприятия, рубки ухода) с учетом цикличности изменений прироста. В рамках его методологического подхода величина прироста рассматривается как индикатор благоприятности текущего состояния экологической среды, а так как цикличность изменений прироста достаточно надежно прогнозируется, то, таким образом, есть возможность заранее выявлять периоды устойчивого и неустойчивого состояния лесных экосистем и в соответствии с этим вести планирование лесохозяйственных мероприятий.

Назревший этап будущего, необходимый на путях детализации лесохозяйственной практики, уточнения и утончения применяемых лесоводами технологий, был обозначен академиком РАСХН И.С. Мелеховым в книге «Проблемы современного лесоводства» (1969): «Из теоретических исследований в направлении повышения продуктивности лесов все большее значение приобретает, на наш взгляд, изучение фотосинтеза и деятельности камбия древесных пород в различных лесорастительных условиях, и на основе этого изучение воздействия на камбий в желательном для лесного хозяйства направлении». Несомненно, что, пока деятельность камбия в природных условиях не станет хорошо понятным процессом, многие достижения современной биотехнологии, успешно применяемые в сельском хозяйстве, вероятно, не смогут быть внедрены в практику лесного хозяйства.

Важно обратить внимание на еще одну публикацию И.С. Мелехова, «Значение структуры годичных слоев и ее динамики в лесоводстве и дендроклиматологии» (1979). Здесь намечены контуры будущей интеграции между дендрохронологией и лесоводством. Академик высказался в поддержку идеи расширения сферы использования дендрохронологической информации в лесоводственных и лесоведческих исследованиях, более глубокой интеграции лесоводства и дендрохронологии: «Применение анатомических методов, расширение анатомо-экологического и физиологического подхода к изучению прироста деревьев и древостоев, динамики формирования годичных слоев в разных природных условиях и условиях, изменяемых антропогенными факторами, имеет важное значение и для лесоведения и лесоводства, древесиноведения, и для ряда других наук, на первый взгляд очень отдаленных. Необходимо усилить внимание лесоводов к вопросам дендроклиматологии и, с другой стороны, – к более широкому использованию лесоводственного опыта в дендроклиматологии».

3. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОДИЧНОГО КОЛЬЦА У ДЕРЕВЬЕВ

3.1. Деятельность камбия. Формирование ранней и поздней древесины. Ложные и выпадающие кольца

Камбий является вторичной меристематической тканью, которая в стеблях древесных растений расположена между древесиной и лубом. Камбиальные клетки легко заметны зимой, когда камбий находится в периоде покоя и его радиальные стенки утолщены. В вегетационном периоде происходит дифференциация клеток производных камбия, и в этот период мы имеем дело с так называемой камбиальной зоной. Камбиальные клетки делятся тангентально на две узкие клетки, одна из них остается камбиальной, а другая создает древесину, если обращена к сердцевине, или создает флоэму, если обращена к коре. Деятельность камбия в сторону древесины несколько интенсивнее, чем в сторону коры.

Вследствие наличия годовой периодичности деятельности камбия образованный им прирост древесины состоит из годичных слоев. Годичные слои на поперечном срезе ствола представлены концентричными кольцами, на радиальном срезе – продольными линиями, а на тангентальном – в виде параболических кривых. Годичные кольца формируются в древесных растениях умеренной климатической зоны, так как в этой зоне наблюдается резкое различие между зимой и летом. В тропическом климате, где практически отсутствуют сезонные изменения погодных условий, древесина не образует годичных слоев.

Годичное кольцо древесины, как правило, состоит из двух частей. Одна часть развивается в первой половине вегетационного периода и состоит из тонкостенной и широкополостной проводящей ткани. Эта часть годичного кольца называется весенней, или ранней древесиной. Вторая часть годичного кольца развивается во второй половине вегетационного периода – летом и частично осенью, она состоит из толстостенных и узкополостных поздних элементов, которые большей частью выполняют механическую функцию. Эту часть годичного кольца называют поздней, или летней древесиной. Поздняя древесина более плотная и характеризуется высокими техническими свойствами, поэтому от количества поздней древесины зависят в основном физико-механические свойства древесины данной древесной породы. Между ранней и поздней древесиной не существует резкой границы, так как в большинстве случаев переход ранней древесины в позднюю происходит постепенно. Многие исследователи отмечают существование так называемой

«переходной зоны» между ранней и поздней древесиной. Например, по данным В.Е. Вихрова (1949) для лиственницы сибирской такая зона составляет 25 % ширины годичного кольца. Ранние и поздние древесины резко отличаются друг от друга на поперечном срезе. Если в пределах каждого годичного кольца переход между клетками ранней и поздней древесины обычно постепенный, то между соседними кольцами переход резкий. Это позволяет довольно легко отделять одно годичное кольцо от другого.

Наличие ранней и поздней древесины соответствует изменению физиологических функций древесины в различные периоды года. В условиях умеренного климата весной, в начале вегетационного периода, необходимо пропустить вместе с восходящим потоком в максимальном количестве воду и растворенные в ней минеральные вещества. Поэтому весной камбий развивает элементы с большими полостями и тонкой оболочкой, обладающие большой пропускной способностью. Во вторую половину вегетационного периода, наоборот, требуется образование механических элементов с толстой оболочкой, с тем, чтобы ствол смог удержать тяжелую крону. Поэтому камбий образует позднюю древесину после того, как листья достигнут наибольших размеров.

В наших широтах каждому году соответствует одно годичное кольцо. Но в некоторые годы в связи с резко неблагоприятными для роста деревьев условиями (временные засухи, весенние заморозки, объедание листьев насекомыми, интенсивные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ и т.п.) во время вегетационного периода внутри годичного кольца могут сформироваться один или несколько слоев из мелких и темных клеток, то есть слоев, состоящих из поздней древесины. Такие слои похожи на настоящие кольца, поэтому их называют «ложными», а годичные кольца, состоящие из ложных колец, – множественными (Шиятов, 1973). Наличие ложных колец значительно затрудняет измерение и датировку годичных колец древесины. Выявление ложных колец требует определенного навыка, а нередко возможно только с использованием спилов деревьев или эталонных дендрошкал.

В особо неблагоприятные для жизнедеятельности деревьев годы в пределах отдельных частей поверхности ствола, ветвей и корней камбий может совсем не отложить новый слой древесины. Прекращение деятельности камбия наиболее часто происходит в основании стволов, корнях и ветвях, а также у старых и угнетенных деревьев. Такие кольца называются «выпадающими» (Шиятов, 1973). На поперечных срезах кольцо может выпасть как в пределах отдельных частей поверхности среза (прерывистое выпадающее), так и по всей окружности (полностью выпадающее). Выпадение колец чаще всего наблюдается в особо неблагоприятных для роста деревьев условиях, в

частности, на верхнем и полярном пределах их произрастания. Иногда может выпадать до 5 – 10 % общего их числа на срезе.

У наклоненных и изогнутых стволов, а также на ветвях деревьев формируется так называемая «реактивная древесина» (Шиятов, 1973). Характерная ее черта – неоднородность физиолого-анатомических и физико-механических свойств в различных частях годичного слоя прироста. У хвойных на креневой (сжимаемой) стороне ствола и нижней стороне ветви образуется «креневая древесина», состоящая из широких годичных слоев и обладающая большей прочностью на сжатие. Клетки ее округлой формы, сильно лигнифицированы и более темно окрашены. На тяговой (растягиваемой) стороне ствола и верхней стороне ветви формируется «тяговая древесина», которая состоит из очень узких слоев прироста и обладает большей прочностью на растяжение.

У лиственных деревьев, за исключением самшита, более широкие годичные кольца формируются, наоборот, на тяговой стороне (Шиятов, 1973).

3.2. Сроки формирования годичного прироста. Соотношение ранней и поздней древесины

Сроки начала и прекращения роста существенно варьируют у различных древесных пород в разные годы, в различных лесорастительных условиях. Кроме того, величина прироста неодинакова в различные месяцы вегетационного периода.

Обширные исследования сезонного роста хвойных и лиственных пород в Швеции произведены К. Ладефогедом (Ladefoged, 1952). Им выделены три группы древесных пород по скорости, с которой закладывается годичное кольцо:

1. Группа ясеня – характеризуется очень быстрым образованием кольца (более половины формируется в мае-июне, после июля прирост резко сокращается);
2. Группа ели и лиственницы – довольно быстрое образование годичного кольца (около половины формируется в мае и июне, после июля активность роста снижается);
3. Группа березы – треть древесины годичного кольца прирастает в мае и июне и около трети в августе и в начале сентября, интенсивный рост происходил в июле.

В климатических условиях Европы (Словакия) годичный интервал прироста по диаметру у древесных пород следующий (Sebik-Polak, 1990):

1. Кольцесосудистые лиственные (дуб, ясень и др.) – прирост начинается перед распусканием листьев, в апреле. Летняя (поздняя) древесина начинает откладываться во 2-ой половине июля и начале августа. Полный временной интервал прироста по диаметру – 4,5 месяца, т.е. прирост заканчивается в начале сентября;

2. Рассеяннососудистые лиственные (бук, береза и др.) – прирост начинается позже, после распускания листьев с начала или середины мая и заканчивается в конце августа. Полный интервал роста – 3,5 месяца;

3. Хвойные (две группы):

а) сосна, лиственница – прирост близок по характеру к приросту кольцесосудистых пород: рост начинается в конце апреля или начале мая, а заканчивается в начале сентября. Полный интервал прироста – 4,0 месяца;

б) ель, пихта – рост начинается позже, в мае, иногда в конце месяца, а заканчивается в сентябре. Полный интервал прироста – 3,5-4 месяца;

Распределение прироста древесины (в % от всей ширины годичного кольца) по месяцам вегетационного периода для основных лесообразующих пород, по данным Р. Шобера (Schober, 1949) в Германии, отражено в табл. 3.2.1.

Таблица 3.2.1

Относительные значения месячного прироста в % от всей ширины годичного кольца, (Schober, 1949)

Древесная порода	Высота, над ур. моря, м	Месяцы					
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Дуб	300	4	17	22	33	24	–
	500	4	18	18	34	26	–
Бук	300	–	8	32	33	21	6
	500	–	10	18	32	38	2
Сосна	300	–	27	42	29	2	–
	500	–	15	23	29	27	6
Ель	300	–	10	36	35	15	4
	500	–	3	24	33	28	12
Лиственница	300	–	8	46	31	13	2
	500	–	8	25	30	22	15

С.И. Костин (1955) отмечает, что в условиях центральной части лесостепи активная вегетация деревьев начинается в конце апреля, с началом установления устойчивых средних суточных температур воздуха выше 10^0 С.

Заканчивается прирост обычно в середине сентября. С.И. Костин отмечает также, что величины раннего прироста у дуба, по сравнению с поздним, гораздо меньше и, кроме того, они мало изменяются от года к году.

По данным Э.Д. Лобжанидзе (1961), в Грузии и, по данным Т.Т. Битвинскаса (1974), в условиях Литвы конец формирования ранней и начало формирования поздней древесины у сосны наблюдается в конце июня – начале июля.

По результатам исследований Е.А. Ваганова и И.А. Терского (1977), в условиях Московской области в конце июня – начале июля у сосны начинается формирование переходной зоны, а формирование поздней древесины начинается в конце июля – начале августа. В целом рост сосны начинается в третьей декаде мая и заканчивается обычно в середине сентября.

Результаты исследований многих авторов в различных широтных зонах России позволили выявить закономерность в сроках пробуждения камбия на высоте 1,3 м у сосны в спелых и приспевающих древостоях:

- Херсонская обл. (Украина) – конец апреля, начало мая;
- Воронежская обл. – начало мая;
- Московская, Ярославская обл. – вторая, третья декада мая;
- Архангельская обл. – конец мая, начало июня;
- Мурманская обл. – первая декада июня.

И.С. Мелеховым (1979) установлено в условиях Севера (Архангельская обл.) в сосняке-брусничнике, что активность камбия у хорошо освещённых деревьев в разреженных древостоях проявляется раньше, чем у деревьев из сомкнутого, не подвергавшегося рубке древостоя (соответственно – конец июня и начало июля). Для древостоев лишайникового бора (относительно сосняка-брусничника) разница в пробуждении камбия достигает трех недель.

Многолетняя изменчивость раннего и позднего приростов древесины сходна с многолетней изменчивостью годичных колец в целом. Следует заметить, что количественная оценка степени сходства дендрошкал сложна. Для синхронизации дендрошкал довольно успешно применяется «показатель сходства», предложенный еще Б. Губером (Битвинскас, 1974; Колчин, Черных, 1977). Этот показатель учитывает тенденцию изменчивости ширины годичных колец от одного к другому. Если сравниваемые деревья (дендрошкалы, временные ряды) находились под влиянием одинакового комплекса внешних факторов, то тенденция изменчивости годичных колец у этих деревьев должна быть сходной. Максимальный процент сходства сравниваемых дендрошкал – 100 %. При асинхронности кривых – сходство менее 50 %.

Показатель сходства изменчивости годичных колец с изменчивостью ранней древесины у сосны достигает 87 %, а с изменчивостью поздней – 76 %

(Битвинскас, 1974). Вопрос, какие же метеофакторы более существенно влияют на образование ранней и поздней древесины в отдельности, окончательно не решен.

Попытки найти комплексные показатели климатических факторов, характеризующие изменчивость ранней или поздней древесины в отдельности, пока не дали значительных положительных результатов. Можно, сопоставляя данные об изменчивости метеоэлементов за отдельные месяцы, приближенно судить о степени их влияния на отложение ранней и поздней древесины.

Как правило, майские и июньские засухи, дождливые периоды и периоды повышенной и пониженной температуры отражаются на строении ранней древесины, июльские – переходной, августовские и сентябрьские – переходной и поздней (Ваганов, Терсков, 1977).

Многолетние исследования влияния внешних факторов на рост и структуру годичных колец проведены в лаборатории дендрохронологии Института леса РАН в г. Красноярске, под руководством академика Е.А. Ваганова. В результате создана имитационная модель роста и формирования структуры годичных колец хвойных в различных экологических условиях (Ваганов, Шашкин 2000). В основу моделирования положена связь между кинетическими и анатомическими характеристиками годичных колец. В частности, авторами установлено, что «главной мишенью» внешнего воздействия (в первую очередь, климатического) является камбиальная зона (зона активно делящихся клеток). Внешнее воздействие изменяет скорость линейного роста клеток, производных камбия, т.е. предопределяет размеры формирующихся трахеид.

Модель учитывает только климатически обусловленные изменения прироста (текущие погодные условия сезона роста), такие факторы, как возраст дерева, положение и конкурентные отношения дерева в древостое, свойства и минеральный состав почвы и др. исключаются при стандартизации данных.

Модель в большинстве случаев помогает объяснить наблюдаемые изменения в росте и структуре годичных колец, но бывают и существенные расхождения. Поэтому авторы считают, что созданная ими имитационная модель – это инструмент дальнейшего изучения особенностей формирования годичных колец у хвойных.

По результатам исследований Н.Е. Косиченко (1999), в лесостепи у хвойных ширина поздней части годичного кольца на протяжении всего периода роста дерева остается почти постоянной, а у лиственных кольцесосудистых остается почти постоянной ширина ранней части. Автор объясняет это явление жестким генетическим контролем наиболее прогрессивной (в эволюционном отношении) части годичного слоя. Для хвойных это поздняя часть (поздние

трахеиды), для кольцесосудистых лиственных – ранняя часть (сосуды). Следовательно, уменьшение ширины годичного кольца с возрастом (или в связи с изменением экологических условий) у хвойных происходит за счет ранней древесины, у лиственных – за счет поздней. В результате у хвойных с возрастом растет процент поздней древесины, у кольцесосудистых – уменьшается (Косиченко, 1999). Обратную зависимость в северной подзоне европейской тайги обнаружили П.А. Феклистов, В.Н. Евдокимов, В.М. Барзут (1997): средний процент поздней древесины сосны с возрастом имеет тенденцию уменьшения. Причем статистический анализ показал, что величина поздней древесины сосны является наиболее варьируемой составляющей годичного кольца. Величина прироста поздней древесины сильно зависит от лесорастительных условий.

Наши исследования (Матвеев, 2003, 2005) показали, что хотя изменчивость значений ширины поздней древесины с возрастом значительно меньше, чем ранней, колебания между соседними годами велики. Это хорошо отражает динамика ширины поздней древесины, выраженная в относительных индексах: амплитуда колебаний поздней древесины больше, чем общей ширины годичного кольца. Т.е. для прироста ранней древесины во всех типах лесорастительных условий Центральной лесостепи Русской равнины складывается более благоприятный комплекс климатических факторов, чем для прироста поздней зоны годичного кольца.

Доля поздней древесины сосны в общей ширине годичного кольца, по данным наших исследований, растет до 50-70 летнего возраста во всех типах лесорастительных условий, после чего наблюдается некоторое её снижение.

В борах Центральной лесостепи Русской равнины, в спелых сосновых древостоях (возрастом 100 – 150 лет) доля поздней древесины от общей ширины годичного кольца в среднем составляет:

а) сухие боры и субори (A_1-B_1) – 27-28 %;

б) свежие боры и субори (A_2-B_2) – 30-36 %;

в) влажные боры и субори, сложные субори (A_3-B_3, C_2-C_3) – 32-40 %.

Доля поздней древесины и её изменчивость увеличивается от сухих к влажным и, в меньшей степени, от бедных к более плодородным лесорастительным условиям. Колебания доли поздней древесины в течение жизни деревьев минимальны в сухих лесорастительных условиях. В боровых условиях наиболее выражено увеличение доли поздней древесины с возрастанием влажности.

3.3. Факторы, определяющие величину годичного прироста деревьев (по Э.Д. Лобжанидзе и А.А. Молчанову)

На величину годичного прироста деревьев оказывает влияние большое количество комплексно действующих факторов как внутренних, так и внешних. Э.Д. Лобжанидзе (1961) выделяет следующие факторы, определяющие ширину годичных колец деревьев:

1. *Древесная порода* – для некоторых древесных растений (например, Айлант) характерны широкие, свыше одного сантиметра, годичные слои; для других пород (например, бук) – узкие слои, шириной до 1 мм;

2. *Возраст дерева* – ширина годичных колец деревьев постепенно уменьшается с возрастом. Исключение составляют первые, присердцевинные годичные слои, которые, обычно, очень узкие. В общем виде зависимость радиального прироста от возраста выражается кривой, имеющей вид гиперболы: интенсивное падение годичного прироста сменяется приближающейся к горизонтали линией (рис. 3.3.1.). Н.Е. Косиченко (1999) считает, что уменьшение ширины годичного кольца с возрастом длится у дуба до 70 лет, у сосны, ели, березы и осины – до 30-35 лет. После этого ширина годичного кольца колеблется в ту или иную сторону в зависимости от экологических условий года. А.А. Молчанов (1976) отмечает, что отложение более узких годичных колец с увеличением возраста дерева связано с уменьшением поступления воды в дерево;

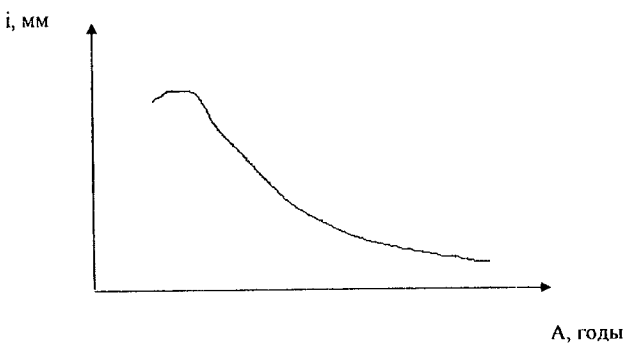

Рис. 3.3.1. Изменение ширины годичного кольца с возрастом

3. *Происхождение дерева* – дерево порослевого происхождения в первые годы образует широкие годичные слои, ширина которых постепенно уменьшается с возрастом; дерево семенного происхождения, наоборот, в первые годы образует узкие годичные кольца, после усиления корневой

системы ширина их увеличивается, и только затем начинается падение прироста с возрастом;

4. *Плодоношение* – при хорошем плодоношении большая часть накопленных растением пластических веществ расходуется на развитие плодов и семян, а на формирование годичных колец древесины расходуется сравнительно малое количество пластических веществ, в результате чего во время обильного плодоношения дерева формируются узкие годичные слои. Исследования Р. Гартига (Hartig, 1891) показали, что обильное плодоношение у бука вызвало сокращение ширины его годичных колец в 1,5-2 раза. На основании вышесказанного сложилось мнение, что плодоношение деревьев снижает возможности объективного выявления влияния климатических факторов на радиальный прирост деревьев. Т.Т. Битвинскас (1974) считает, что полностью согласиться с этим мнением нельзя, т.к. и обильное плодоношение является, как правило, следствием воздействия определенного комплекса климатических факторов на физиологические функции деревьев. Выявление динамики климата по годичным кольцам при периодическом обильном плодоношении (особенно по дубу, буку), конечно, усложняется, но отказываться от дендрохронологических исследований по этим причинам нет оснований. Необходимо только подчеркнуть, что нельзя упрощать картину воздействия различных факторов на изменчивость радиального прироста определенных древесных пород. П.А. Феклистов, В.Н. Евдокимов, В.М. Барзут (1997) предлагают для исключения влияния семеношения на величину прироста не ограничиваться измерением его у отдельных деревьев. В древостое не все деревья плодоносят, а обильные урожаи семян бывают редко. Поэтому данные о приросте совокупности деревьев будут объективно отражать воздействие климатических факторов (нивелировать уменьшение прироста у плодоносящих деревьев). Следует также отметить, что у сосны влияние плодоношения на динамику прироста слабое, что служит дополнительным преимуществом при использовании этой породы для дендрохронологических исследований;

5. *Внешние условия*:

а) освещение – у хорошо освещенного со всех сторон, свободно растущего дерева всегда развиваются широкие годичные слои, а у дерева, растущего в густом лесу, формируются сравнительно узкие годичные кольца. При этом у дерева, растущего на опушке леса, обращенные к лесу слои всегда уже, по сравнению с теми слоями, которые обращены к полю и хорошо освещены. Дело в том, что при хорошем освещении в большом количестве развиваются ранние элементы древесины, что расширяет годичные слои. В результате рубок ухода у деревьев, оставленных после изреживания, благодаря

хорошему освещению увеличивается ширина годичных колец. Влияние света на прирост древесины объясняется следующим образом (Иванов, 1934): затемнение ослабляет прогревание ствола солнечными лучами весной, когда температура воздуха часто является ограничивающим фактором роста. Вследствие этого камбий в покрытой части ствола пробуждается позднее и работает при менее благоприятной температуре, чем в открытых частях;

б) географическая широта и высота над уровнем моря места расположения – древесные породы, произрастающие на Крайнем Севере или в высокогорных местностях, всегда образуют узкие годичные кольца;

в) почвенные и метеорологические условия – влажность, температура и плодородие почвы, температура воздуха, количество выпавших осадков и т.п. – оказывают большое влияние на продолжительность и величину прироста древесины.

Более детально рассматривает ростовые процессы дерева и воздействие на них внутренних (биологические свойства) и внешних (окружающая среда) факторов А.А. Молчанов (1976). По А.А. Молчанову, для нормального роста дерева необходимы достаточные количества влаги, питательных веществ, гормонов роста, кислорода, углекислого газа, а также оптимальные температуры воздуха и почвы.

Замедление роста деревьев происходит обычно из-за внутреннего дефицита воды, возникающего в результате засухи; он также сказывается на всех физиологических процессах, происходящих в дереве. Дефицит воды вызывает быстрое созревание тканей и их одревеснение. У деревьев формируются узкие годичные кольца. Растения, выросшие в условиях ограниченного количества воды, очень часто отличаются по химическому составу от выросших в условиях достаточного увлажнения. В результате недостатка воды в растениях крахмал превращается в сахар.

Растениям необходим азот и минеральные элементы. В процессе роста хвойные деревья используют минеральные элементы, накопленные в предыдущем году. Лиственные растения в период роста в высоту в основном используют питательные вещества текущего года.

Деревья, требующие длинного вегетационного периода, в значительной степени используют питательные вещества, полученные в процессе фотосинтеза текущего года. Углеводы, образуемые в процессе фотосинтеза, в основном поступают в камбий. Кроме питательных веществ, на рост растений существенно влияют фитогормоны: ауксины, цитокинины, гиббереллины.

Прирост деревьев зависит от их наследственных индивидуальных особенностей. В одинаковых лесорастительных условиях одни деревья растут быстрее, а другие отличаются пониженным ростом. Для создания

высокопродуктивных древостоев в лесах отбираются лучшие по росту плюсовые деревья; с них собираются семена, из которых создается новое потомство.

С точки зрения физиологических процессов, требования к внешней среде сводятся к обеспечению условий, благоприятствующих образованию достаточного количества питательных веществ для роста и сохранения необходимого внутреннего баланса воды. Эти внешние, довольно простые, потребности на самом деле включают множество различных факторов внешней среды, к числу которых относятся: свет, температура, осадки, влажность почвы, ветер, газы, физические свойства почвы, органическое вещество, семенные годы, насекомые, животные, лесные пожары, радиоактивные продукты распада, а также человек.

Прирост по диаметру легко реагирует на колебания факторов внешней среды, особенно на изменение влажности, интенсивности освещения и температуры. Температура воздуха оказывает большое влияние на рост по диаметру весной, а влажность почвы более важна в июле-августе, когда засуха в почве усиливается. Прирост по диаметру происходит за счет прибавления ксилемы клеток, однако он часто маскируется вследствие изменения запасов воды в дереве. Толщина деревьев после полудня становится меньше вследствие сокращения запасов воды в процессе транспирации. В течение ночи снова происходит насыщение растений водой, и диаметр деревьев увеличивается в результате пополнения в них запасов воды. Имеются также сезонные колебания влагосодержания в деревьях.

Недостаток воды в почве вызывает увядание растений и резкое уменьшение прироста. Пониженная или, наоборот, избыточная влажность почвы мешает росту растений из-за воздействия ее на внутренний водный баланс дерева. Следует помнить, что рост не контролируется непосредственно влажностью почвы, а определяется водным балансом растений. Внутренний водный баланс деревьев зависит от относительной интенсивности поглощения воды и транспирации; следовательно, находится под влиянием как почвенной, так и атмосферной влажности. При влажности почвы, превышающей средний уровень, рост ограничивается, а при уменьшении влажности до уровня полного увядания прекращается совсем, что ведет к потере деревьями прироста.

Колебания температуры воздуха и почвы влияют на рост деревьев, изменяя интенсивность фотосинтеза, дыхания, деления и роста клеток, энзимной активности, синтеза хлорофилла и транспирации. Обычно рост увеличивается с повышением температуры до критической для растения, а затем быстро уменьшается. Понижение температуры замедляет физиологическую активность растений.

Наибольшая интенсивность роста наблюдается весной, в середине лета рост или значительно снижается, или прекращается совсем. Рост по диаметру продолжается в целом дольше, чем в высоту, а корни растут еще дольше. Имеются данные о том, что на глубине 2 м и более рост корней происходит даже зимой, когда надземные части расти не могут. В период максимального роста наибольшее удлинение побегов отмечается ночью, и лишь в холодные ночи прирост в высоту меньше, чем днем. Наибольший прирост по диаметру в течение суток наблюдается перед восходом солнца. С возрастанием транспирации прирост постепенно снижается и минимума достигает в полдень. В дождливые и облачные дни (когда транспирация невелика) суточные различия прироста минимальны (Молчанов, 1976; Drapela, Zach, 1995).

Таким образом, годичный слой формируется под воздействием совокупности различных факторов – биологических и экологических. В результате дерево становится индикатором среды, в которой оно находится. Дерево в процессе роста сосредоточило многообразную информацию в каждом годичном кольце. Особая информация содержится в химическом составе каждого годичного кольца. В них отражен изотопный состав атмосферы текущего вегетационного периода (Молчанов, 1976).

3.4. Модель формирования узких годичных колец под влиянием климатических факторов, предложенная Г. Фритсом

Для моделирования влияния различных условий на радиальный прирост деревьев часто используют узкие годичные кольца, т.к. считают, что они лучше отражают влияние окружающей среды на рост деревьев, чем широкие кольца. H. Fritts (1976) опубликовал модель влияния климата на формирование узких годичных колец, характеризующую очень тесную связь различных климатических изменений и ростовых процессов дерева. Модель подразделяется на три части:

часть А – описывает механизм влияния малого количества осадков и высоких температур на формирование узких годичных колец (рис. 3.4.1);

часть В – описывает механизм влияния тех же факторов, что и в части А, только в течение предшествующего вегетационного периода, на формирование узкого годичного кольца данного года (рис.3.4.2);

часть С – описывает влияние большого количества осадков и низких температур на формирование узких годичных колец (рис. 3.4.3) (по Drapela, Zach, 1995).

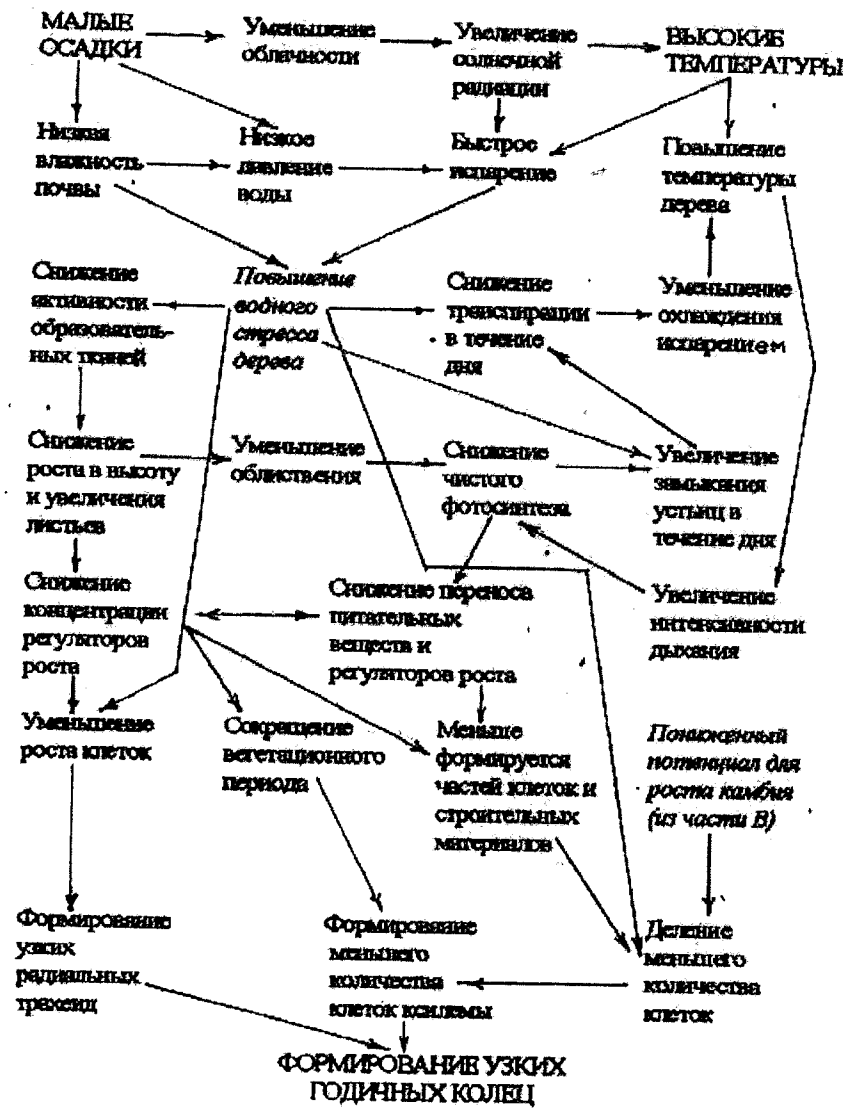

Рис. 3.4.1. Часть А. Влияние малого количества осадков и высоких температур на формирование узких годичных колец

Рис. 3.4.2. Часть В. Влияние малого количества осадков и высоких температур предшествующего вегетационного периода на формирование узкого годичного кольца данного года

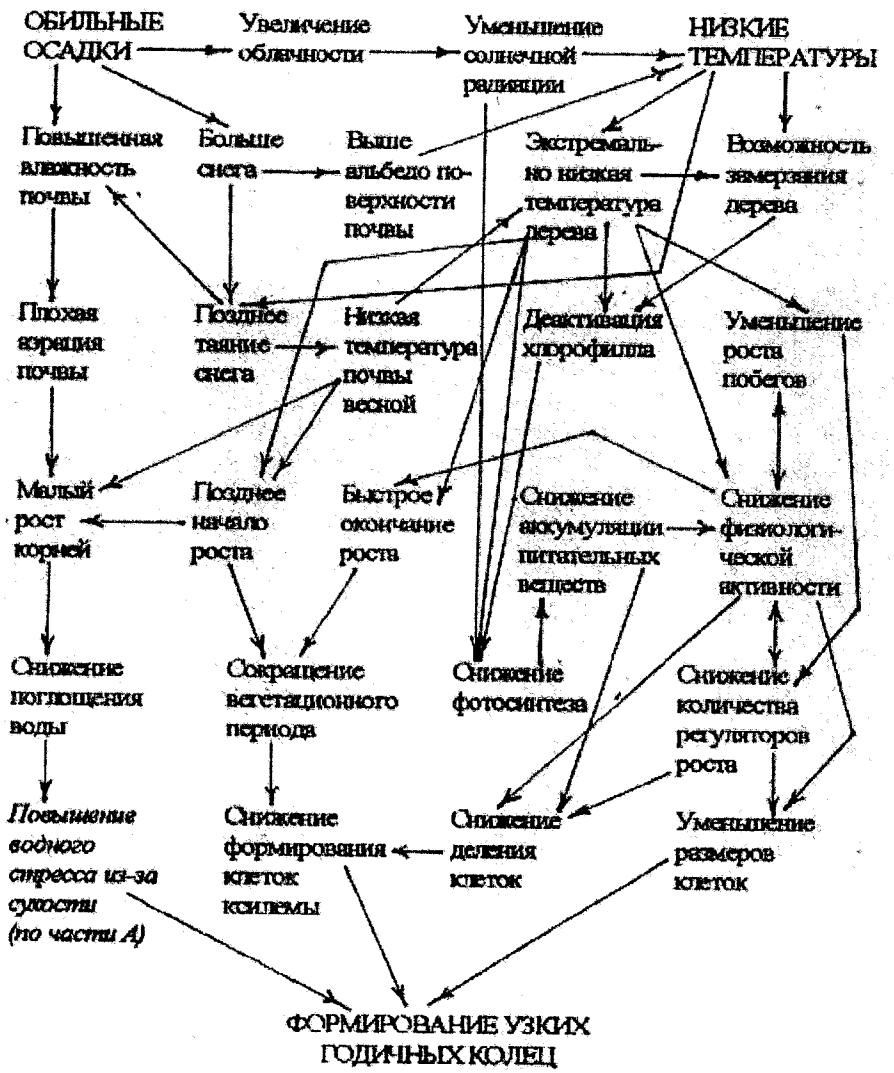

Рис. 3.4.3. Часть С. Влияние большого количества осадков и низких температур на формирование узких годичных колец

3.5. Физиологические основы изменчивости годичных колец и их возникновения в ходе эволюции под действием естественного отбора

В данном разделе более детально рассмотрены некоторые приведенные ранее положения о структуре годичных колец, эволюционные предпосылки их возникновения, физиологическая сущность дифференциации элементов, хронология открытий.

Первым исследователем, всерьез заинтересовавшимся процессами дифференциации клеток годичного кольца на раннюю и позднюю древесину, был Юлиус Сакс (Бюсген, 1906; Серебряков, 1941). В 1868 году им было высказано предположение, что образование осенней древесины с ее толстыми оболочками и узкими полостями клеток является следствием нарастающего к осени механического давления коры на камбий и новообразующиеся из него молодые клетки древесины. Усиление давления коры казалось Саксу естественным следствием постоянного увеличения в течение лета диаметра древесинного цилиндра.

Дискуссия, разразившаяся в научном сообществе, в итоге которой гипотеза Сакса была отвергнута, подробно изложена в труде М. Бюсгена (1906). Желая подтвердить гипотезу Сакса, Гуго де Фриз провел серию экспериментов. Осенью он производил на коре дерева надрезы для уменьшения ее давления. Несмотря на позднее время года, в отлагаемой древесине возникали волокна уже менее уплотненные, снабженные более крупными сосудами. Весной же, при наложении стягивающих или давящих повязок на древесные сучья, Фризу удалось искусственным путем вызвать образование осенней древесины с более сплюснутыми волокнами и с меньшим числом узких сосудов.

Следующим этапом проверки гипотезы Сакса стали опыты Г. Краббе, который в 1882 г. показал, что предполагаемое при опытах Сакса и де Фриза усиление давления коры на древесину в летний период вообще не происходит. Краббе показал, что кольцо коры, снятое с ветви или ствола, само собой настолько стягивается, что при новом наложении на старое место его концы уже не сходятся. Для надлежащей подгонки кольцо приходиться вытягивать. Сила, необходимая для растяжения, служит мерилом стягивания коры, иными словами, она выражает собой величину производимого ею давления в неповрежденном состоянии. Степень стягивания, или величина тангентального натяжения, разделенная на радиус дерева, дает величину давления коры на древесину в радиальном направлении. Тангентальное натяжение коры Краббе определял посредством гирек, растягивавших полоски коры до первоначальных размеров.

Измерения, систематически выполнявшиеся Краббе весной и осенью на одних и тех же деревьях, показали, что величина колебаний давления коры в ту или другую сторону за вегетационный период столь незначительна, что не может оказывать существенного влияния на деятельность камбия. Разница в давлениях коры, учитываемых одновременно на разных высотах ствола или ветви, оказалась в этих опытах значительнее, чем ничтожные колебания давлений коры для одного только поперечного сечения за целый вегетационный сезон. Кроме того, как отмечает Краббе, бывают примеры столь резкого перехода от ранней древесины к поздней, что совершенно непонятно, откуда могло возникнуть то внезапное давление, обусловившее такое резкое моментальное уплотнение клеток.

В более позднем труде (1884 г.), Краббе излагает результаты опытов, в которых ему удалось добиться уменьшения радиального размера элементов ксилемы при давлении не меньшем трех или пяти атмосфер. Однако в естественных условиях величины давления коры, измеренные Краббе, колебались у разных видов в течение вегетационнго сезона лишь в пределах 0,227-1,7 атмосфер.

После выхода в свет работ Краббе опыты де Фриза утратили для научного сообщества свою доказательную силу. В противовес теории Сакса в конце XIX века был создан ряд теорий образования годичных слоев, базировавшихся на представлениях о том, что причиной образования годичных колец является изменение условий питания камбия и содержания в нем воды, но отличавшихся в деталях истолкования этих процессов. Лишь в свете учения о растительных гормонах процесс регуляции деятельности камбия получил непротиворечивое объяснение.

Предтечей гормональной теории активности камбия следовало бы считать немецкого лесовода Теодора Гартига (1853), который отмечал, что радиальный прирост обычно начинает формироваться у основания тронувшейся в рост почки и распространяется по нисходящей в ветви и ствол (цит. по Zimmermann, Brown, 1971). В 30-е гг. XX века на основании обобщения ряда экспериментальных наблюдений М. Циммерманном была сформулирована теория, согласно которой индолил-уксусная кислота (ауксин), продуцируемая тронувшимися в рост почками и удлиняющимися побегами, базипетально распространяется и стимулирует активацию камбия весной (Zimmermann, Brown, 1971). В настоящее время считается, что помимо ауксина в данный процесс вовлечены и другие вещества, например, цитокинины и гиббереллины, раффиноза и галактоза (Zimmermann, Brown, 1971; Лир, Польстер, Фидлер, 1974; Ваганов, Терсков, 1977; Меняйло,1987; Коровин, Новицкая, Курносов, 2003 и др.).

В монографии Л.Н. Меняйло (1987) приводятся подробные данные о гормональном метаболизме хвойных в связи с формированием ими древесины. Автор отмечает, что сроки и интенсивность камбиальной деятельности и цитодифференцировки трахеид определяются специфичностью сезонных поступлений и динамики фитогормонов в прикамбиальной зоне ствола хвойных. На этот процесс влияет разновременность функционирования апикальных меристем побега и корней, рост молодой хвои и присутствие хвои старой. По высоте дерева наблюдается градиент фитогормонов, что обуславливает различия в сроках и интенсивности камбиальной деятельности и онтогенеза трахеид и определяет специфику строения годичных колец в разных частях ствола.

Исследования показывают, что этот процесс определяется изменением концентрации ауксина. Подробный обзор работ по означенной теме приведен в монографии Х. Лира, Г. Польстера, Г.И. Фидлера (1974). Особенно важно упомянуть результаты работ, показавших фотопериодический контроль перехода камбия к образованию поздней древесины. Со ссылкой на данные предшественников, в монографии отмечается, что лиственница европейская, сосна смолистая и ель обыкновенная при длинном дне образуют раннюю, а при коротком дне – позднюю древесину. Авторы отмечают, что фотопериод действует в данном случае, вероятно, лишь косвенно, путем управления образованием в листьях ауксинов и ингибиторов роста.

Исследованиями Е.А.Ваганова и И.А. Терскова (1977) установлено, что у ели продолжительность образования ранних трахеид в годичных кольцах совпадает с периодом прироста свежей массы хвои, формирование переходных трахеид по времени совпадает с падением прироста главного побега и окончанием его роста. У сосны ранние трахеиды формируются в то время, пока растет главный побег и пока прирост свежей массы хвои, выраженный в процентах к конечной величине, превышает прирост сухой массы.

Следует добавить, что в опытах В.П. Мальчевского (по Раздорский, 1955) у сосенок, культивировавшихся при постоянных условиях температуры, освещения и влажности почвы, все же образовывались слои прироста с зонами древесины раннего и позднего типа. Это рассматривалось В.Ф. Раздорским как несомненное свидетельство того, что гистологическая дифференцировка по зонам одного слоя прироста является отчасти результатом периодических перемен в воздействии среды на данное дерево, отчасти наследственным свойством, осуществлявшимся до некоторой степени независимо от периодических изменений в условиях среды.

Годичная слоистость, по данным Э.С. Джеффри (Jeffrey, 1917 по Вихров, 1959), отсутствует в древесине палеозойских и триасовых хвойных, появляется

она в юре. Дифференциация годичных слоев на раннюю и позднюю древесину у хвойных отчетливо отмечается с мезозоя. Появление годичной слоистости связывают с возникновением теплого и холодного периодов в течение года и, следовательно, с ростом необходимости в сезонной периодичности деятельности меристемы.

В диссертации Н.Е. Косиченко (1999) значительное внимание уделено анализу того факта, что у хвойных ширина слоя поздней древесины в годичном кольце в онтогенезе остается практически постоянной, тогда как у лиственных кольцесосудистых пород постоянна, напротив, ширина ранней части. Данные отличия, с точки зрения автора, имеют глубокий биологический и эволюционный смысл. Ширина поздней древесины у хвойных и ширина ранней древесины у кольцесосудистых – жестко генотипически детерминированные признаки, слабо зависящие от условий внешней среды. Особенно важным в выводах Н.Е. Косиченко, на наш взгляд, является утверждение, что поздняя древесина хвойных и поздняя древесина кольцесососудистых – признаки с разной генетической обусловленностью. Данное утверждение является серьезным доводом в пользу гипотезы независимого возникновения пиноксильности у двудольных.

Вопросы эволюции пиноксильности более подробно рассмотрены в монографии Е.С. Чавчавадзе (1979). В частности, автор отмечает, что большинство ископаемых растений, такие как лепидодендроны, семенные папоротники, беннеттитовые, так же, как и сохранившиеся до наших дней древовидные папоротники и саговниковые, относятся к маноксильным растениям, т.е. к тем, у кого основная масса ствола занята паренхимными тканями. К пиноксильным растениям относят кордаитовые и хвойные, у них основная масса ствола занята ксилемой, выполняющей помимо водопроводящей также механическую функцию поддержки кроны. Считается, что у двудольных пиноксильный тип организации появился независимо от хвойных. Камбий у маноскильных растений активен непродолжительное время, со временем его элементы полностью дифференцируются. У пиноксильных, напротив, камбий активен в течение всей жизни дерева, что, безусловно, открывает более широкие возможности для адаптивных реакций в ходе онтогенеза.

Итак, пиноксильность, а затем и периодичность в активности камбия и ее следствие – годичная слоистость у разных групп растений – возникали независимо. Очевидно, это подтверждает большую адаптационную ценность данного признака. В чем же биологический смысл подразделения годичного слоя на раннюю древесину (клетки которой имеют большие полости, но тонкие клеточные стенки) и позднюю (клетки которой имеют маленькие полости и

толстые клеточные стенки)? Принято считать, что ранняя древесина хорошо приспособлена для транспорта воды по стволу дерева, тогда как поздняя обеспечивает стволу механическую прочность. У хвойных клетки ранней и поздней древесины отличаются не только толщиной стенок, но и количеством и размерами окаймленных пор. Ранние трахеиды имеют на своих радиальных стенках большое количество крупных окаймленных пор, поздние трахеиды содержат более мелкие окаймленные поры и в гораздо меньшем количестве (Москалева, 1957).

В целом поздняя древесина у сосны, лиственницы и ели в 2,5-3 раза превышает раннюю по таким показателям, как плотность и модуль упругости. У лиственных пород отличия ранней и поздней древесины по физико-механическим свойствам выражены не так ощутимо, такой показатель, как превышение плотности ранней зоны над поздней, изменяется от 1,1 у граба до 1,4 у ольхи (Санаев, 1996).

Хорошо известно, что существование годичных колец в древесине в своем географическом аспекте оказывается сопряженным с наличием холодного сезона в течение года. В условиях мягкого тропического и субтропического климата годичные кольца почти не выражены, это лишь одиночные ряды толстостенных трахеид, появляющиеся в массе тонкостенных элементов ксилемы, например, у таких хвойных, как многие представители семейств Araucariaceae, Podocarpaceae, Cupressaceae (Чавчавадзе, 1979).

Вероятно, первым этапом на пути эволюции данного признака у хвойных стала закономерность, согласно которой при замедлении дифференциации производных камбия возникал однорядный слой толстостенных клеток, играющих роль арматуры. Эта особенность обуславливала появление так называемых ложных годичных колец, широко распространенных и в настоящее время у пород, произрастающих в субтропическом климате (Лобжанидзе, 1961).

В то же время по мере разделения климата на умеренный и холодный сезоны года работе камбия потребовалась синхронизация с ходом изменения климатической обстановки в течение года. Важную роль в этом процессе, по-видимому, играли фотопериодические механизмы. Можно предполагать, что холодная зима предъявляла повышенные требования к отбору на прочность ствола за счет таких факторов, как морозобой и снеговал, что и потребовало от древесных растений формирования широких слоев поздней древесины. Затруднения в транспорте воды по такой древесине, в свою очередь, вероятно, обусловили отбор на формирование выраженного слоя ранней древесины.

4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ. ТОЧНОСТЬ УЧЕТА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДРЕВОСТОЕВ

4.1. Основные принципы дендрохронологии (по С.Г. Шиятову)

С.Г. Шиятов (1973, 2000), основываясь на работе Г. Фритса (Fritts, 1969), выделяет следующие основные принципы (положения) дендрохронологии: закон лимитирующих факторов, отбор местообитаний, чувствительность, перекрестное датирование, актуализм (униформизм), повторность.

1. Закон лимитирующих факторов (закон минимума Либиха).

Биологические процессы, в частности, рост, не могут протекать быстрее, чем это позволяет наиболее лимитирующий фактор. Если этот фактор по какой-либо причине перейдет в разряд оптимальных, скорость роста будет возрастать до тех пор, пока другой фактор (или факторы) не станет лимитирующим.

Согласно этому закону, для дендрохронологического анализа следует брать образцы с таких деревьев, величина годичного прироста которых прямо или косвенно лимитируется каким-либо внешним фактором. В том случае, когда рост ограничивается одновременно несколькими факторами, при нахождении зависимостей используются комплексные показатели (например, гидротермические коэффициенты).

2. Принцип отбора местообитаний.

Этот принцип является составной частью закона лимитирующих факторов. Он требует, чтобы при дендрохронологических исследованиях образцы древесины брали с таких местообитаний, где проявляется действие лимитирующих факторов. Например, если на основе анализа изменчивости годичного прироста деревьев требуется восстановить количество выпавших осадков, то в этом случае необходимо брать модельные деревья с наиболее сухих местообитаний, режим увлажнения которых определяется в основном атмосферными осадками.

3. Принцип чувствительности.

В местообитаниях, благоприятных для роста деревьев, формируются широкие годичные кольца, причем ширина их от года к году колеблется в незначительных пределах. У таких деревьев обычно хорошо выражено закономерное изменение темпов роста с возрастом (возрастной тренд). Подобная последовательность в изменчивости ширины годичных колец получила название «благодушной». В экстремальных для произрастания древесных растений условиях годичные кольца прироста древесины более узкие, а ширина их сильно колеблется от года к году. Часто наблюдается выпадение колец. Такие серии колец называются «чувствительными». Чем

сильнее погодичная изменчивость величины прироста, тем более надежным индикатором внешних условий она является.

Деревья с наивысшей чувствительностью отбирают для построения дендрохронологических шкал.

4. Принцип перекрестного датирования.

Древесные растения, произрастающие в пределах какого-либо района, величиной прироста сходно реагируют на изменение внешних факторов. В благоприятные по климатическим условиям годы формируются широкие кольца, в неблагоприятные – узкие. В связи с этим у большей части деревьев наблюдается синхронное изменение ширины годичных колец как во времени, так и в пространстве (в пределах однородного по климатическим условиям района). Особенно показательны узкие кольца, когда прирост в наибольшей степени лимитируется какими-либо факторами (например, недостаток влаги при засухе). Широкие кольца обычно менее показательны, так как в благоприятные годы они формируются не у всех деревьев в связи с лимитирующим воздействием каких-либо местных и второстепенных факторов. Чем более чувствительна та или другая кольцевая серия, то есть, чем сильнее прирост зависит от климатических факторов, тем легче производить датировку.

Чередование узких и широких колец неповторимо во времени, поэтому совместить графики изменения ширины колец у сравниваемых деревьев можно лишь в пределах строго определенного участка дендрохронологической шкалы. Перекрестное датирование – это сравнение сходных рисунков колец у различных деревьев и выбор точного места, где соответствие между ними найдено.

Задача датировки – точно определить год формирования всех годичных колец в серии путем обнаружения ложных и выпадающих. Выявление последних производится при помощи изучения изменчивости ширины колец у многих деревьев. В случае наличия ложного или выпадающего кольца в определенном отрезке кривой нарушается синхронность в колебаниях ширины годичных колец.

Таким образом, перекрестное датирование включает нахождение соответствия в характере изменчивости ширины колец среди исследуемых образцов, определение несовпадений, точное определение места, где находятся ложные и выпадающие кольца. По результатам этих операций строятся региональные дендрохронологические шкалы, основанные на относительных различиях в ширине годичных колец.

Метод перекрестного датирования дает возможность производить относительную и абсолютную датировку времени формирования древесных колец прироста. Относительная датировка заключается в определении пар

колец у сравниваемых образцов, которые сформировались в один и тот же год, но календарная дата еще не известна. Абсолютная датировка включает в себя точное определение календарной даты всех годичных колец у исследуемых образцов. Она может быть осуществлена только в том случае, если известна календарная дата рубки дерева (или взятия бурового образца) хотя бы у одной из перекрестно датированных серий.

Благодаря методу перекрестного датирования представляется возможным расширять древесно-кольцевые хронологии далеко в глубь веков, за пределы возраста самых старых деревьев. Для этих целей используется давно срубленная (археологическая) и ископаемая сохранившаяся древесина. Считается, что для надежной датировки необходимо, чтобы сравниваемые кольцевые серии перекрещивались не менее чем на 50 колец. Величина минимального промежутка перекрещивания в основном зависит от чувствительности и синхронности сравниваемых кольцевых серий.

5. Принцип актуализма (униформизма).

Физические и биологические процессы, обуславливающие изменения в росте дерева под воздействием факторов окружающей среды в настоящее время, вызывали подобные же изменения в прошлом.

Принцип униформизма базируется на сравнительно-историческом методе исследований в естествознании и разработан одним из основателей геологии, английским геологом Ч. Лайелем, в первой половине XIX века. Суть принципа заключается в утверждении, что факторы, действующие сейчас, определяли развитие природы и в прошлом.

6. Принцип повторности.

В настоящее время, когда статистические методы широко используются при обработке и оценке полученных данных, принципу повторности уделяется все большее внимание и при изучении древесно-кольцевых серий (дендрохронологических рядов). Особенно важно соблюдать этот принцип при дендроклиматических исследованиях. При построении дендрошкал лишь для целей датирования необходимое количество образцов в основном зависит от частоты встречаемости ложных и выпадающих колец.

4.2. Точность учета радиального прироста древостоев (обеспечение принципа повторности)

Для уменьшения индивидуальных различий в изменчивости ширины годичных колец, обеспечения возможности статистической обработки полученного ряда и для определения средней ширины годичных колец с заданной точностью (для обеспечения статистической достоверности

результатов исследований) следует установить необходимое количество учетных деревьев (образцов древесины).

Достоверными результатами следует называть такие результаты выборочного исследования, которые совершенно определенно оценивают генеральный параметр (Плохинский, 1970, с. 30). Т.е., в нашем случае, средняя арифметическая ширина годичного кольца за каждый год, рассчитанная по количеству образцов N, должна достоверно отражать среднюю ширину годичного кольца всего обследованного древостоя. Необходимое число образцов для достоверного установления средней ширины годичного кольца в древостое с заданной точностью можно рассчитать по формуле (Дударев и др., 1978):

$$N = t_{st}^2 \cdot CV^2 / P^2,$$

где N – необходимое число образцов (спилов, кернов);

CV – коэффициент варьирования ширины годичных колец в древостое;

P – заданная точность исследования (в биологических исследованиях принято считать приемлемой для практических целей точность исследований 10 %);

t_{st} – показатель надежности (критерий Стьюдента), определяемый в зависимости от установленного (заданного) критерия вероятности безошибочных прогнозов (β) (табл. 4.2.1):

Таблица 4.2.1

Значения критерия Стьюдента в соответствии с критерием вероятности

β	0,68	0,95	0,99	0,999
t_{st}	1	2	2,6	3,3

Для заданной 10 %-й точности исследований, при вероятности β = 0,95, необходимое число образцов (N) зависит от коэффициента варьирования ширины годичных колец (CV) (табл. 4.2.2):

Таблица 4.2.2

Необходимое число образцов в соответствии с коэффициентом варьирования при вероятности 0,95

CV	25	30	35	40	45	50
N	25	35	49	64	81	100

При той же точности (10 %) и вероятности β = 0,68 (табл. 4.2.3):

Таблица 4.2.3

Необходимое число образцов в соответствии с коэффициентом варьирования при вероятности 0,68

CV	25	30	35	40	45	50
N	6	9	12	16	20	25

Проведенные нами исследования (Матвеев, 1994; 2001; 2003) показали, что средний коэффициент варьирования ширины годичных колец в сосновых древостоях Центральной лесостепи составляет 30 %: 15-25 % – в чистых одновозрастных древостоях (40-45 лет) искусственного происхождения; 25-35 % – в естественных сосняках возраста 120-140 лет; до 42 % в древостоях, подверженных интенсивному аэротехногенному и рекреационному воздействию. Минимальное количество образцов древесины для обеспечения 10 %-й точности исследований (при вероятности 0,68 и среднем коэффициенте варьирования 30 %): N = 9.

Минимально необходимым количеством для обеспечения достоверности дендрохронологических исследований многие исследователи считают 10 образцов (Феклистов и др., 1997; Шиятов и др., 2000).

Исследования П.А. Феклистова, В.Н. Евдокимова, В.М. Барзут (1997) в сосновых насаждениях Архангельской области показали, что изменчивость радиального прироста в отдельные годы в древостое редко превышает 50 %. Изменчивость годичного прироста, выраженного в индексах - %, – еще меньше. Названные авторы рассчитали необходимое число учетных деревьев при коэффициенте изменчивости 50 % и вероятности 0,9. Оказалось, что при установлении прироста древостоя в относительных величинах (индексах - %) требуется приблизительно в два раза меньше учетных деревьев для получения одной и той же точности расчета (табл. 4.2.4).

Таблица 4.2.4

Точность определения радиального годичного прироста в зависимости от количества учетных деревьев (числитель – точность учета в индексах - %, знаменатель – в мм) (Феклистов др., 1997)

Тип леса	Число учетных деревьев									
	5	10	15	20	25	30	40	50	100	500
Сосняк мохово-лишайник.	14,9 / 30,4	10,5 / 25,3	8,6 / 17,5	7,4 / 15,2	6,7 / 13,6	6,1 / 12,4	5,3 / 10,7	4,7 / 9,6	3,3 / 6,8	1,5 / 3,0
Сосняк кустарн.-сфагновый	16,0 / 34,7	11,3 / 24,5	9,3 / 20,0	8,0 / 17,3	7,2 / 15,5	6,5 / 14,2	5,7 / 12,3	5,1 / 11,0	3,6 / 7,8	1,6 / 3,5

Для получения прироста древостоев (в индексах - %) с точностью 10 % при вероятности 0,9 достаточно измерить его у 10-20 учетных деревьев, а для получения такой же точности в абсолютных величинах – у 45-50 деревьев.

Использование при расчете среднего годичного прироста древостоев 40-60 учетных деревьев для получения 10 % точности исследований чрезвычайно трудоемко как на этапе отбора образцов, так и при проведении измерений. П.А. Феклистов, В.Н. Евдокимов, В.М. Барзут (1997) разработали способ учета годичного прироста древостоя по малому числу учетных деревьев, т.к. между приростом соседних деревьев наблюдается взаимосвязь: увеличение прироста одного дерева компенсируется соответствующим уменьшением прироста соседнего (Гортинский, 1971), поэтому предлагается изучать прирост соседних деревьев на круговых площадках (площадь 400 кв.м. – радиус 11,29 м). Количество учетных деревьев на круговых площадках колеблется от 8 до 14. Указанные авторы установили, что различия средних значений годичного прироста, рассчитанного по количеству учетных деревьев на круговых площадках и по 100 учетным деревьям, не достоверны. Таким образом, на малом количестве учетных деревьев (8-14) получена высокая точность прироста древостоя (около 6 %) в абсолютных величинах.

5. ЦИКЛИЧНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ. ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ

5.1. Ритмичность природных процессов

Основой организованности биосферы служит система ритмов. Ритмикой называется повторяемость во времени комплекса процессов, которые развиваются в одном направлении (Войткевич, Вронский, 1989, с. 107). Ритмичность является основополагающим фактором пространственно-временной изменчивости природных явлений. Ритмы по-разному проявляются как во времени, так и в пространстве, что осложняет изучение и, в особенности, количественные оценки их проявления.

Можно принять следующую градацию природных процессов (по их пространственно-временной изменчивости) (Комин, 1978):

1. Ритмические (закономерные);
2. Случайные.

Ритмические, в свою очередь, подразделяются на:

a) периодические;
b) циклические.

У периодических процессов их параметры (период, амплитуда и фаза) являются строго фиксированными, и в этом случае развитие осуществляется (с обязательным присутствием направленности) по «точной спирали». Циклические, или квазипериодические, процессы характеризуются только средними статистическими параметрами (период, амплитуда и фаза изменяются), и их развитие идет по «бракованной спирали», у которой непостоянны радиусы отдельных витков и различные расстояния между витками. Т.е. повторение комплекса явлений наблюдается через равные (периодические) или переменные (циклические) отрезки времени соответственно.

В природе события в своих существенных чертах повторяются через некоторый, не обязательно строго равномерный, промежуток времени, т.е. развиваются циклично.

Н.В. Ловелиус (1979) считает целесообразным выделять следующие ритмы природных явлений:

1) ритмы геологической истории Земли, связанные главным образом с эволюцией литосферы и органического мира;

2) ритмы, отражающие изменения ландшафтно-географических зон, атмосферных процессов и биосферы в целом, фиксируемые в основном палеогеографическими методами;
3) ритмы современных физико-географических процессов, фиксируемые биологическими индикаторами и инструментальными наблюдениями в атмосфере, гидросфере, биосфере, литосфере и других средах.

На примере современных ритмов четко прослеживаются и наиболее доказательные связи земных и космических явлений.

Природные циклы имеют различную длительность. По длительности выделяют 6 типов природных циклов (табл. 5.1.1.).

Таблица 5.1.1.

Природные циклы (Атлас..., 1998)

Типы	Длительность формирования	Уровни организации
Мегациклы	0,1-5 млрд лет	Оболочки
Макроциклы	1-100 млн лет	Формации
Мезоциклы	10-1000 тыс. лет	Пачки
Микроциклы	0,1-10 тыс. лет	Слои
Наноциклы	1-100 лет	Слойки
Пикоциклы	160 мин.-1 год	Пульситы

Прим.: приведенные в таблице шесть групп (типов) природных циклов включают 21 класс.

Например: история Земли – 4,6 млрд. лет – 1-й класс;
солнечный наноцикл – 11 лет – 15-й класс;
лунный пикоцикл – 14 дней – 19-й класс.

Ритмы достаточно четко проявляются в неорганической и органической природе и являются обязательным элементом структуры геосфер Земли.

Наиболее крупный ритм развития климатической системы (мегацикл) длится около 200 млн лет. Он завершается коренной перестройкой земной коры и, соответственно, радикальными изменениями климата. Следующий, более короткий, цикл (макроцикл) имеет продолжительность 50 млн лет (перестройка природной зональности). На длительные циклы развития накладываются циклы низших рангов. В частности, выделяется цикл, охватывающий десятки – первые сотни тысяч лет (мезоцикл). Еще более короткоритмичные изменения климата связаны с колебаниями солнечной активности. Это микроциклы, продолжительностью 1800-1900 лет (цикл Шнитникова), 180-190 лет; это наноциклы: 80-90 лет (вековой), 30-35 лет (цикл Брикнера), 22 года (магнитный, или цикл Хейла), 11 лет (солнечный, или цикл Швабе-Вольфа), а

также циклы меньших порядков – 5-6–летние, 3-4–летние, менее 2 лет (табл. 5.1.2). Обращает на себя внимание иерархия циклов, которые вносят различный вклад в ход развития природных процессов, что значительно затрудняет их изучение.

Таблица 5.1.2

Колебания солнечной активности (циклы), лет

1800-1900	180-190	80-90	30-35	21-23	7-15	5-6	3-4	< 2

Значение ритмики исключительно велико для биосферы, так как в ней идёт фиксация солнечной энергии растениями, а также происходит развитие органического мира и его эволюция.

Основные положения о пространственной и временной изменчивости природных процессов в различных геосферах Земли рассмотрены в ряде классических работ отечественных естествоиспытателей: В.И. Вернадского, А.И. Воейкова, В.В. Докучаева, Д.И. Менделеева, В.Н. Сукачёва, А.Л. Чижевского, К.Э. Циолковского, А.В. Шнитникова, Е.В. Максимова.

Ритмическая изменчивость увлажнения материков северного полушария разработана Арсением Владимировичем Шнитниковым (1898-1983), выдающимся русским гидрологом (1957, 1968). Наиболее ясно выражен и изучен 1800-1900 летний ритм (цикл), часто называемый «ритм Шнитникова».

Стройное учение о системе космических ритмов, являющихся основой организованности окружающего нас мира, представлено в трудах последователя и соратника А.В. Шнитникова, ученого-географа Евгения Владиславовича Максимова (1930-1999): «Учение о ритмах в природе», 1992; «Ритмы на Земле и в космосе», 1995.

Значительные результаты достигнуты в изучении ритмики биологических процессов (Ловелиус, 1979; Атлас ..., 1998), в том числе и в изменчивости прироста деревьев (Комин, 1978, Ловелиус, 1979, 2000; Таранков, 1990; Матвеев, 2003 и др.).

Российским ученым Юрием Николаевичем Соколовым (1998, 2000, 2003 гг.) и его коллегами разработана ***общая теория цикличности в природе и обществе.*** Центральным положением этой теории выступило утверждение, что любое взаимодействие природа строит по универсальной и абсолютной схеме, структуре. Именно данная структура, по мнению Ю.Н. Соколова, выступает как первооснова мироздания. По Ю.Н. Соколову, циклические процессы характеризуются двумя параметрами: структурой времени и структурой пространства. Структура времени описывается раскручивающейся или скручивающейся спиралью, а структура пространства – волнообразной кривой. Таким образом, циклические процессы со стороны времени – циклические, а со

стороны пространства – ритмические. Ритмичность – это форма своеобразной пульсации биосферы как целостной системы.

Знание ритмики естественного хода природных процессов позволяет прогнозировать изменения, вызываемые естественными колебаниями, а также обнаруживать и оценивать нарушения, вызванные антропогенным воздействием.

5.2. Солнечная активность. Цикличность солнечной активности

Совокупность физических явлений, происходящих на Солнце, принято называть солнечной активностью. Внешне солнечная активность проявляется в возникновении в атмосфере Солнца характерных образований: солнечных пятен и факелов в фотосфере, флоккулов и вспышек в хромосфере, протуберанцев в солнечной короне. Эти явления обычно взаимосвязаны, и области, где в совокупности они происходят, называются центрами солнечной активности. Непосредственное воздействие на атмосферу Земли (и магнитосферу Земли) оказывает солнечное корпускулярное излучение (солнечный ветер) – поток солнечной плазмы со скоростью 500-1000 км/с.

Наиболее очевидным проявлением солнечной активности являются солнечные пятна. Солнечные пятна – это темные образования, температура которых на 1500-2000 К ниже средней температуры поверхности Солнца. Пятна рождаются в «королевских широтах» (10-30^0 широты по сторонам солнечного экватора). Их рассматривают как вихри с воронкообразными расширениями на вершине. Движение вещества совершается снизу вверх, образуя восходящий вихрь. Скорость достигает огромных величин, и газы охлаждаются вследствие их быстрого расширения по мере приближения к вершине вихря. Пятна – вершина, конец вихря. Вихревым движением заряженных электрических частиц вызывается конвекционный ток, который сопровождается индукционными токами в соседних проводниках. Ток образует магнитное поле. Таким образом, пятна – колоссальные магниты, униполярные, биполярные, мультиполярные. В среднем диаметр пятен равен 37000 км. Пятна, как правило, объединяются в группы. Группы солнечных пятен, однажды возникнув, не меняют своих координат и вращаются вместе с Солнцем. Солнце вращается вокруг своей оси, из-за этого воздействие активной области на Землю повторяется с периодом примерно 27 суток. Возникают так называемые рекуррентные возмущения геомагнитного поля.

За пятнами на солнце астрономы наблюдают очень давно. В китайских летописях, например, сохранилась запись о наблюдениях за солнечными пятнами еще в 28 году до нашей эры. Исследования пятен начали в 1610-1611

годах, одновременно и независимо друг от друга, итальянские ученые Галилей и Шейнер, голландец Фабриций и англичанин Гарриот. В 1851 году Генрих Швабе (астроном-любитель) в Дессау (Германия) объявил о периодическом изменении в числе пятен. По данным наблюдений за 1826-1843 гг. он установил десятилетний цикл в поведении солнечных пятен. Рудольф Вольф (1816-1893), цюрихский астроном, систематизировал наблюдения за солнечными пятнами за 2,5 столетия и построил непрерывный временной ряд относительных чисел с 1700 по 1847 год. Он дал период 11 лет и определил максимум и минимум солнцедеятельности (11-летний цикл – среднеарифметический, колеблется от 7 до 17 лет).

Относительные числа – числа Вольфа (W) – характеризуют солнечную активность и определяются для каждого дня наблюдений по формуле

$$W = K \times (10g + F),$$

где g – число наблюдений групп и отдельных пятен в определенный момент времени,

F – полное число пятен, подсчитанных в этих группах и отдельно,

K – коэффициент, зависящий от наблюдателя и инструмента наблюдения.

Непрерывный, постоянно пополняющийся временной ряд среднегодовых чисел Вольфа существует с 1700 года, а среднемесячных – с 1749 года. Солнечным циклам дана нумерация. Первым считается цикл от минимума 1755 г. до минимума 1766 г. В 2008 году наблюдался минимум солнечной активности, закончивший 23-й цикл, и с 2008 года начался 24-й 11-летний цикл активности Солнца.

Годы, в которые числа Вольфа имеют максимальную или минимальную величину, называют, соответственно, эпохами максимума или минимума 11-летнего цикла солнечной активности. Интервал времени от эпохи минимума до эпохи максимума получил название ветви роста, а от эпохи максимума до эпохи следующего минимума – ветви спада 11-летнего цикла (Витинский, 1969).

В эпоху минимума происходит смена магнитной полярности групп солнечных пятен. Следовательно, 11 лет – период изменения количества пятен, а полный магнитный период – 22 года (нечетная и четная пара 11-летних циклов). 23-й цикл имел положительную магнитную полярность (для северного полушария Солнца), а текущий 24-й цикл имеет, соответственно, отрицательную полярность.

Физический механизм воздействия солнечной активности на климат Земли и другие природные процессы достаточно сложен и до сих пор не до конца раскрыт. Чаще всего воздействие солнечной активности на процессы,

происходящие в тропосфере Земли и на ее поверхности, является опосредованным: через изменение интегральной и спектральной характеристик солнечной постоянной, ионизацию верхней атмосферы, изменение и усиление общей циркуляции атмосферы и т.д.

Основоположником науки о солнечно-земных связях – гелиобиологии – является русский ученый Александр Леонидович Чижевский (1897-1964). В 1976 г. впервые на русском языке была издана его книга «Земное эхо солнечных бурь» (первое издание – в 1938 г., Франция). Это пока единственная и наиболее полная сводка данных по гелиобиологии в мировой научной литературе. В своей книге А.Л. Чижевский приводит интереснейшие графики, свидетельствующие о совпадении с максимумами солнцедеятельности: максимумов циклонов в Индийском океане; частоты бурь на озере Байкал; повышения уровня воды в Ладожском озере, озере Виктория, уровня Каспийского моря; интенсивности магнитных бурь; частоты полярных сияний и даже таких явлений, как, например, время прилета жаворонков в Московской губернии; улов трески на Финмаркенских рыбных промыслах. А.Л. Чижевский сумел обнаружить зависимость между активностью Солнца и здоровьем людей. Количество сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонических кризов, нервных расстройств резко возрастает в период бурных проявлений активности Солнца. Инфекционные заболевания, такие как чума, холера, тиф, активизировались в XVIII-м веке в годы, совпадающие с максимумами солнечной активности. Циклические колебания, связанные с солнечной деятельностью, наблюдаются и в многолетнем режиме температур воздуха, осадков, различных погодных аномалий, в динамике роста и плодоношения деревьев.

5.3. Цикличность прироста деревьев и ее связь с солнечной активностью

Изучение связи прироста древесных растений с изменениями геомагнитной и солнечной активности является частью сложной и обширной проблемы солнечных воздействий на биосферу. Наличие в изменчивости прироста деревьев солнечно обусловленной цикличности выявил А.Э. Дуглас (Douglass, 1909, 1919, 1937 и др.). Он установил следующие циклы в радиальном приросте обследованных им деревьев:

5-6 лет – половина солнечного цикла,

10 - 13 лет – первый солнечный цикл,

21 - 24 года – двойной солнечный цикл,

32 - 34 года – тройной солнечный цикл,

100 - 103 года – трижды тройной цикл.

Наличие вековой цикличности в развитии лесной растительности лесостепи и изменении прироста деревьев по диаметру исследовал М.П. Скрябин (1946). В частности, он обнаружил, что различные древесные породы (сосна, дуб), в различных лесорастительных условиях реагируют на изменение природных условий не одинаково. Причины образования вековых циклов природных условий М.П. Скрябин видит в смене фаз векового цикла солнечной активности. Он отмечает, что периоды минимума и периоды максимума солнечной активности для лесостепи приходятся на периоды уменьшения количества осадков и учащения засух; прохождение ветви подъема солнечной активности сопровождается общим увеличением увлажнения и амплитуды колебаний в увлажнении и температурах; прохождение ветви спада солнечной активности, растянутое на более длительное время, сопровождается также некоторым увеличением количества осадков, главным образом, в середине этого периода. М.П. Скрябин указывает на еще одну, чрезвычайно важную в дендроклиматическом исследовании, закономерность: «Каждый географический район – при некоторой общности чередования гидроклиматических отклонений в широтном направлении – имеет свой индивидуальный режим векового цикла, не вполне сходный с режимом соседних районов».

С.И. Костин (1940, 1955, 1962, 1963, 1965 и др.) изучал колебания климата в Центральной лесостепи Русской равнины по данным прироста ясеня, дуба и других пород и обнаружил четкую связь циклических колебаний прироста деревьев с солнечной активностью. По данным С.И. Костина (1963), в периоды пониженной (в вековом цикле) солнечной активности прирост дубовых древостоев увеличивается, а во время повышенной солнечной активности – уменьшается. Кроме вековых циклических колебаний прироста дуба, С.И. Костин обнаружил и внутривековые колебания. Они имеют период от 6 до 15 лет, причем в годы максимальной активности Солнца могут быть как повышенные, так и пониженные приросты дуба. Средние интервалы между соседними наибольшими и наименьшими приростами дуба определяются в 11 лет, т.е. соответствуют одиннадцатилетнему циклу солнечной активности.

Н.В. Ловелиус (1979) изучил связь прироста хвойных на верхней границе леса в Евразии с изменениями активности Солнца в 11- и 22-летнем циклах. В эпоху максимума активности Солнца в 11-летнем цикле наступает угнетение прироста хвойных в горах, а в эпоху минимума – улучшение, причем оба экстремума проявляются спустя 2 года от максимума и минимума солнечной активности. Этот результат говорит о том, что увеличение активности Солнца для древесных растений высокогорий является неблагоприятным фактором. По мнению автора, обратную связь прироста хвойных на верхнем пределе

произрастания леса с активностью Солнца можно объяснить тем, что в год максимума активности Солнца ультрафиолетовой радиации поступает в 20 раз больше, чем в год минимума. Проведенный Н.В. Ловелиусом анализ спектральной плотности обобщенной серии годичных колец по десяти горным районам выявил наибольшую значимость цикла близкого к 22-летнему. Кроме того, с меньшей вероятностью, проявились 11- , 5-6- и 4-летние циклы.

Анализ изменений прироста деревьев на северной границе леса показал, что они, в отличие от верхней границы, происходят в 11-летнем цикле синхронно с активностью Солнца, а не в противофазе.

По данным Е.В. Дмитриевой (1987), в сосновых лесах Бузулукского бора (Центральная лесостепь) в динамике прироста древостоев различных групп типов леса четко выделяется цикличность со средним периодом в 29 и 11 лет. Корреляция между ходом солнечной активности и прироста за весь период наблюдений сравнительно невелика (корреляционное отношение – 0,2-0,3). Вековой цикл прироста в сосняках Бузулукского бора проявляется усилением мощности (периода и амплитуды) вершинных в вековом ходе 29- и 11-летних циклов (т.е. циклов, максимумы которых совпадают с максимумом векового цикла) и повышением корреляционной связи прироста с солнечной активностью, которая достигает здесь 0,9. В исследованных Е.В. Дмитриевой сосняках графики хода прироста древостоев являются зеркальным отражением хода солнечной активности, со сдвигом максимума прироста от минимума солнечной активности от 2 до 6 лет.

По результатам исследований П.А. Феклистова и др. (1997) в динамике радиального прироста сосны в северной подзоне европейской тайги наиболее выделяются циклы с периодом: 4-8, 10-18, 21-25 и 32-36 лет. Циклы продолжительностью 10-18 лет встречаются во всех исследованных рядах (100 %), циклы продолжительностью 21-25 лет – в 69 % рядов, с периодом 4-8 лет – в 38 % рядов, более продолжительные циклы – 32-36 лет – встречаются только в рядах протяженностью более 90 лет. Установленные циклы характерны для сосны, произрастающей в различных лесорастительных условиях, то есть тип леса не оказывает влияния на протяженность циклов. Корреляционный анализ связи между приростом и солнечной активностью показал невысокую тесноту связи, корреляционное отношение от 0,35 до 0,51.

В динамике прироста сосны обыкновенной в Центрально-Черноземном районе четко выражена 10-12-летняя цикличность. Часто обнаруживаются 2-3, 4-6, 22, 30-35 и 80-90-летние циклы (Таранков, 1993).

По данным С.М. Матвеева (2000, 2012), в 125-летнем сосняке (Усманский бор, лесостепь) наиболее ясно прослеживается цикличность, близкая к 11-летней, с колебаниями от 8 до 14 лет (по минимумам прироста):

1884 - 1897 – 13 лет	1950 - 1964 – 14 лет
1897 - 1910 – 13 лет	1964 - 1972 – 8 лет
1910 - 1921 – 11 лет	1972 - 1984 – 12 лет
1921 - 1929 – 8 лет	1984 - 1996 – 12 лет
1929 - 1939 – 10 лет	1996 - 2010 – 14 лет
1939 - 1950 – 11 лет	

Кроме того, 11-летняя цикличность повторяется еще раз, по минимумам меньшей интенсивности, совмещение этих колебаний дает цикличность меньшего порядка (3-7 лет). Хорошо заметна 33-38-летняя цикличность прироста: 1905 – 1939 – 1972 – 2010 гг.

Проведенный анализ динамики прироста в пределах 11-летнего цикла солнечной активности (методом наложенных эпох) показал, что максимальные величины прироста наблюдаются на ветви подъема (за 2-3 года до эпохи максимума солнечной активности), а минимум прироста – на ветви спада. Корреляционный анализ зависимостей между индексами прироста и солнечной активностью выявил умеренную тесноту связи: корреляционное отношение – 0,41; между индексами поздней древесины и солнечной активностью – 0,45.

Все рассмотренные в этом разделе исследования подтверждают полициклический характер колебаний радиального прироста деревьев и наличие связей изменчивости прироста с солнечной активностью. Проявление этих связей, в различных географических районах и различных лесорастительных условиях далеко не однозначно и требует дальнейшего изучения.

5.4. Солнечная активность → циркуляция атмосферы → климатические изменения → прирост деревьев

Солнечная активность определяет не только режим верхних слоев атмосферы, но и весь характер тропосферной циркуляции, т.е. ее интенсивность и тип. А так как современные изменения климата зависят лишь от колебаний циркуляционного режима, то астрофизической первопричиной современных климатических изменений является солнечная деятельность (Эйгенсон, 1963). Все наиболее яркие циклы солнечной деятельности: отдельные вспышки, 27-дневные вариации, 11-летний и вековой циклы – создают соответствующие изменения в циркуляции атмосферы. Общая циркуляция атмосферы трансформирует солнечную активность в цикличность колебаний температуры,

неравномерность выпадения осадков, регулярную повторяемость тайфунов, ураганов, гроз. Проявление солнечной ритмики в различных районах земного шара и в разных явлениях не может быть одинаковым. Атмосферные ритмы создаются не только солнечными причинами, но и земными. То, что мы наблюдаем в атмосфере, является результатом сложного взаимодействия реакций, обусловленных земными и космическими факторами. Поэтому трудно ожидать однотипности реакции атмосферы на колебания солнечной активности (Вительс, 1957).Усиление солнечной активности (возрастающая ветвь 11-летнего цикла) сразу же способствует нарушению в тихоокеано-американском секторе северного полушария зональных форм циркуляции атмосферы и развитию меридиональных. В атлантико-евразийском секторе развитие меридиональных форм циркуляции происходит через 2-3 года (Вангенгейм, 1952; Гирс, 1956).

По данным Н.В. Ловелиуса (1979), наиболее благоприятные условия для роста деревьев на Крайнем Севере наблюдаются в период преобладания зональной, восточной циркуляции атмосферы и когда во внетропической зоне северного полушария широко распространены поля положительной аномалии температуры воздуха. По мнению автора, прирост деревьев, в свою очередь, может быть использован в качестве интегрального показателя перечисленных элементов климата.

С.И. Костин (1963) считает, что возрастание повторяемости пониженных приростов дуба в периоды повышенной (в вековом цикле) солнечной активности вызывается тем, что за это время усиливаются меридиональная и восточная формы циркуляции атмосферы, в связи с чем на территории европейской части СССР увеличивается частота вторжений холодных масс воздуха с севера и северо-востока. Эти воздушные массы вообще содержат мало водяного пара, а вторгаясь на материк в теплое время года, они прогреваются и еще более удаляются от состояния насыщения, что и приводит к уменьшению осадков, а в некоторые годы к образованию сильных засух. Это, по мнению С.И. Костина, и вызывает уменьшение прироста дуба в эпохи подъема солнечной активности. В годы же с пониженной солнечной активностью интенсивность меридиональной и восточной форм циркуляции уменьшается, но усиливается западная форма циркуляции, с которой связан приход влажного воздуха с Атлантического океана, что вызывает увеличение осадков, способствующих повышению прироста дуба. Таким образом, прослеживается связь:

повышение солнечной активности,	понижение солнечной активности,
↓	↓
усиление меридиональной и восточной форм циркуляции атмосферы,	усиление западной формы циркуляции атмосферы,
↓	↓
засушливые периоды,	влажные периоды,
↓	↓
понижение прироста дуба,	повышение прироста дуба.

По данным Б.И. Сазонова (1964), в отличие от результатов исследований С.И. Костина, в умеренных широтах количество осадков и повторяемость циклонов увеличиваются с возрастанием солнечной активности. Уменьшение солнечной активности вызывает засухи и усиливает антициклоны. В свою очередь, на колебания метеоусловий отзывается прирост деревьев: исследования В.И. Таранкова (1993), С.М. Матвеева (1994) и др. показали, что прирост сосны в лесостепи возрастает на восходящей ветви 11-летнего цикла солнечной активности. Т.е. прослеживается следующая связь:

повышение солнечной активности,	понижение солнечной активности,
↓	↓
увеличение повторяемости циклонов,	усиление антициклонов
↓	↓
влажные периоды,	засушливые периоды,
↓	↓
повышение прироста сосны,	понижение прироста сосны.

А.Л. Кац (1960) нашел, что число дней с меридиональной циркуляцией возрастает, а число дней с зональной циркуляцией уменьшается на восходящей ветви векового цикла солнечной активности. Указанную связь он обнаружил и с 11-летним циклом. При этом оказалось, что вековое усиление солнечной активности оказывает влияние также на форму меридиональной циркуляции, притом для некоторых форм циркуляции – различное в теплую и холодную часть года.

Этим, как считает А.Л. Кац, по-видимому, и обусловлены некоторые противоречивые связи, полученные различными авторами при выявлении зависимости между изменениями солнечной активности и изменениями отдельных метеорологических элементов в различных географических районах. Подобные связи могут еще больше усложняться и со временем даже менять

знак вследствие того, что с вековым циклом связано не только усиление относительной интенсивности меридионального воздухообмена и увеличение числа дней с меридиональными процессами, но и изменение частоты появления той или иной формы циркуляции.

Природа кажущихся отступлений от солнечной обусловленности динамики метеорологических величин (температура воздуха, количество осадков и т.д.) была разъяснена В.Ю. Визе (1945) на основании закона акцентации. Сущность закона акцентации барических полей в том, что усиление солнечной активности приводит к усилению локальных барических контрастов, т.е. к углублению циклонов и к увеличению мощности антициклонов. Следовательно, усиление солнечной активности неоднозначно сказывается на основных элементах тропосферной циркуляции.

Очевидно, что в случае попеременной смены циклонических и антициклонических полей над данным физико-географическим районом закон акцентации и альтернативный характер связи изменений атмосферного давления с большинством гидрометеорологических явлений должны привести к кажущемуся отсутствию или прекращению солнечно-метеорологической связи. Нивелирующее действие закона акцентации направлено против выявления воздействия солнечной активности на природные процессы. «На помощь» солнечной активности приходят неоднородность подстилающей поверхности и смена климатических сезонов. На нашей планете существуют обширные географические районы, где реакция давления, температуры, осадков на усиление солнечной активности имеет для всех метеостанций один знак: «плюс»-районы, где увеличение солнечной активности вызывает увеличение давления, и «минус»-районы, где увеличение солнечной активности вызывает уменьшение давления. Это районы климатических антициклонов («плюс»-районы) и циклонов («минус»-районы). По данным В.Б. Шостаковича (1934), по отношению к среднегодовой температуре положительными являются север Азии, почти вся Европа и т.д. Наоборот, Австралия, южная часть Азии, Северная Америка попадают в отрицательную область. В то же время существуют широкие «пояса изменчивости», где реакция климата на изменения солнечной активности то положительная, то отрицательная.

Учитывая пространственную неоднородность проявления динамики солнечной активности на Земле, нельзя забывать и о подобной же неоднородности во времени. На разных фазах, например, векового солнечного цикла земная термогидродинамическая (климатическая) машина иногда по-разному отвечает на одно и то же воздействие внеземного происхождения.

6. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ

6.1. Методы датирования годичных колец

Отобранные с модельных деревьев спилы или керны (высверленные возрастным буравом образцы древесины) зачищают по выбранному радиусу (стамеской, лезвием и т.п.). Для лучшего выявления структуры годичных колец ряд исследователей предлагает смачивать поверхность образцов различными веществами или растворами (Матвеев, 1999). На подготовленных образцах проводят датировку колец, то есть точное определение года формирования каждого слоя прироста на основе взаимного сопоставления и согласованности в изменении ширины годичных колец.

Для датировки колец применяют различные методы:

а) визуальный (осмотр изменчивости колец под увеличительным прибором) (Шиятов, 1973). Выявляют образцы, у которых имеются ложные и выпадающие кольца, и определяют их местоположение. На зачищенной поверхности спила или керна кольцо каждого десятилетия (1990, 1980, 1970 и т.д.) маркируется одной точкой, каждого пятидесятилетия (1850, 1950) – двумя, каждого столетия (1900, 2000) – тремя. Для маркировки можно использовать остро отточенный мягкий карандаш, капиллярную ручку, для особенно узких колец – иглу. Если известен год отбора образца (год формирования внешнего кольца), то датировка остальных колец производится при помощи обратного отсчета. В том случае, когда визуальная датировка затруднена из-за слабой изменчивости ширины колец или большого количества ложных и выпадающих, строят и сопоставляют графики изменения ширины годичных колец. Графики обычно строят и при датировке древесины неизвестного возраста;

б) построение скелетных графиков (skeleton plot) (Douglass, 1936; Glock, 1937; Schweingruber и др., 1990). При анализе динамики радиального прироста образца древесины (керна, спила), какой-либо период со средней, относительно других, шириной годичных колец принимается за «нормальный период» (normal period) (рис. 6.1.1, а). Этот период будет линией, вверх или вниз от которой откладываются более широкие или более узкие кольца. В некоторых случаях за эталонный период (reference period) берется начало образца (первые годичные кольца) (рис. 6.1.1, б). На фоне повышенного или пониженного (относительно нормы) периода роста вертикальными линиями выделяются наиболее узкие или наиболее широкие кольца (рис. 6.1.1, в). Скелетные графики позволяют быстро и довольно точно отразить наиболее характерные особенности в изменчивости ширины годичных колец, они могут нести

различное количество информации в зависимости от целей и объекта исследования. При построении скелетных графиков ширина годичных колец не измеряется;

в) построение полулогарифмических диаграмм (Huber, 1943; Колчин, 1962 и др.). Если у деревьев уменьшение ширины годичных колец с возрастом сильно выражено, то сопоставлять и датировать такие кольца на графиках, построенных по обычной шкале, очень трудно. В этих случаях для изображения относительного варьирования ширины годичных колец применяют полулогарифмические диаграммы (рис. 6.1.2). Диаграммы строятся следующим образом. По оси абсцисс, в обычной последовательности, откладываются календарные годы, а по оси ординат – логарифмы толщины колец в миллиметрах. К единице логарифмического числа приравнивается 1 мм годичного кольца, соответственно, годичные кольца уже 1,0 мм выделяются сильнее, чем широкие. Сопоставление полулогарифмических графиков проводится по узким «угнетенным» кольцам.

При датировке годичных колец используют не только изменчивость их ширины, но и ряд вспомогательных признаков: общий характер роста, наличие морозобойных и ложных колец, процент поздней древесины и др. (Шиятов, 1973). Датированные годичные кольца измеряют под увеличительным прибором с окуляр-микрометренной шкалой (измерительная лупа, микроскоп МБС-1, МБС-2, МБС-9 и др.) или используют полуавтоматический прибор ЛИНТАБ.

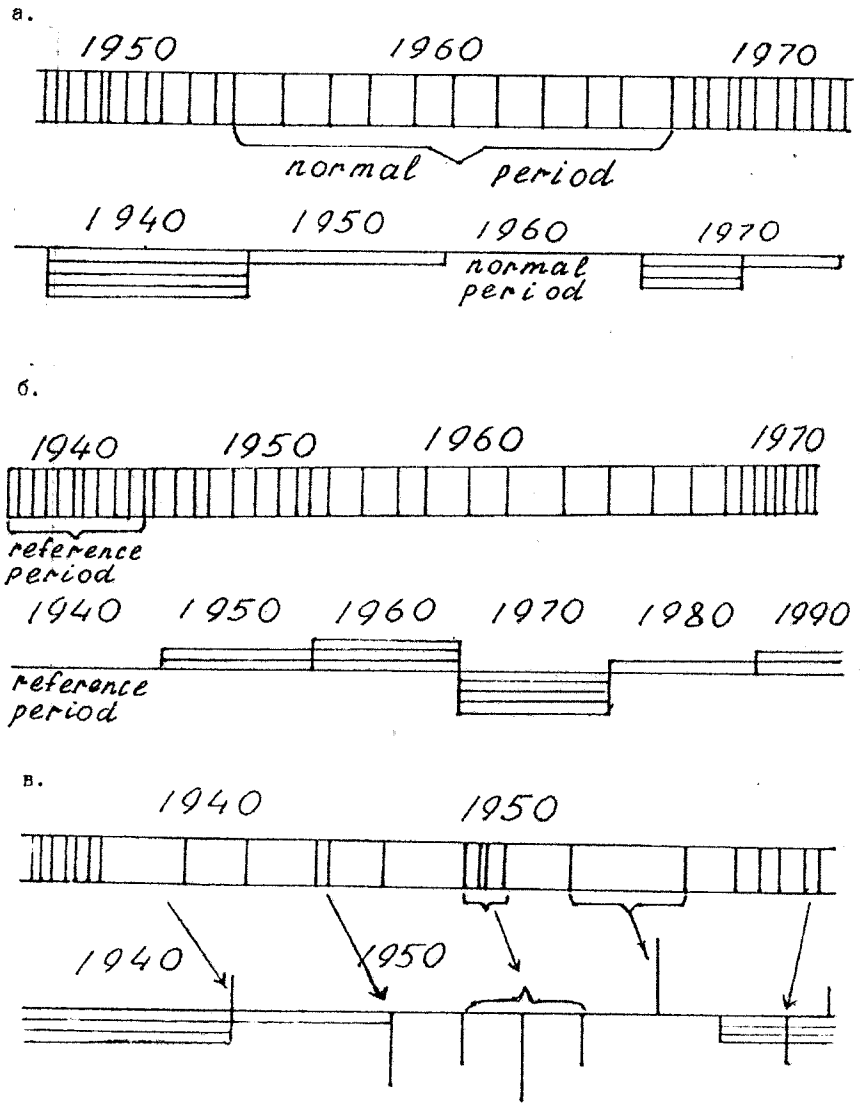

Рис. 6.1.1. Примеры построения скелетных графиков (пояснения в тексте)

6.2. Стандартизация данных измерений ширины годичных колец

После того как кольца датированы и измерены, приступают к так называемой стандартизации значений их ширины, т.е. результаты замеров ширины колец выражают в виде индексов, через отношение каждого замера к установленному значению «нормы прироста» для данного года.

Стандартизация проводится для исключения влияния на изменчивость ширины годичных колец возрастных изменений и приведения замеров радиального прироста различных древесно-кольцевых серий (дендрохронологических рядов) к сопоставимым величинам.

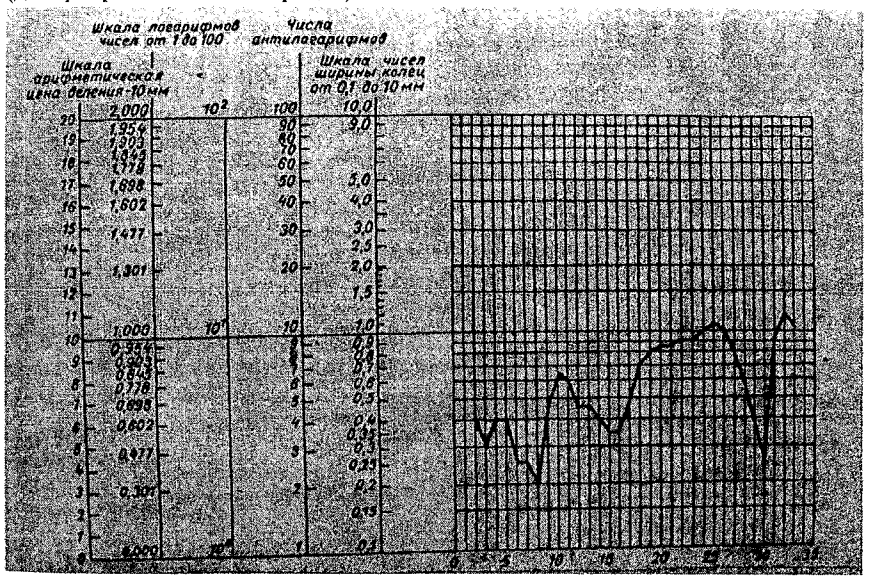

Рис. 6.1.2. Полулогарифмическая диаграмма и шкалы для ее построения (Вихров, Колчин, 1962) из книги Т.Т. Битвинскаса (1974)

6.2.1. Расчет средних величин

Проводить обработку данных ширины годичных колец для исключения влияния фактора возраста (стандартизацию) можно для каждого дерева (образца) в отдельности, но можно также рассчитать среднюю ширину годичного кольца (i_{sr}) для всего древостоя (для всех имеющихся образцов).

Для получения средней ширины годичных колец древостоя i_{cp} данные о приростах i всех учетных деревьев (n образцов) суммируются по каждому календарному году (j) в отдельности и суммы делятся на число образцов (n):

$$i_{sr} = \sum i_j / n.$$

Если в исследуемом насаждении находится несколько возрастных групп деревьев, для них средние многолетние кривые радиального прироста следует рассчитывать в отдельности.

6.2.2. Методы нахождения нормы прироста в зависимости от возраста

Норма прироста – это кривая, отражающая изменение темпов роста дерева (или древостоя) с возрастом. Иначе «норму прироста» называют: возрастной тренд, возрастная линия, биокривая, кривая большого роста, биологическая кривая возраста, среднемноголетняя кривая радиального прироста и т.д. Для нахождения «нормы прироста» проводят выравнивание кривых погодичной изменчивости ширины годичных колец. Для выравнивания этих кривых применяют различные математические и графические методы.

Математические методы:

а) метод наименьших квадратов. Для объективного определения направления «возрастной линии» (нормы прироста) можно использовать метод наименьших квадратов. Рассчитываются выровненные значения параметров функций, прямолинейных или криволинейных, так, чтобы квадраты отклонений эмпирических значений от расчетных (теоретических) давали наименьшую сумму.

Уравнение прямой имеет вид

$$y = a + bx,$$

где y – ширина годичного кольца,

x – календарный год годичного кольца,

a, b – статистические параметры, вычисляемые для каждого ряда.

По мнению Т.Т. Битвинскаса (1974), этот способ выявления возрастной линии дает удовлетворительные результаты только для возрастов больше 40-50 лет. Как уже отмечалось, ширина годичных колец ближе к сердцевине часто не подчиняется линейной зависимости. Шведские дендроклиматологи М. Неслунд (Naslund, 1942) и Б. Эклунд (Eklund, 1957) предложили методом наименьших квадратов рассчитывать средние многолетние кривые радиального прироста, имеющие вид гиперболы. При этом, по Неслунду, годичные кольца, расположенные в 2 см от сердцевины дерева и ближе, в расчет не включаются. Если ширину годичного кольца обозначить через y, а число годичных колец за пределами указанного расстояния от сердцевины – через x, статистические параметры – a и b, то функция возрастной линии, по Неслунду, примет вид

$$y = a + b/x,$$

а функция, предложенная Эклундом,

$$1/y = -a + bx.$$

С развитием электронно-вычислительной техники появилась возможность разрабатывать математические методы расчета средних многолетних кривых радиального прироста.

Наличие гиперболической зависимости радиального прироста насаждений от возраста имеет большое значение для дендрохронологических и дендроклиматических исследований в умеренных широтах, т.к. в большинстве случаев (преимущественно – в древостоях возрастом не старше 150-200 лет) она может быть использована в качестве шаблона для определения радиального прироста по возрасту (Битвинскас, 1974, Матвеев, 2003);

б) метод скользящего сглаживания средних величин. В дендрохронологии и дендроклиматологии для определения возрастных кривых радиального прироста широко применяется метод скользящего сглаживания средних величин. Суть его состоит в том, что исходный ряд

$a_1, a_2, a_3 \ldots, a_n$ преобразуется в ряд

$$1/m \sum_{1}^{m} a_i,\ 1/m \sum_{2}^{m+1} a_i, \ldots, 1/m \sum_{n+1-m}^{n} a_i,$$

где m – число лет осреднения, n – длина ряда, при этом $m < n$.

Впервые этот метод в дендрохронологии применил С. Андштадт (Andstad, 1938) при изучении годичных колец сосны и датировке старых строений в Норвегии.

Скользящие кривые используются для выявления изменчивости ширины годичных колец в зависимости от возраста и для последующего их применения при нормировании рядов годичных колец относительно меняющейся во времени средней скользящей нормы. Применяют 3-, 5-, 11-, 21-, 31-летнее скользящее сглаживание. При расчетах скользящих кривых, например, с 11-летним сглаживанием годичных колец, сумма толщины годичных колец делится на 11 и является средней нормой 6-го года, входящего в расчет. Далее толщина 1-го годичного кольца из суммы 11-ти годичных колец вычитается, и добавляется 12-е годичное кольцо, затем вычитается 2-е и добавляется 13-е кольцо, а средняя многолетняя ширина годичного кольца относится последовательно к 7-му, 8-му году и т.д.

Метод скользящего сглаживания можно выразить и следующим образом (например, для 5-летнего сглаживания):

$$c_1 = (a + b + c + d + e) / 5,$$

где a, b, c, d, e – последовательно меняющиеся замеры годичных колец;

c_1 – сглаженная ширина годичного кольца.

А. Ординг (Ording, 1941) и Т. Руден (Ruden, 1945), выполнившие крупные методические работы, рассмотрели возможность применения скользящего сглаживания и последующего нормирования в дендроклиматических целях. А. Ординг, как и шведские исследователи, при расчете средних многолетних кривых радиального прироста методом скользящих, опускал часть (десять) годичных колец вблизи сердцевины дерева. Руден – сторонник использования других математических методов расчета биологических кривых радиального прироста – обратил внимание на так называемый эффект Слуцкого (Слуцкий, 1927), проявляющийся в изменении спектральной плотности исходного ряда в сторону устранения циклов, меньших, чем период сглаживания, и появления временных сдвигов в ходе квазиритмичных процессов: периодичность колебаний становится близкой к длине интервала, примененного при скользящем осреднении (шагу сглаживания).

При расчете нормы прироста способом скользящего сглаживания её концы «обрываются» (в начале и в конце ряда замеров прироста) при использовании 3-летних скользящих – за 1 год, 11-летних – за 5 лет, 21-летних – за 10 лет, 31-летних – за 15 лет. Если началом ряда (годичными кольцами, находящимися вблизи сердцевины) иногда целесообразно пренебречь, то данные о последних (внешних) годичных кольцах почти всегда являются очень ценными и необходимыми. В таких случаях приходится средние многолетние кривые экстраполировать, т.е. продолжать, используя общее направление кривых за последние 10-20 лет, или вычислять крайние точки средней многолетней по меньшему числу годичных колец. Для продолжения кривой можно использовать стандартные кривые – эталоны изменчивости годичных колец в зависимости от возраста – полученные другими методами.

На основе опытной проверки Т.Т. Битвинскас (1974) пришел к выводу, что зависимость радиального прироста от возраста у сосны и ели обыкновенных, черной ольхи и других лесных пород, растущих в средней полосе европейской территории СССР, наиболее объективно отражается 20-21-летними скользящими кривыми. Расчет средних многолетних радиальных приростов по 5-летним, 10-летним и 15-летним скользящим, как правило, не дает удовлетворительных результатов, поскольку они не выравнивают в достаточной мере изменения, происходящие в ширине годичных колец под влиянием изменений комплексов климатических факторов.

Как показал опыт российских дендрохронологов (Комин Г.Е., 1961, 1963, 1967, 1970; Шиятов С.Г., 1962, 1963, 1970), в северных областях СССР, где фактор возраста менее выражен, а 21-летнее скользящее сглаживание не устраняет влияние длиннопериодических климатических флуктуаций, иногда

необходимо применять сглаживание с более длинными периодами скользящего осреднения или другие методы (Таранков, 1973; Битвинскас, 1974 и др.).

в) 3-летнее весовое скользящее сглаживание (метод Шульмана).

Э. Шульман (Shulman, 1958) для нахождения «нормы прироста» применял метод 3-летнего весового скользящего сглаживания по следующей формуле:

$$b_1 = (a + 2b + c) / 4 ,$$

где b_1 – сглаженная ширина годичного кольца данного года;

a – ширина годичного кольца предыдущего года;

b – ширина годичного кольца данного года;

c – ширина годичного кольца последующего года (Таранков, 1973).

Графические методы:

а) метод стандартных прямых линий (метод А.Э. Дугласа). В исследованиях, выполненных Дугласом и его учениками, широко использовался метод стандартных линий, согласно которому изменчивость ширины годичных колец в зависимости от возраста выражалась прямой линией. В действительности первые 20-30 годичных колец, а часто и более, обычно не укладываются в линейную зависимость, но в тех случаях, когда рассматривается радиальный прирост деревьев возрастом несколько столетий, нахождение линейных зависимостей вполне оправдано (Битвинскас, 1974);

б) графическое выравнивание для разновозрастных древостоев (метод Г.Е. Комина).

Для совокупности деревьев одной породы, но разного возраста, произрастающих в одинаковых условиях среды (типа леса), Г.Е. Комин (1970) вычислил средний годичный прирост не по календарным годам, а по возрасту отложения годичных колец. Полученные возрастные годичные средние значения приростов он наносил на график и выравнивал графически. Значения выровненной плавной кривой и принимались за норму прироста деревьев в зависимости от возраста.

Для разных пород (сосна и ель) в различных лесорастительных условиях норма прироста для одного и того же возраста не одинакова. Индексы годичного прироста Г.Е. Комин вычислял отдельно для каждого дерева как отношение фактического годичного прироста к вычисленной норме того возраста, в котором отложился календарный прирост, и выражал их в процентах. Величины годичного прироста обусловлены не только циклическими колебаниями, вызванными воздействием факторов климата, но и проявлением наследственных признаков и положением дерева в древостое. Для получения данных, пригодных для сопоставления с показателями изменчивости природных условий, Г.Е. Комин находит средние значения годичных индексов

множества деревьев. Только таким образом, по его мнению, можно надежно выявить климатические факторы;

в) построение кривых максимально возможного прироста (метод С.Г. Шиятова).

С.Г. Шиятов (1970) по дендрохронологическим данным для заполярного круга обнаружил, что возрастная кривая, или норма прироста, обычно выражена слабо. Средняя норма прироста многих деревьев имеет волнообразный вид. У деревьев из этого района возрастные тенденции в изменении темпов прироста лучше отражает не кривая средней нормы прироста, а кривая максимально возможного прироста в данных условиях. То есть возрастная кривая проявляется через максимальные приросты отдельных лет. Даже при длительных (вековых) ухудшениях климатических условий имеются кратковременные периоды и отдельные годы, благоприятные для роста деревьев, когда прирост достигает максимально возможной величины в данных условиях. Поэтому при расчете индексов прироста древесины неизвестного происхождения С.Г. Шиятов предлагает принимать за норму кривую не среднего, а максимально возможного прироста (рис. 6.2.1, а). В этом случае индексы находятся в пределах от 0 до 100 %.

Методика получения нормы максимально возможного прироста и вычисления индексов следующая. При построении графика изменений ширины годичных колец особое внимание следует обращать на случаи формирования исключительно широких колец в результате развития креневой и раневой древесины и исключить их из рассмотрения. Затем проводится кривая, соединяющая максимальные значения величин приростов. Индексы прироста вычисляются делением величины фактической ширины кольца на максимально возможную ширину за каждый год. Средние значения индексов для любого количества образцов можно получить при помощи обычного осреднения;

г) построение кривых средней нормы прироста (метод С.М. Оленина).

С.М. Оленин (1974), изучив и оценив наиболее распространенные методы выявления возрастной кривой, предложил (и теоретически обосновал) свой метод нахождения кривой средней нормы прироста при дендрохронологических исследованиях. С.М. Оленин считает, что кривая максимально возможных приростов является верхним пределом выражения фенотипа по данному признаку (радиальный прирост древостоев) при тех или иных условиях окружающей среды.

В качестве кривой 100 %-го прироста может быть линия, находящаяся между кривыми максимально возможных и минимально возможных приростов (рис. 6.2.1, б). При обработке материалов, собранных С.М. Олениным в Коми АССР (Русская равнина, Печерская северо-таежная провинция) в сосняке-

брусничнике и ельнике-черничнике, было замечено, что максимальная величина индексов прироста для сосны в основном не превышает 140 %, а для ели – 160 %. Если взять кривую максимальных приростов у сосны за кривую 140 %-го, а у ели – 160 %-го прироста, то вычисленные по отношению к ним кривые 100 %-го прироста (соответственно по сосне и по ели) очень точно совпадают с положениями кривых средней нормы прироста, вычисленных методом 21-летних скользящих, но в то же время имеют плавный вид.

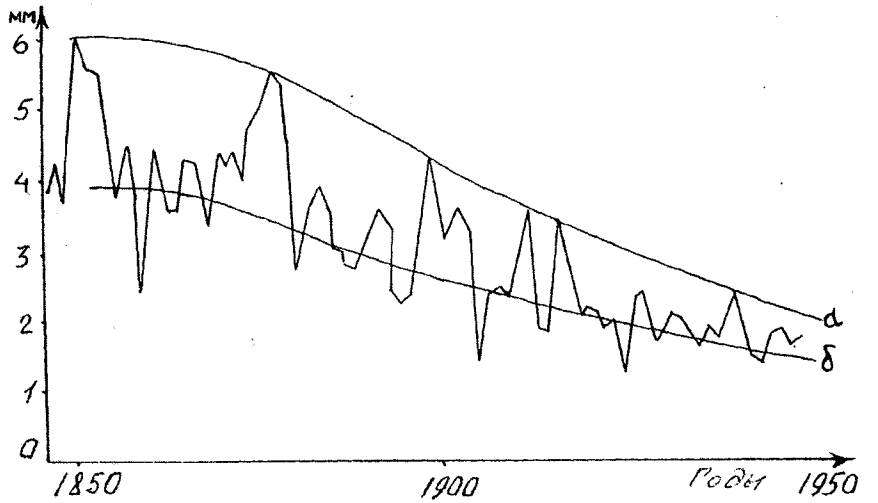

Рис. 6.2.1. Кривая максимально возможного прироста (метод Шиятова) – а; кривая средней нормы прироста (метод Оленина) – б

Техника вычисления нормы прироста по методу С.М. Оленина следующая. Для каждой модели строится график изменения ширины годичных колец по диаметру. Максимальные значения приростов соединяют плавными кривыми. По отношению к каждой кривой максимальных приростов, принимаемой у сосны за кривую 140 %-го, а у ели – 160 %-го прироста, вычисляют кривую 100 %-го прироста. С этой целью для каждого десятилетия вычисляют абсолютную величину прироста по формулам:

для сосны $a = b/140 \times 100$; для ели $a = b/160 \times 100$,

где a – значение прироста (в абсолютных единицах), соответствующее 100 %-му приросту; b – то же, но соответствующее 140 %-му приросту для сосны и 160 %-му для ели.

Величина «b» берется с графиков. Полученные точки по десятилетиям соединяют плавной кривой, которую принимают за кривую нормального роста.

Индексы рассчитываются как отношение фактического прироста к нормальному.

С.М. Оленин отмечает, что процентная закономерность между кривой нормального роста и максимально возможных приростов должна рассчитываться для каждой древесной породы и определенных лесорастительных условий.

6.2.3. Расчет относительных индексов

Идея использования относительных величин – годичных индексов – принадлежит старейшему дендрохронологу А. Покорни, который в 1867 г. предложил 10-летние средние радиального прироста, интерполированные по годам, сопоставлять с действительной шириной годичных колец для получения коэффициентов влияния на них метеорологических факторов.

В 1938 г. С. Андштадт проводил в дендрохронологических исследованиях коррекцию и стандартизацию данных измерений годичных колец. Стандартным уровнем, к которому Андштадт приводил среднюю ширину годичных колец изучаемого ряда, был 1 мм. Каждое годичное кольцо корректировалось к этому стандартизированному уровню. Поправочный коэффициент он находил с помощью рассчитанной методом скользящих величин возрастной кривой.

П. Эйдем (Eidem, 1943) также применил способ скользящих для определения возрастной кривой. Расчетом отношения действительной ширины годичных колец к ширине средней возрастной кривой Эйдем получил индексы годичных колец, т.е. величины, независимые от возраста и выражающие изменчивость, главным образом, климатических факторов.

Метод индексов радиального текущего прироста довольно объективно исключает фактор возраста и дает независимые от него величины, тем самым отражая влияние комплекса остальных факторов, лимитирующих рост деревьев, главным образом, климатических. Впервые в СССР данный метод использовал В.Е. Рудаков (1951). Рудаков рекомендует для вычисления средней скользящей нормы брать такой период осреднения, при котором скользящие средние кривые прироста получаются наиболее плавными.

Период осреднения можно рассчитать с помощью кратных гармоник. Для ведущих природных циклов (90, 22, 11) хорошие результаты показывают 11 и 21-22-летние периоды осреднения.

Относительные величины – индексы – определяются не только по возрастным кривым радиального прироста, рассчитанным способом скользящих, но и по биологическим кривым, рассчитанным другими методами, на основании линейных и нелинейных моделей изменения кривой роста.

Универсальная формула для расчета относительных индексов прироста следующая:

$$I = i_F / i_S \times 100\ \%,$$

где I – относительный индекс, %,

i_F – фактическая ширина годичного кольца,

i_S – средняя ширина годичного кольца, отражающая его изменчивость в зависимости от возраста любым корректным способом, в том числе и способом скользящих (иначе – «норма прироста»).

Относительные величины радиального текущего прироста и в настоящее время являются одним из наиболее удобных способов отражения изменчивости ширины годичных колец в зависимости от климатических факторов при следующих условиях:

а) если исследуемый объект (дерево, древостой) четко реагирует на климатические факторы;

б) если имеется в распоряжении достаточно длинный ряд данных, позволяющий определять и исключать влияние фактора возраста;

в) если периоды основных возрастных ритмов годичных колец не являются слишком длинными (не превышают 11-22 лет) и, таким образом, способом скользящих можно получать плавные возрастные кривые (Битвинскас, 1974).

6.3. Другие методы обработки данных измерений ширины годичных колец

Кроме расчета относительных индексов, используют и другие методы обработки данных измерений, с целью изучения динамики радиального прироста, например:

а) метод интегрально-разностных кривых. Суть этого метода (Таранков, 1973; Ловелиус, 1979) заключается в следующем. Обозначим значения ряда замеров ширины годичных колец: a_1, a_2, a_3 ... a_n. Среднее арифметическое значение (A_n) этого ряда рассчитываем обычным осреднением: $A_n=1/n\sum a_i$, а отклонения каждого значения ряда от среднего по формуле: $d = a_i - A_n$. Члены интегрально-разностного ряда рассчитываются нарастающим итогом, с учётом знака (выше среднего значения – со знаком «плюс», ниже – «минус»):

d_1, d_1+d_2, $d_1+d_2+d_3$, ... d_1+d_2+.....d_n.

На графике откладывается начальное (первое) значение (выше или ниже нуля), а к нему прибавляются (в масштабе) или отнимаются, в зависимости от знака, последующие значения.

Такая обработка позволяет получить даты экстремальных приростов, необходимые для расчета их повторяемости. Данный метод используется в климатологии, гидрологии для выяснения цикличности природных явлений.

б) метод «фазового портрета». Оригинальный метод оценки биологической устойчивости древостоев на основе анализа упорядоченности и закономерности в динамике радиального прироста предложил Б.В. Арбузов (1993). При традиционном построении графика радиального прироста в виде временной развертки по оси ординат откладываются значения прироста, по оси абсцисс – календарные годы. Б.В. Арбузов представил данные замеров радиального прироста в виде «фазового портрета». В этом случае по оси абсцисс откладываются значения прироста в момент времени t (i_t), а по оси ординат – в момент времени t+1 (i_{t+1}) и так далее. Последовательно соединяя полученные точки между собой, получаем траекторию, описывающую поведение динамической системы, выходом которой является величина радиального прироста (рис. 6.3.1).

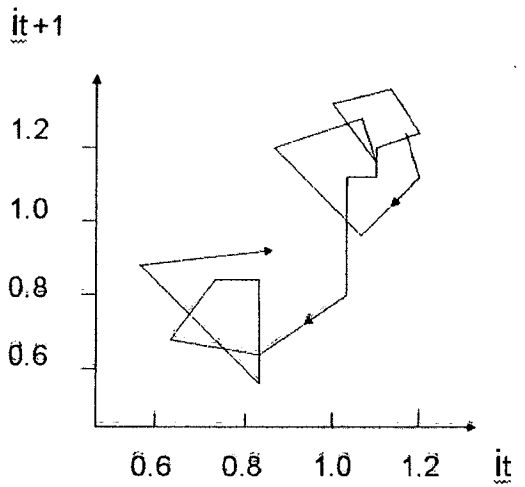

Рис. 6.3.1. Метод "фазового портрета" (по Б.В. Арбузову (1993)): сосняк зеленомошник

в) определение объемного прироста. Г.Б. Гортинский (1969) при анализе погодичной изменчивости продуктивности еловых древостоев южной тайги определял прирост биомассы стволов не по ширине годичных колец, а по площади их сечения. Это, бесспорно, более совершенный способ, поскольку он позволяет сразу перевести эти данные в единицу объемного прироста, но значительно увеличивающий объем камеральной работы (Битвинскас, 1974).

П.А. Феклистов, В.Н. Евдокимов, В.М. Барзут (1997) предложили упрощенный метод расчета объемного годичного прироста для спелых сосновых древостоев. Для расчета объемного годичного прироста древостоя надо обмерять учетные деревья, которые подбираются из всех ступеней толщины пропорционально представительству стволов в ступени. У учетных деревьев следует замерить диаметр на высоте груди, высоту дерева и годичный радиальный прирост на кернах, взятых приростным буравом. На основании данных о радиальном годичном приросте рассчитываются площади годичных слоев (прирост по площади сечения ствола). Годичный объемный прирост каждой ступени толщины (одного дерева в ступени) рассчитывается по формуле

$$Z_v = Z_{s\,1,3} \times H \times 0{,}76,$$

где Z_v – годичный объемный прирост;

$Z_{s\,1,3}$ – прирост по площади годичного слоя на высоте 1,3 м (рассчитываем как разность площади большего и меньшего кругов $\pi R_1^2 - \pi R_2^2 = Z_{s\,1,3}$);

H – высота ствола.

Суммируя полученные приросты по всем деревьям, учтённым в каждой ступени толщины, получаем годичный прирост древостоя ($Z_м$). Это можно представить в виде формулы

$$Z_м = Z_{v1} \times n_1 + Z_{v2} \times n_2 + \ldots + Z_{vn} \times n_n = \sum_{1}^{n} Z_n \times n_n,$$

где Z_n – годичный прирост по объему деревьев в отдельных ступенях толщины;

n – число деревьев в соответствующих ступенях.

Эта же формула в более развернутом виде выглядит следующим образом:

$$Z_м = Z^1_{s\,1,3} \times H_1 \times C + Z^2_{s\,1,3} \times H_2 \times C + \ldots + Z^n_{s\,1,3} \times H_n \times C,$$

где C – константа, равная 0,76.

По этой формуле можно определить годичный прирост древостоя как теперь, так и n лет назад. Точность определения высоты высотомером ±0,5 м, а годичный прирост по высоте в спелых древостоях величина значительно меньшая. Следовательно, высоту учетных деревьев можно считать постоянной при расчетах объемного годичного прироста до 10 лет назад.

6.4. Методы изучения динамики радиального прироста деревьев во времени и связей с климатическими факторами

Для изучения общих тенденций изменения радиального прироста деревьев во времени, анализа цикличности исследуемых рядов, режима колебаний, экстремумов прироста, связей динамики прироста с

метеорологическими и гелиофизическими условиями окружающей среды применяются различные методы сравнительного и внутрирядного анализа.

Рассмотрим некоторые из них:

а) визуальный анализ рядов. Исследуются, как правило, графики ширины годичных колец в зависимости от возраста в абсолютных единицах (мм) и в относительных индексах (%). Этот метод позволяет дать оценку общего характера динамики прироста, выявить даты экстремумов, проследить изменения амплитуды и частоты колебаний, выявить цикличность колебаний прироста (Матвеев, 1999, 2006);

б) метод наложенных эпох. Суть этого метода состоит в том, что анализ динамики прироста (в относительных индексах) и колебаний климатических факторов проводится в пределах 11-летнего цикла солнечной активности. За нулевой (реперный) год принимается год максимума солнечной активности в 11-летнем цикле. За исследуемый период (несколько 11-летних циклов, в зависимости от длины ряда) рассчитываются средние значения показателей для нулевого года, предшествующих и последующих лет, как для солнечной активности (в числах Вольфа), так и для других интересующих нас показателей: осадки, температура, гидротермический коэффициент (ГТК), индексы прироста. Полученные данные могут быть выражены в виде таблиц и графически. Этот метод позволяет оценить динамику и экстремумы прироста и климатических факторов относительно фазы солнечной активности (рис. 6.4.1) (Битвинскас, 1986; Таранков и др., 1994; Матвеев, 1994);

в) гармонический анализ и анализ спектральной плотности рядов. Климатические циклы и характер цикличности прироста деревьев за длительный период (свыше 300-500 лет) не являются постоянными. Некоторые циклы имеют прерывистый, затухающий характер, зависимости признаков могут менять свой знак на противоположный, однако за временной интервал, не превышающий 300-500 лет, циклы можно считать более или менее стабильными. Чрезвычайно затрудняет анализ цикличности временных рядов смешение (наложение) большого числа различных во времени циклических составляющих изучаемого процесса.

Для анализа цикличности временных рядов применяют методы гармонического анализа и анализа спектральной плотности рядов.

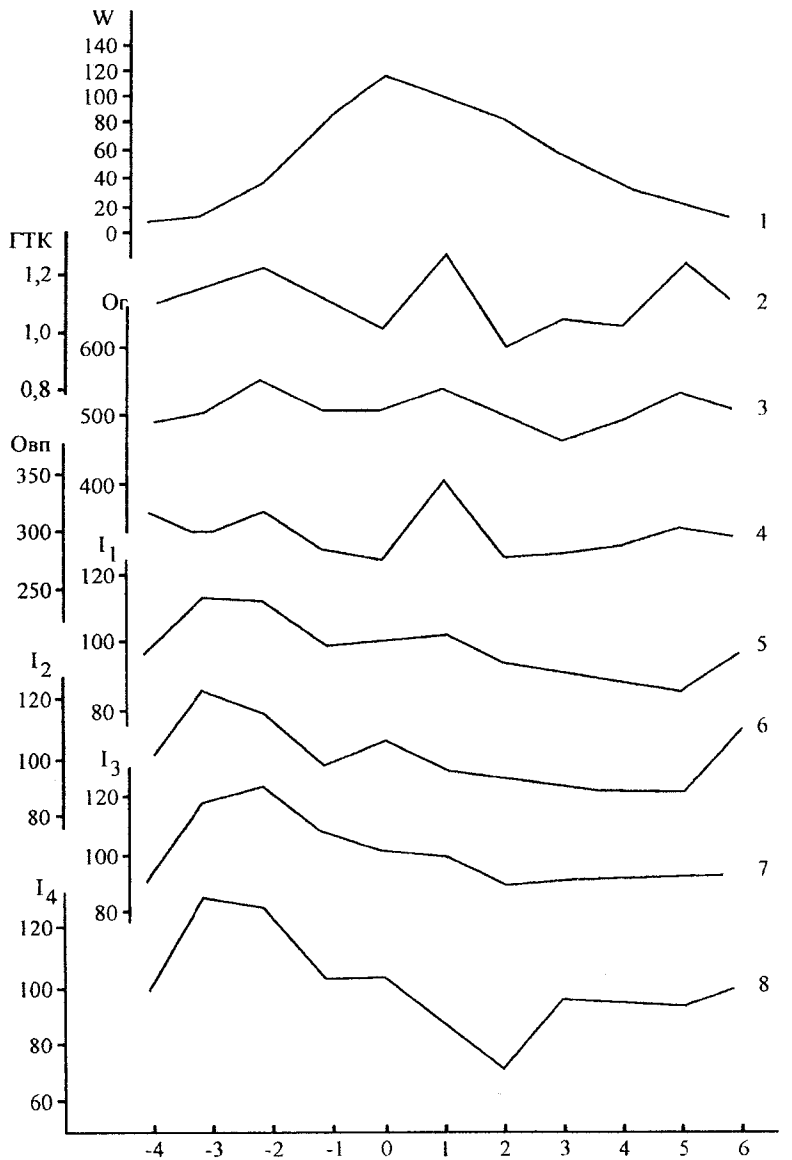

Рис. 6.4.1. Анализ методом наложенных эпох: солнечная активность (1), ГТК (2), осадки за год (3), осадки за вегетационный период (4), прирост древостоя сосны обыкновенной, г. Воронеж (5, 7), поздняя древесина (6, 8)

Гармонический анализ представляет собой внутрирядный анализ цикличности и динамики колебаний прироста за многолетний период. Временной ряд ширины годичных колец (дендрохронологический ряд) представляется в виде суммы нескольких гармонических составляющих. Определяются амплитудные характеристики каждой из гармоник, период, частота, начальная фаза колебаний и средний прирост, вокруг которого происходят колебания.

Если какой-либо стационарный процесс (в том числе временной ряд динамики прироста) может быть представлен в виде бесконечной суммы гармоник, его называют спектральным. Распределение дисперсий процесса по частотам называют функцией спектральной плотности этого процесса. (Дисперсия – сумма квадратов центральных отклонений, или – сумма квадратов разностей между каждой датой и средней арифметической). При анализе функции спектральной плотности всякий «всплеск» функции на интервале ее определения должен интерпретироваться как увеличенный вклад соответствующих частотных составляющих в общую дисперсию. Большинство пиков в спектральной плотности дендрохронологического ряда приходится на определенные полосы частот (например: 24; 16-17; 11-12; 8-9; 6,5-7,0; 5,5-6,0; 4,3-4,5; 3,7-4,0 и т.д.).

Анализ цикличности дендрохронологических рядов позволяет дать прогноз климатически обусловленной динамики прироста древесных растений (Мазепа, 1986; Алексеев, 1990);

г) статистические методы анализа (корреляционный анализ, регрессия признаков). Эмпирические исследования не могут оценить устойчивость и степень надежности связей между приростом древостоев и факторами среды и представить в количественном виде основные закономерности. Поэтому в последнее время все большее внимание уделяется статистическим методам оценки этих связей. Разумеется, выявление статистически доказанных закономерностей не может пока охватить всю полноту реальных условий, возможна надежная оценка лишь ряда существенных факторов.

В биологических исследованиях, как правило, связь между признаками проявляется особым образом. Каждому определенному значению первого признака (например, осадки за год или температура) соответствует не одно значение второго признака (например, ширина годичных колец), а целое распределение этих значений, при вполне определенных основных показателях этого частного распределения – средней величине и степени разнообразия. Такая связь называется корреляционной связью или просто корреляцией.

Корреляционная связь параметров определяется следующими показателями:

- форма связи (мера линейности) (ν) – связь прямолинейная или криволинейная ($\nu>2$ – связь не линейная);
- направление связи – прямая или обратная;
- коэффициент корреляции (r) – для прямолинейной связи;
- корреляционное отношение (η) – для криволинейной связи.

На основании данных многих исследований (табл. 6.4.1) можно утверждать, что нелинейная связь точнее описывает зависимости между радиальным приростом деревьев и климатическими факторами. Для дальнейшего анализа этих зависимостей необходимо определить регрессию изучаемых признаков, т.е. исследовать формы зависимости функции от различных аргументов, выраженные математическими уравнениями (т.к. регрессия (по определению) – изменение функции при определенных изменениях одного или нескольких аргументов). Для этого следует:

1. Определить форму связей, т.е. найти математическое уравнение (уравнение регрессии) зависимости изучаемого признака от других признаков;
2. Рассчитать коэффициенты этого уравнения (коэффициенты регрессии) – т.е. величины, на которые в среднем изменяется второй признак при изменении первого на единицу измерения.

Таблица 6.4.1

Корреляционные зависимости между индексами прироста сосны обыкновенной и климатическими факторами (Матвеев, 1994)

Климатические показатели	Коэффициент корреляции, r	Корреляционное отношение, η	Мера линейности, γ	Характер (теснота) связи
Солнечная активность	$0,06 \pm 0,096$	$0,41 \pm 0,081$	4,15	Умеренная
Осадки за вегетационный период	$0,36 \pm 0,085$	$0,55 \pm 0,068$	4,32	Значительная
Осадки за год	$0,35 \pm 0,085$	$0,54 \pm 0,069$	4,16	Значительная
ГТК	$0,34 \pm 0,086$	$0,60 \pm 0,063$	5,02	Значительная

Чем ближе теоретический ряд, построенный по такому уравнению, к эмпирическому, тем точнее рассчитанная математическая модель (Плохинский, 1970; Дворецкий, 1971 и др.).

7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

7.1. Принципы прогнозирования, возможности прогнозов

Прогнозирование прироста древостоев является в настоящее время очень важной и актуальной задачей во многих областях знаний, и прежде всего – в лесном хозяйстве, для выбора оптимальной стратегии и тактики хозяйственной деятельности, для своевременного обнаружения и уменьшения отрицательных последствий антропогенного воздействия.

Все известные методы прогнозирования базируются на построенной по ретроспективным данным модели, которая затем экстраполируется в будущее. С помощью дендрохронологии и дендроклиматологии информация о закономерностях изменчивости климатических условий может быть восстановлена в некоторых районах страны за последние тысячелетия и использована для разработки долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов.

Изменчивость радиального прироста может быть индикатором преобладания определенных типов атмосферной циркуляции, показателем изменения границ основных климатических районов во времени, периодичности этих изменений, показателем динамики термического и гидрологического режима различных климатических районов.

Построение тысячелетних дендрошкал, возможно, позволит восстановить данные, характеризующие изменчивость солнечной активности, за периоды, когда наблюдения за солнечной активностью еще не велись, определить реперные даты различных фаз солнечной активности и предсказать с достаточной достоверностью периоды наступления этих фаз. Как считает М.С. Эйгенсон (1963), «без привлечения данных о солнечной первопричине климатических изменений, климатологический прогноз «по тенденциям» есть, в лучшем случае, лишь догадка и голая эмпирическая экстраполяция, которая всегда может привести исследователя к ошибке». Климатологический прогноз, по мнению М.С. Эйгенсона, должен состоять из двух частей. Первая – прогноз солнечной активности. Вторая, собственно климатологическая часть гелиоклиматического прогноза, должна основываться на трехсторонней связи: солнечная активность – общая циркуляция атмосферы – элементы климата (Эйгенсон, 1963, с. 171).

Большой интерес представляют также средне- и краткосрочные прогнозы, особенно если они достаточно просты и при этом отвечают заданной точности.

П.А. Феклистов и В.М. Барзут (1986) предложили способ краткосрочного прогнозирования (на 1 год), основанный на известной зависимости между приростами текущего и предыдущего года. Установив уравнения связи, они рассчитали по ним прирост сосны для двух насаждений (сосняк черничник и сосняк брусничник). В среднем за многолетний период ошибка прогнозирования составила 9-11 % и оказалась лишь немногим выше, чем при применении более сложных способов (например, множественной регрессии) за тот же период времени.

Для среднесрочного прогнозирования наиболее удачным, на наш взгляд, является 30-летний период.

7.2. Реконструкция и прогнозирование солнечной активности, элементов климата, радиального прироста деревьев

Для реконструкции и прогнозирования активности Солнца можно использовать Цюрихский ряд чисел Вольфа (как наиболее длительный непрерывный ряд наблюдений). По данным Цюрихского ряда чисел Вольфа нами построены графики максимумов 11-летних циклов и минимумов 11-летних циклов солнечной активности. Интервал между всеми экстремумами взят одинаковый (5 мм), без учета квазиритмичной изменчивости (7-17 лет) 11-летнего цикла солнечной активности (рис. 7.2.1). На приведенных графиках хорошо прослеживается многовершинность векового цикла (как по максимумам, так и по минимумам).

График 11-летних максимумов выявил следующие экстремумы векового цикла: 1-й максимум – 1778 г., 2-й максимум (двойной) – 1837 и 1870 гг., 3-й максимум (также двойной, но с явным преимуществом в первой части) 1957 и 1979-1989 гг.; 1-й минимум – 1705 и 1717 г., 2-й минимум – 1804 и 1816 гг.; 3-й минимум многовершинный (1883, 1905, 1928 гг.) с центром в 1905 г. Напрашивается вывод: наиболее вероятен ближайший минимум векового цикла (по 11-летним максимумам) во время максимума 24-го цикла (около 2012 г.), хотя по значениям числа Вольфа он не должен быть очень низким, т.к. в многовековом ходе солнечная активность велика.

График 11-летних минимумов также наглядно характеризует вековой цикл, особенно по минимумам чисел Вольфа: 1-й минимум – 1711 и 1712 гг., 2-й минимум – 1810 г., 3-й минимум – 1913 г. Наиболее вероятно, что 4-й вековой минимум наблюдался в 2008 г. (начало 24-го цикла, число Вольфа – 2,9) или им станет начало 25-го цикла солнечной активности (около 2018 г.).

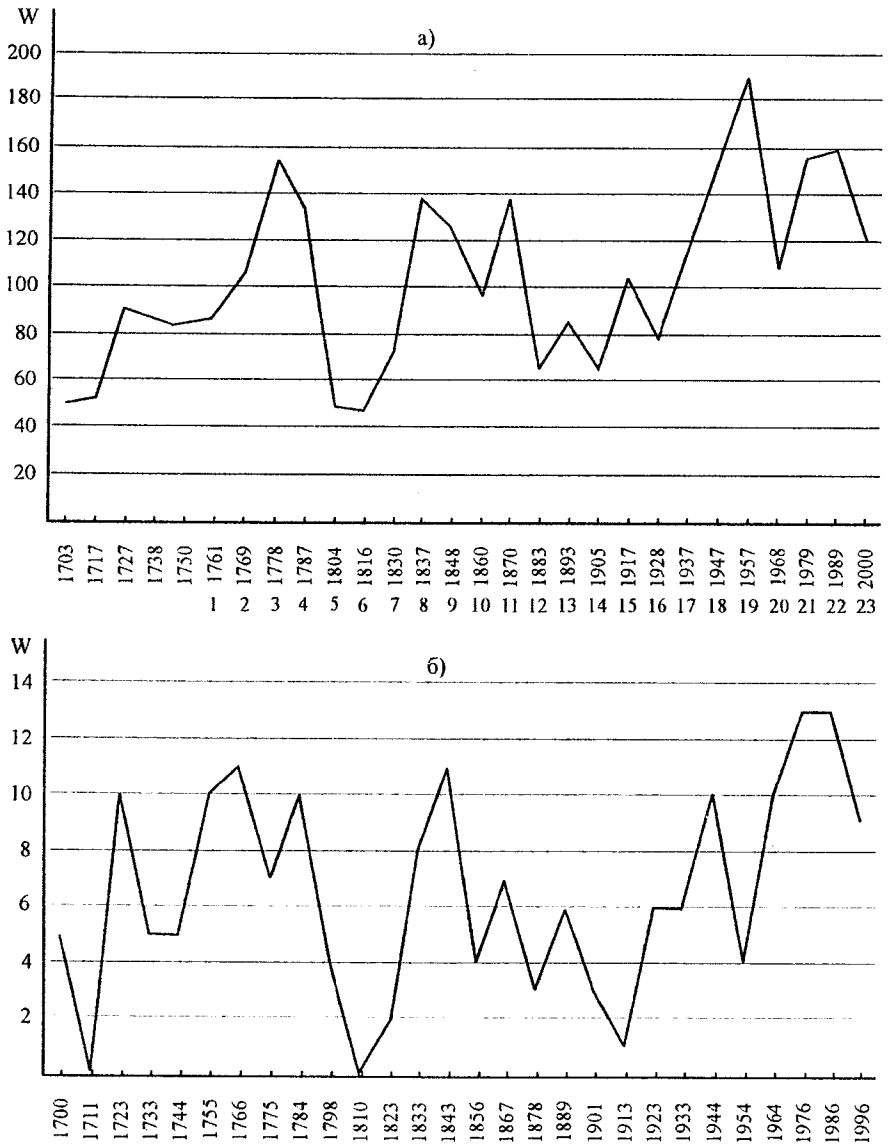

Рис. 7.2.1. Динамика 11-летних максимумов (а) и минимумов (б) солнечной активности, выраженной в числах Вольфа

Т.е. по минимумам векового цикла прослеживается следующая цикличность:

– 1711 – (99 лет) – 1810 – (103 года) – 1913 – (?) – 2008 (2018) –

Можно проследить вековой цикл и по минимумам максимальных значений:

– 1705 – (99 лет) – 1804 (1816) – (89 лет) – 1893 (1928) – (?) – 2012 –

В цикличности солнечной активности (чисел Вольфа) обнаруживается закономерность, неоднократно отмеченная нами (и другими исследователями) в динамике прироста деревьев: минимальные значения гораздо более ритмичны и более показательны в прогностическом отношении, чем максимальные. Очевидно, что такая закономерность в динамике прироста деревьев является следствием ритмичных минимумов активности Солнца.

Наличие вековой и многовековой циклической изменчивости солнечной активности, отражающейся в динамике климатических ритмов и приросте древесных растений, вызывает необходимость учитывать фазы солнечной активности при осреднении климатических показателей, моделировании их динамики, и прогнозировании изменчивости прироста деревьев.

Рекомендуемый в климатологии 30-летний период осреднения климатических характеристик является, на наш взгляд, наиболее удачным и реально обоснованным ритмикой природно-климатических процессов. Однако и 30-летние периоды следует выбирать не произвольно, а в пределах определенных фаз активности Солнца.

В пределах последнего векового цикла (20-й век) фазы векового колебания проявились не только очень ясно, но и оригинально – сдвигом каждой фазы (включающей три равномерных 11-летних цикла) относительно предыдущей на год и два года соответственно:

1. Ветвь роста – 1910-е, 1920-е, 1930-е годы (периоды № 15, 16, 17 по Цюрихской нумерации). Минимумы начала циклов – 1913, 1923, 1933 гг.
2. Эпоха максимума – 1940-е, 1950-е, 1960-е, годы (периоды № 18, 19, 20). Минимумы начала циклов – 1944, 1954, 1964 гг.
3. Ветвь спада – 1970-е, 1980-е, 1990-е годы (периоды № 21, 22, 23). Минимумы начала циклов – 1976, 1986, 1996 гг.

Еще А.Э. Дуглас (1936) выделял в приросте обследованных им деревьев не просто 100-летний цикл, а трижды тройной 11-летний цикл, обусловленный ритмикой активности Солнца.

В пределах трех выделенных в 20-м столетии фаз векового цикла солнечной активности, в радиальном приросте основных лесообразующих пород Центральной лесостепи (сосны и дуба) минимальные значения наблюдались в следующие годы:

1. Ветвь роста векового цикла:
   минимум 1913 г – 1910-1911 гг.;
   минимум 1923 г – 1921, 1924 гг.;
   минимум 1933 г – 1931-1932, 1936, 1938-1939 гг.
2. Эпоха максимума векового цикла:
   минимум 1944 г – 1942, 1949-1950 гг.;
   минимум 1954 г – 1952, 1954, 1956-1957 гг.;
   минимум 1964 г – 1963-1965, 1967-1969, 1971-1972 гг.;
3. Ветвь спада векового цикла:
   минимум 1976 г – 1975, 1981 гг.;
   минимум 1986 г – 1984-1987, 1992 гг.;
   минимум 1996 г – 1995-1997, 2002-2003, 2005-2007 гг.

В вековой динамике засух (и радиального прироста сосны обыкновенной) в Центральной лесостепи хорошо прослеживаются циклы: 11-летний (солнечный или Швабе-Вольфа), магнитный (Хейла), Брикнера имеющие важное прогностическое значение. Цикличность меньших порядков (5-6-летняя, 3-4-летняя) также хорошо прослеживается, но использование её в прогностических целях малоэффективно. С середины 1970-х гг. колебания лимитирующих прирост древесных растений факторов в Центральной лесостепи проходят в синфазе с 11-летним циклом солнечной активности (выраженной в числах Вольфа). До названного периода наблюдались асинхронные колебания. Основным метеорологическим фактором, влияющим на формирование прироста деревьев в Центральной лесостепи, является сумма осадков теплого периода (апрель-октябрь). Объективным показателем гидротермических условий является также Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова за период май-сентябрь. Этот показатель хорошо коррелирует с колебаниями радиального прироста сосны обыкновенной.

Согласно принципу отбора местообитаний, при построении дендрошкал, пригодных для реконструкции каких-либо климатических характеристик, образцы древесины следует отбирать с таких местообитаний, где наиболее сильно проявляется влияние соответствующего лимитирующего фактора, а действие остальных климатических факторов на прирост деревьев мало заметно. Например, если требуется восстановить количество выпавших осадков, модельные деревья необходимо отбирать с наиболее сухих местообитаний, режим увлажнения которых определяется, в основном, атмосферными осадками. Если требуется реконструировать термические условия вегетационного периода, то наиболее подходящими районами будут полярный и верхний пределы лесов, где этот фактор находится в минимуме (Шиятов, 1973).

Для надежной реконструкции климатических элементов по данным погодичной изменчивости ширины древесных колец большое значение имеет построение длительных хронологий, на основе использования наиболее старых и чувствительных (коэффициент чувствительности > 0,3) деревьев.

К настоящему времени, в результате многолетних исследований российских дендрохронологов (Е.А. Ваганова, С.Г. Шиятова, В.С. Мазепы и др.) создана сеть древесно-кольцевых хронологий охватывающая огромную территорию Евроазиатской Субарктики, позволившая провести надежные реконструкции летних температур этого региона и осуществить их прогноз. Для построения длительных древесно-кольцевых хронологий использовались хвойные породы: различные виды лиственницы (*Larix sibirica*, *L. gmelini*, *L. cajanderi*, *L. daurika*), различные виды ели (*Picea obovata*, *P. abies*, *P. glauca*, *P. mariana*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica*).

Некоторые хронологии, созданные как по живым, так и отмершим экземплярам лиственницы (методом перекрестного датирования) насчитывают около 2000 лет (Наурзбаев, Ваганов, 1998). Е.А. Вагановым с коллегами летом 1998 г. в бассейне реки Индигирки (Якутия) обнаружен участок наиболее старых живых деревьев лиственнницы Каяндера, возраст некоторых деревьев более 800 лет. Наибольший собственный возраст лиственницы – 919 лет, дерево росло с 310 по 1228 гг. н.э. Это рекорд долгожительства деревьев на территории России. Для найденных на этом участке деревьев зафиксирован наивысший для территории России коэффициент чувствительности (0,58-0,67), показывающий отзывчивость радиального прироста дерева на изменение внешних условий (Ваганов и др., 1999).

Для региона субарктики на основе имеющейся дендроклиматической сети проведена реконструкция количества осадков (Мазепа, 1999).

К построению климатических реконструкций привлечены кустарниковые породы – можжевельник сибирский. У можжевельника сибирского в годичных слоях прироста древесины хорошо выражены такие патологические образования, как морозобойные, светлые и ложные кольца, на основе анализа которых можно производить реконструкцию повторяемости и интенсивности катастрофических событий (например, заморозков и похолоданий в период вегетации, раннего наступления холодов и т.д.) (Хантемиров и др., 1999).

Р.М. Хантемировым с коллегами для полуострова Ямал построена 7300-летняя хронология по ширине годичных колец живых деревьев и полуископаемой древесины, которая широко используется для реконструкции и прогнозирования летних температур, динамики полярной границы леса и т.д.

7.3. Учет цикличности солнечной активности, климата и прироста древостоев при проектировании лесохозяйственных мероприятий

Основные задачи лесоводства – сохранение и повышение устойчивости лесных экосистем, повышение продуктивности древостоев. Поскольку состояние лесов, увеличение или падение прироста и продуктивности древостоев связано с природными циклами, то решение этих задач возможно только в том случае, если лесоводы будут хорошо знать динамику природной обстановки и прилагать свои знания и силы для того, чтобы максимально использовать благоприятные условия роста и развития лесов и по возможности нейтрализовать неблагоприятные (Комин, 1968).

Прирост древостоев изменяется циклично и колебания ширины годичных колец в отдельные годы очень велики (до 100 и более %). Кроме того, в неблагоприятные периоды климатических и гелиофизических ритмов древостои оказываются более ослабленными и соответственно, внешние воздействия несут больший вред в эти периоды.

Л. Кайрюкштис и Й. Дубинскайте (1986) исследовали ритмические колебания в дендрохронологических рядах по сосне, дубу, ели, лиственнице, кедру, ольхе черной из различных районов СССР, а также дендрошкалы по пихте, сосне и ели из США и Канады. По результатам исследований авторы делают вывод, что цикличность ритмов большой продолжительности может быть использована для общей характеристики активности продукционных процессов в Северном полушарии, для построения прогнозов, связанных с перспективами лесопользования, изменения концентрации CO_2 в атмосфере и т.п. Кроме того, полученные авторами прогнозы на основе обобщенных дендрохронологических рядов использованы для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в соответствующих районах.

П.И. Пугачев (1986) исследовал цикличность радиального прироста сосны в островных степных борах Кустанайской области и установил возможность на основе цикличности производить сверхдолгосрочное прогнозирование прироста сосны. Полученные данные, по мнению автора, могут быть использованы как для установления качественной оценки прироста биогеоценозов сосновых лесов и протекающих сукцессионных изменений в их фитоценозах, так и для выявления изменчивости климатических условий.

Установленные Е.В. Дмитриевой (1987) закономерности прироста сосновых древостоев Бузулукского бора (лесостепь) позволили ей дать прогноз прироста на несколько десятилетий, вплоть до 2020 ± 2 года. По установленным Е.В. Дмитриевой уравнениям связи, прирост может быть рассчитан для каждой исследованной группы типов леса (сосняки лишайниковые, сосняки сложные и т.д.) и для всех сосняков в целом, за любой необходимый для лесохозяйственного проектирования и прогнозирования отрезок времени.

По ее прогнозу, наибольших значений прирост древостоев должен был достигнуть в 2002 ± 2 году в результате наложения максимумов 29- и 11-летнего циклов и годичного значения прироста и составить 150 % по отношению к возрастной кривой для всех сосняков в целом (от 135 % – в сложных, до 180 % – в лишайниковых). В то же время расчеты лесоустройства показывали, что в результате проведения всего комплекса планируемых лесохозяйственных мероприятий прирост к 2000 году может быть увеличен лишь на 6 %. Действительно, максимальный (с 1990-го года) прирост сосны в Центральной лесостепи наблюдался в 2004-м году.

Выделенные П.А. Феклистовым и др. (1997) для сосны в северной подзоне европейской тайги циклы с периодом 10-18 и 21-25 лет имеют амплитуду до ± 11 %. Следовательно, ошибки при определении текущего прироста, без учета соответствующей цикличности, могут достигать в среднем ± 22.

Изменения темпов радиального и объемного прироста древостоев дают вариации в десятки процентов (от 60-80 % до 160-180 %), что значительно меняет также реальную картину результатов воздействия лесохозяйственных мероприятий.

Такие существенные изменения запасов древостоев нельзя не учитывать при лесоустроительном проектировании, оценке динамики лесного фонда, расчете пользования в лесосырьевых базах, проектировании лесохозяйственных мероприятий и определении их эффективности, прогнозировании продуктивности лесов. В пересчете на прирост насаждений лесорастительных зон это составит десятки миллионов кубометров древесины.

В настоящее время прогнозы солнечной активности ведутся довольно успешно и с достаточной заблаговременностью для решения многих практических задач. К сожалению, пока нельзя сказать того же о климатических прогнозах. Выявление надежных связей между циклическими колебаниями солнечной активности, элементов климата (в первую очередь – лимитирующих прирост деревьев в определенном климатическом районе) реально позволит проводить перспективное планирование лесохозяйственных мероприятий на научной основе, с учетом долгосрочных прогнозов динамики климатических условий.

Еще в 1964 г. А.И. Міхович и А.Н. Макаренко, проводившие комплексные исследования по изучению гидрологического режима в Велико-Анадольском лесу, пришли к выводу, что в условиях частой повторяемости

засушливых лет влажные периоды нужно использовать для более массового создания лесных культур, а переходные к сухим годам периоды – для профилактических рубок ухода.

На основе прогноза солнечной активности можно планировать объемы лесокультурных работ и меры ухода за посадками в пределах каждого 11-летнего цикла солнечной активности. Это поможет избежать непроизводительных затрат на создание лесных культур перед засушливыми годами и принять необходимые меры для повышения устойчивости уже имеющихся посадок (Комин, 1968).

Установленный Н.В. Ловелиусом (1979) сдвиг дат экстремумов прироста хвойных на верхней границе леса в Евразии на 2 года относительно дат экстремумов активности Солнца (максимум прироста наблюдается через 2 года после эпохи минимума солнечной активности (т.е. на ветви роста. – Прим. авт.), минимум – через 2 года после эпохи максимума солнечной активности) может быть использован, по мнению автора, при проведении лесокультурных работ в горных районах с учетом эпох 11-летних циклов солнечной активности.

Выявленные В.И. Таранковым, Л.Б. Лазуренко (1990) и С.М. Матвеевым (1994) в борах и суборях восточноевропейской лесостепи даты наступления максимумов прироста сосны за 1-3 года до эпохи максимума солнечной активности (т.е. на ветви роста активности Солнца), а минимумов прироста – на ветви спада могут служить прогностическим признаком для назначения лесохозяйственных мероприятий. Во время высокой солнечной активности условия роста древесных растений будут более благоприятными. Поэтому в это время лесохозяйственные мероприятия (лесовосстановление, рубки ухода, внесение удобрений и т.д.) будут более эффективными. Во время низкой солнечной активности обычно условия среды ухудшаются. В это время необходимо обратить большее внимание на мероприятия, обеспечивающие сохранение и повышение устойчивости лесных насаждений. В пределах 11-летнего цикла в годы, предшествующие эпохе максимума солнечной активности (3-5 лет на ветви подъема), возможно более интенсивное промежуточное пользование; в годы после эпохи максимума (4-5 лет на ветви спада солнечной активности) более целесообразны мероприятия, направленные на повышение устойчивости лесных экосистем (Таранков, 1993).

Для лесного хозяйства большое значение имеет решение вопроса о повторяемости лесных пожаров, характере их распространения в различных лесорастительных условиях и районах, разработка надежных прогнозов наиболее пожароопасных периодов. Наиболее частые и сильные лесные пожары наблюдались и наблюдаются в основном в засушливые периоды климатических циклов.

Э.Н. Валендик. и Г.А. Иванова (1990) считают, что для реконструкции и прогнозирования экстремальных пожароопасных сезонов целесообразно использование дендроклиматической информации в сочетании с датировкой лесных пожаров. Проведенный названными авторами ретроспективный пиродендроклиматический анализ в сосняках выявил следующее:

– вспышки крупных лесных пожаров хорошо согласуются с колебаниями весенне-летнего гидротермического коэффициента увлажнения;

– годичные индексы прироста сосны хорошо коррелируют с годами пожарных максимумов.

– недобор осадков в 30 % и более в весенние и летние периоды в 90 % случаев вызывает падение прироста сосны. Среднее отклонение прироста от нормы составило от 24 до 46 %.

В работе И.П. Панюшкиной (1997) на базе построенных региональных древесно-кольцевых хронологий длительностью 250-450 лет для обширной территории севера Средней Сибири осуществлен долгосрочный прогноз прироста лиственницы и температурных условий летнего периода. Кроме того, полученный дендроклиматический материал был использован для реконструкции и прогноза экстремальных пожароопасных сезонов в Эвенкии, что расширяет возможности применения дендрохронологического метода в лесной пирологии, а также позволяет повысить эффективность планируемых лесохозяйственных и лесоохранных мероприятий.

По нашим данным (Матвеев и др., 2012), сильные засухи и связанные с ними пожары наблюдались в Центральной лесостепи циклически (1890-е, 1939, 1972, 2010 гг.). Пожары 2008 г. (Хреновской бор) и 2010 г. (Усманский, Хреновской боры и др.) наблюдались в эпоху минимума 11-летнего цикла и, очевидно, в эпоху минимума векового цикла солнечной активности. Одной из причин температурных аномалий лета 2010 г., вероятно, является наложение минимумов 11-летнего и векового циклов активности Солнца (2008 г.)

Еще в 1979 г. в Ленинградском НИИ лесного хозяйства разработана подробная методика использования дендрохронологии для целей лесоустройства: для установления закономерностей роста и развития разновозрастных древостоев. Авторы (Д.П. Столяров и В.Г. Кузнецова) рекомендуют сочетать методы дендрохронологии с традиционными методами лесоводственных и таксационных исследований.

В то же время ряд исследователей (Vins, 1962, Битвинскас, 1965 и др.) считают целесообразным сбор дендрохронологического материала сочетать с лесоустроительными работами.

7.4. Определение эффективности лесохозяйственных мероприятий по методике Т.Т. Битвинскаса

Некоторые лесохозяйственные мероприятия существенно изменяют текущий прирост насаждений. Это, например:

а) лесомелиоративные мероприятия;

б) удаление лесной подстилки;

в) внесение удобрений;

г) выборочные рубки и рубки ухода.

Отрицательное воздействие на величину текущего прироста могут оказать:

а) энтомо- и фитовредители;

б) атмосферное загрязнение;

в) лесные пожары.

Т.Т. Битвинскас (1974), рассматривая применение дендроклиматических методов в лесохозяйственных целях, предлагает несложную методику определения эффективности влияния исследуемых факторов (антропогенного происхождения) на текущий прирост насаждений. Эта методика основана на сравнении индексов прироста обследуемых насаждений с эталонными дендрошкалами для насаждений того же вида, бонитета и условий местопроизрастания.

Предлагается следующая формула для определения эффективности лесохозяйственных мероприятий:

$$Z_{мх} = Z_{мд} - Z_{мн},$$

где $Z_{мх}$ – текущий прирост насаждения за счет влияния исследуемых факторов;

$Z_{мн}$ – «нормальный» текущий прирост (с учетом текущего прироста в связи с изменением возраста и влиянием климатических факторов);

$Z_{мд}$ – действительный (полный) текущий прирост насаждения за определенный промежуток времени.

Формула применяется как при исследовании факторов, отрицательно действующих на текущий прирост насаждений, так и при оценке положительно действующих факторов.

Применение данного метода возможно лишь при наличии в соответствующем климатическом районе достаточного количества надежных дендрошкал по основным лесообразующим породам, в различных лесорастительных условиях, различной продуктивности и т.д. Кроме того, таблицы индексов прироста могут быть составлены только за прошлые годы, следовательно, данные для построения дендрошкал придется регулярно обновлять.

8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ИНДИКАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Антропогенное воздействие на природу – это прямое или опосредованное воздействие человека и результатов его деятельности, вызывающее изменение природной среды и естественных ландшафтов. Стремительное развитие человеческого общества, рост населения планеты, научно-технический прогресс привели к усилению антропогенного воздействия на природную среду, лесные экосистемы и отдельные компоненты.

Все антропогенные изменения в природе можно разделить на две категории: преднамеренные и попутные. Примером преднамеренных преобразований может служить освоение земель под сельскохозяйственные культуры или многолетние насаждения, сооружение водохранилищ, строительство населенных пунктов, промышленных предприятий, путей сообщения. Попутные изменения – это изменения газового состава атмосферы, загрязнение окружающей среды, обеднение видового состава животного мира, развитие эрозионных процессов почвы и др. Большая часть попутных изменений в природе неизбежна. Задача заключается в том, чтобы свести их к минимуму или найти решение, полностью устраняющее некоторые виды негативных процессов.

Разделение антропогенных изменений на две категории – преднамеренные и попутные – по целенаправленности изменяющего фактора. Безусловно, это только один аспект возможной классификации изучаемого явления. Существует целый ряд различных определяющих признаков, которые можно использовать для идентификации антропогенных изменений в природе. В частности, в антропогенных воздействиях на лес целесообразно различать постоянно действующие факторы и эпизодические или периодические. К первым можно отнести загрязнение атмосферы, изменение водоснабжения насаждений (создание водохранилищ или осушение), рекреационные нагрузки. Ко вторым – лесные пожары, вспышки энтомовредителей, лесохозяйственную деятельность.

Вопросы установления степени и характера влияния на лес антропогенных факторов могут быть решены дендрохронологическими методами.

8.1. Изучение антропогенных воздействий на лес: основные направления

Прирост отдельных деревьев и древостоев в целом – наиболее универсальный и обобщающий признак их состояния. При оценке воздействия антропогенных факторов на лесные экосистемы нельзя обойтись без применения этого признака для анализа ситуации. Наряду с изучением изменений среднего прироста за исследуемый интервал времени целесообразно также изучить режим его колебаний, что дает ценную информацию о процессе функционирования древостоев в зоне воздействия антропогенных факторов (Алексеев, 1990).

К настоящему времени исследования дендрохронологов охватывают широкий круг проблем, связанных с антропогенным воздействием на лесные экосистемы.

Важным лесообразовательным фактором, определяющим состояние и динамику лесов, являются пожары. В подавляющем числе случаев, особенно в пригородных лесах, причины возникновения пожаров так или иначе связаны с участием человека. Дендрохронологический анализ календарных лет прошлых пожаров позволяет определить сроки, повторяемость, распространение пожаров. На основе использования радиального прироста в качестве интегрального показателя изменчивости метеоусловий проводится реконструкция и прогнозирование наиболее пожароопасных сезонов.

Под влиянием высоких рекреационных нагрузок ухудшается общее состояние лесов, снижаются их защитные, санитарно-гигиенические и эстетические функции. Искусственное уплотнение почвы, разрушение лесной подстилки, вытаптывание травяного покрова, повреждение подлеска и подроста нарушают водно-воздушный и температурный режим почвы, вызывают ослабление и деградацию насаждений (Таран, Спиридонов, 1977).

Известно, что при рекреации древостой повреждается меньше других ярусов (Зеленский, Жижин, 1974а; Казанская, Ланина, 1975). Тем не менее, на сильно уплотненных почвах корни деревьев не могут развиваться нормально, уменьшается количество всасывающих окончаний, ухудшаются условия питания, что приводит к падению радиального прироста, угнетению роста и усыханию деревьев. Дендрохронологический анализ годичного прироста насаждений позволяет установить время наступления и продолжительность рекреационной дигрессии, степень нагрузки и ее критические пределы, позволяет наметить соответствующие меры, стабилизирующие состояние рекреационных лесов и прогнозировать их будущее развитие.

Рекреационные нагрузки являются одним из основных факторов, ослабляющих устойчивость насаждений. Обычно в ослабленных насаждениях происходят вспышки размножения энтомовредителей. Дендрохронологические методы успешно применяются для оценки климатических условий возникновения, повторяемости и интенсивности вспышек массового размножения энтомовредителей.

Всё более широкое применение находят методы дендрохронологического анализа при оценке воздействия на лес хозяйственных мероприятий: рубок ухода, выборочных рубок, лесоосушительных мелиораций, внесения удобрений и т.д.

Исследовались законность и качество проведенных отводов; результаты воздействия рубок ухода различной интенсивности на последующее развитие древостоев, продолжительность этого воздействия, изменение интенсивности прироста и структуры годичного кольца в комплексе с благоприятными и неблагоприятными климатическими условиями и др.

Еще с 1960-х годов дендрохронологические методы с успехом применяются для выяснения степени загазованности территорий и учета ущерба, наносимого лесной растительности вредными промышленными выбросами. В условиях загрязнения природной среды происходит падение продуктивности лесных насаждений, которое в лесоводственном плане выражается в двух взаимосвязанных процессах: снижение прироста и увеличение отпада в древостоях. При дальнейшем воздействии загрязнителя усиливается распад древостоя. Все эти процессы тесно связаны с химическим составом промышленных выбросов, биологическими характеристиками насаждений и погодными условиями.

Стремительный рост в последние десятилетия численности автотранспортных средств и масштабов загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта послужил стимулятором активного изучения обострившейся проблемы, в т.ч. дендрохронологическими методами. Получены интересные результаты по дальности распространения влияния выбросов автотранспорта на радиальный прирост древостоев, изменения степени воздействия в зависимости от интенсивности автотранспортного потока, длительности воздействия; данные о накоплении тяжелых металлов в древесине.

8.2. Дендроиндикация техногенных воздействий на лес

8.2.1. Загрязняющие вещества: источники, основные виды, ПДК для древесных растений

Особое место по масштабам и опасности воздействия на лесные экосистемы занимает техногенное загрязнение окружающей среды, резко выраженное в пригородной, зеленой зоне промышленных центров.

Отрицательное воздействие на растения оказывают практически все выбросы, однако наибольшего внимания заслуживают так называемые приоритетные вещества: окислы серы, образующиеся при сгорании ископаемого топлива и при выплавке металлов; мелкие частицы тяжелых металлов; соединения фтора, образующиеся при производстве алюминия и фосфатов; фотохимическое загрязнение; углеводороды и окись углерода, содержащиеся в выхлопных газах автотранспорта (Смит, 1985; Трешоу, 1988).

Антропогенные источники поступления загрязняющих атмосферу веществ могут быть перечислены в следующем порядке: а) стационарные источники загрязнения (сжигание топлива, нефтеперерабатывающие заводы, черная металлургия, цветная металлургия, химическая промышленность, целлюлозно-бумажная промышленность и т.д.); б) подвижные источники загрязнения.

В результате работы предприятий перечисленных отраслей промышленности в атмосферу выбрасывается большое количество различных газообразных и твердых загрязняющих веществ.

К подвижным источникам загрязнения относятся все виды транспорта, работающие за счет сжигания жидкого ископаемого горючего, содержащего углеводород (бензин, дизельное топливо). Главные составляющие выхлопных газов автомобилей – это CO (до 80 %), CO_2 и водяной пар; концентрация углеводородов (частично сгоревших или несгоревших) и окислов азота несколько ниже. Из углеводородов, непосредственно воздействующих на растения, основным является этилен (C_2H_4).

Двигателями, работающими на бензине, выбрасывается также свинец. Он добавляется в бензин для увеличения выходной мощности сгораемого топлива, вместе с выхлопными газами он выбрасывается вдоль дорог в виде твердых частиц, а также может распространяться в атмосфере в виде свинцового аэрозоля.

В Воронежской области к 1991 г. насчитывалось около 250 тыс. автомобилей, приблизительно половина из них – в г. Воронеже. Объем выбросов автотранспорта по г. Воронежу в 1991 году составлял 110 тыс. т.

На 1.01.99 г. в Воронежской области насчитывалось уже 513518 единиц автотранспорта (более половины – в г. Воронеже), а объем выбросов по г. Воронежу в 1998 г. вырос до 137,7 тыс. т. В 2011 г. в Воронежской области зарегистрировано 820000 единиц транспортных средств, из них – ¾ автомобилей старше 5 лет. Общий объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу составил 380,5 тыс. т., в т.ч. автотранспорта – 310,5 тыс. т. (более 80 %).

Основной физической характеристикой примесей атмосферы является концентрация-масса (мг) вещества в единице объема (куб. м) воздуха при нормальных условиях. Концентрация примесей определяет физическое, химическое и другие виды воздействия веществ на человека и окружающую среду и служит основным параметром при нормировании содержания примесей в атмосфере.

ПДК – это максимальная концентрация примесей в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него, и на окружающую среду в целом, вредного воздействия (включая отдаленные последствия). В России приняты два норматива санитарных ПДК (для человека): максимально разовая (ПДК-$C_{мр}$) и среднесуточная (ПДК-C_c).

ПДК-$C_{мр}$ – основная характеристика опасности вредного вещества. Она устанавливается для предупреждения рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, световой чувствительности и др.) при кратковременном воздействии атмосферных примесей. ПДК-C_c установлена для предупреждения общетоксичного, канцерогенного, мутагенного и другого влияния вещества на организм человека.

Значения критических нагрузок на лесные экосистемы техногенных атмосферных загрязнителей (при превышении которых проявляются их негативные воздействия на экосистемы) продолжают разрабатываться.

Существуют временные нормативы ПДК атмосферных загрязнителей для основных лесообразующих древесных пород (ПДК-Л), утвержденные в 1984 году (Временные нормативы… 1984), (табл. 8.2.1.), а также «Предельно допустимые концентрации вредных веществ (ПДК-АЛ) в атмосферном воздухе для хвойных и лиственных пород», утвержденные Минприроды РФ, Рослесхозом 10.05.95 (табл. 8.2.2.).

Исследования ВНИИЛМа по совершенствованию нормативов ПДК-лес показали, что смеси газов (диоксид серы + оксиды азота, диоксид серы + оксиды азота + фтористый водород) на 15-30 % более токсичны для древесных пород, чем отдельные исходные компоненты (Мартынюк и др., 1998).

Таблица 8.2.1

Временные нормативы ПДК-Л, мг/м^3

Атмосферные Токсиканты	ПДК - С		ПДК-Л мг/м^3/% от ПДК-С	
	ПДК-Смр	ПДК-Сс	ПДК-Лмр	ПДК-Лс
Окислы азота (NO_x)	0,085	0,04	0,04/47	0,02/50
Ангидрид сернистый (SO_2)	0,5	0,05	0,3/60	0,015/30
Аммиак (NH_3)	0,2	0,04	0,1/50	0,04/100
Взвешенные вещест-ва (пыль)	0,5	0,15	0,2/40	0,05/33
Пары серной Кислоты (H_2SO_4)	0,3	0,1	0,1/33	0,03/33
Соединения фтора (газообразного)	0,02	0,005	0,02/100	0,003/60
Формальдегид	0,035	0,003	0,02/57	0,003/100
Хлор	0,1	0,05	0,025/25	0,015/30

Таблица 8.2.2

ПДК-АЛ в атмосферном воздухе для хвойных и лиственных пород

Загрязняющие вещества	Значения ПДК-АЛ, мг/куб. м			
	Хвойные породы (сосна)		Лиственные породы (береза)	
	Макс. из разовых	Средне-суточная	Макс. из разовых	Средне-суточная
Диоксид азота	0,05	0,02	0,07	0,03
Диоксид серы	0,35	0,03	0,45	0,04
Фтористый водород	0,006	0,0004	0,008	0,0006

8.2.2. Основы биоиндикации. Повреждения древесных пород техногенными эмиссиями

При определении степени воздействия тех или иных веществ в различных концентрациях на лес следует учитывать, что воздействие двух или нескольких загрязняющих соединений может быть аддитивным, антагонистическим или синергическим. То есть интенсивность воздействия может быть равной, меньшей или превышающей сумму интенсивности воздействия каждого вещества в отдельности при одних и тех же концентрациях и внешних условиях.

При отсутствии необходимой информации о составе загрязняющих веществ, их концентрации чрезвычайно трудно интерпретировать эффекты воздействия смеси этих веществ на растительность.

Наряду с известными физико-химическими методами определения негативного воздействия техногенных атмосферных загрязнителей на лесные экосистемы, которые даже при использовании современных приборов и оборудования являются достаточно дорогостоящими и трудоемкими, применяют также и методы биологической индикации.

Биоиндикация – выявление естественных колебаний природных процессов и экологически значимых антропогенных изменений на основе реакции на них живых организмов и их сообществ (Криволуцкий, 1990). Поскольку растения в целом обладают относительно высокой чувствительностью к воздействию некоторых загрязняющих веществ, их можно использовать в качестве индикаторов для выявления загрязнения и определения его уровня, а также при осуществлении мониторинга состояния загрязнения атмосферы. Преимущество таких методов в том, что они реагируют на весь комплекс воздействующих веществ, который очень сложно и неполно определяется с помощью приборов.

Если растения способны накапливать загрязняющие вещества без изменения их химического состава за счет метаболических процессов и если эти аккумулированные вещества могут быть легко идентифицированы в образцах растения, то такие виды растений можно использовать как накопители загрязнения – биомониторы (Трешоу, 1988).

Растение-индикатор – это такое растение, у которого признаки повреждения появляются при воздействии на него фитотоксичной концентрации одного загрязняющего вещества или смеси таких веществ.

Для мониторинга в большей степени характерна не качественная, а количественная оценка. Поэтому **растение-монитор** должно не только быть индикатором, но и помогать в получении количественной оценки (Мэннинг, Федер, 1985).

Кроме того, методы биоиндикации могут быть использованы с определенной достоверностью в качестве экспресс-тестов состояния лесных экосистем во времени и пространстве непосредственно в натуре.

Повреждения древесных пород техногенными атмосферными загрязнителями подразделяются на 3 группы (по интенсивности и длительности воздействия): острые, хронические и скрытые (Влияние техногенного ..., 1991).

Острое поражение растений является следствием воздействия на растения высоких концентраций газообразных загрязняющих веществ в течение непродолжительного периода времени. Поступление фитотоксичных

газов в клетки растений приводит к нарушению физиологических и биохимических процессов, протекающих в клетках. Острые поражения, проявляющиеся в необратимых изменениях ассимиляционных и других органов растений, хорошо различимы визуально по изменению цвета листьев (хвои), по так называемой дехромации ассимиляционных органов, по сохранности на деревьях листьев (хвои) или по преждевременному их опадению – так называемой дефолиации ассимиляционных органов, по наличию в кроне сухих ветвей, а в насаждении – по наличию сухих деревьев, степени распространения и обилию растений-индикаторов (лишайников на стволах деревьев и на почве, мхов и других видов растений).

Хроническое поражение растений наблюдается при действии низких концентраций газообразных загрязняющих соединений в течение длительного времени. Хронические повреждения древесных пород и лесных насаждений обычно выражены слабее и проявляются в снижении плотности облиственности (охвоенности) крон деревьев, уменьшении размеров ассимиляционных органов, преждевременном листопаде, снижении прироста фитомассы и в менее заметных изменениях растений индикаторов.

Скрытые повреждения проявляются в нарушении процессов жизнедеятельности, и их можно обнаружить путем специальных биохимических исследований или методами дендроиндикации.

Вследствие присущей растениям генетической изменчивости различные виды, формы, сорта растений по-разному реагируют на воздействие загрязняющих веществ (Илькун, 1978; Николаевский, 1983; Воронков и др., 1986; Ярмишко, 1992).

Рассмотрим, например, реакцию сосны обыкновенной на повреждение атмосферными загрязнителями.

Характерные признаки острых повреждений сосны обыкновенной техногенными атмосферными загрязнителями:

- SO_2 (Двуокись серы) – сухо- и многовершинность. Отмирание ветвей, прореживание кроны. Хвоя живет только 1-2 года вместо 4 лет, теряет темно-зеленую окраску и приобретает матовый серо-зеленый оттенок. Бронзовая или белая окраска кончиков хвои. Повреждение хвои в кроне дерева равномерное, но больше в ее верхней части. Более плотное расположение хвои на 1-летних побегах. Уменьшение линейных размеров хвои и преждевременное ее опадение. Снижение прироста по высоте и объему. Частичная или полная потеря плодоношения. Побурение кончиков хвои;
- NO_2 (NO_3) – темно-красная окраска кончиков хвои;

- хлор – появление на хвое белых пятен неправильной формы, которые затем сереют, и на их месте образуются отверстия;
- фтор – темно-коричневые пятна на хвое.

Реакция сосны обыкновенной на хроническое загрязнение:

- сокращение возраста жизни хвои;
- изреживание скелетной части крон деревьев;
- падение темпов роста осевых и боковых побегов, годичных слоев древесины;
- на хвое распространяются некрозы, уменьшается охвоенность крон;
- массовое отмирание ветвей по всей кроне и снижение прироста;
- спелые и средневозрастные сосняки гибнут, сохраняются лишь сильно расстроенные молодняки.

Дальнейшее увеличение загрязнения ведет к полному распаду сосняков всех классов возраста и типов леса.

Выделяют три основных типа взаимодействий атмосферных примесей и лесных экосистем (Смит, 1985): фоновые, значительные и разрушительные. Только в третьем случае, когда, чаще всего, изменения в экосистеме уже необратимы, появляются характерные внешние признаки происходящего и статистически достоверные изменения таксационных показателей древостоев.

Однако особый интерес представляет диагностика незначительных антропогенных воздействий на лесные экосистемы, вызывающих хронические изменения структуры и функционирования ценоза, незаметные при визуальном обследовании. Дендроклиматический анализ является достаточно эффективным средством реконструкции и прогнозирования изменения состояния окружающей среды, устойчивости, продуктивности, динамики лесных сообществ. На фоне естественных колебаний параметров окружающей среды, имеющих циклическую динамику, можно выявить особенности антропогенной трансформации (Таранков, Матвеев, 1996).

8.3. Методы изучения антропогенных воздействий на прирост деревьев (по Р.А. Юкнису, 1990)

Применяемые методы оценки потерь прироста деревьев в условиях загрязненной природной среды условно можно разделить на три группы:

1. *Метод контрольных древостоев,* основанный на сравнении абсолютных или относительных величин прироста поврежденных и контрольных древостоев.

2. *Метод контрольных деревьев,* основанный на сравнении прироста деревьев различных классов состояния в пределах изучаемого древостоя или их совокупности.

3. *Метод, основанный на анализе дендрохронологических рядов* в зависимости от естественных и антропогенных факторов (автокорреляция, гармонический анализ и т.п.).

Наиболее трудным вопросом для всех трех методов является определение «нормы», которая используется в качестве точки отсчета при оценке антропогенных изменений прироста деревьев.

Большинство применяемых в настоящее время методик относится к первой группе. Точность оценки при их использовании носит субъективный характер и в значительной мере зависит от удачного подбора контрольного древостоя (нормы). В последние годы методика подбора контрольных древостоев и сам метод оценки были модифицированы (Лиепа и др., 1978, 1983), что позволило значительно снизить субъективизм и повысить точность самих оценок. Этот метод успешно применяется в условиях достаточно сильного локального загрязнения природной среды с явно выраженным градиентом уровня загрязнения. Однако при поражении лесов в пределах обширного района подбор контрольных древостоев становится трудным делом, а часто и вообще невозможным (Юкнис, 1990).

9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА В СУДЕБНО-БОТАНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗАХ

Использование дендрохронологических методов в практике судебно-ботанических экспертиз имеет давнюю историю. Очень подробный обзор истории и современного состояния использования дендрохронологических методов в судебных экспертизах, начиная с 1880 г., опубликован в Журнале канадского общества судебно-криминалистической науки. Наиболее известный пример такого рода экспертизы представляет собой дело о похищении ребенка с целью требования выкупа (киднеппинг) и последующим его убийством. 1 марта 1932 года в штате Нью-Джерси (США) был похищен сын известного американского авиатора. Семья заплатила выкуп в размере 50 000 долларов, однако ребенок не был возвращен. В качестве существенного доказательства по делу проходила самодельная деревянная лестница. Суть дендрохронологической экспертизы сводилась к доказательству того, являлись ли ранее отдельные фрагменты древесины частями единого целого. По материалам выполненной дендрохронологической экспертизы гражданин США Гауптманн был осужден за похищение и убийство и казнен 3 апреля 1936 года (Jozsa, 1985).

В качестве успешного примера по использованию судебной дендрохронологии в борьбе с незаконными рубками рассмотрим опыт WWF (Wolodarsky-Franke, Lara, 2005). В 1976 году фицройя кипарисовидная (*Fitzroya cupressoides* (Molina) I.M. Johnst.), дерево семейства кипарисовые, была признана национальным достоянием Чили, в связи с чем была запрещена ее вырубка. Однако разрешалась вырубка и утилизация сухостоя, а также торговля древесиной, вырубленной до 1976 года. Национальная лесная корпорация Чили ответственна за охрану национальных лесов Чили, но не имеет достаточного количества средств и человеческих ресурсов, чтобы в полной мере осуществлять охрану этого вида. Ее сотрудники столкнулись с проблемой невозможности определения легальности рубки без использования методов дендрохронологии. В рамках решения этой проблемы сотрудниками Института лесного хозяйства и Всемирного фонда охраны дикой природы разработаны конкретные методики определения года, сезона гибели дерева и состояния дерева на момент рубки, которые затем были применены на практике. Апробация методик показала, что дендрохронологический метод является полезным, быстрым и четким инструментом экспертной практики. Полученные с его помощью данные признаются объективными доказательствами в судах.

Задачи дендрохронологической экспертизы во многом определяются потребностями общества. В России наиболее актуальным направлением

исследований, связанных с датированием времени рубки и определением места происхождения срубленной древесины, является контроль за легальностью оборота круглых лесоматериалов. В странах Западной Европы тот же в своей основе методический аппарат имеет богатую историю использования для целей идентификации подлинности произведений искусства, содержащих в своем составе элементы из древесины. Дендрохронологическая информация при этом используется для решения двух задач:

- установление даты рубки дерева и соответственно даты создания памятника искусства;
- установление места происхождения древесины, использованной для изготовления частей произведения искусства.

На основе полученной информации выполняется экспертиза подлинности произведений искусства.

Подробный обзор такого рода экспертных работ в Западной Европе проведен одним из старейших отечественных ученых-дендрохронологов Н.Б. Черных (1996); приведем некоторые выдержки из его книги.

В первую очередь дендрохронологические методы экспертизы были успешно задействованы для установления подлинности картин, написанных на дубовых досках. Проведенное обследование художественных коллекций из художественных галерей Западной Европы выявило примерно тысячу картин XIV-XIX вв., написанных на дубовых досках. Дуб явно предпочитался для этих целей, а иная древесина использовалась существенно реже (Bauch, 1978). Из этого количества в Гамбургской лаборатории Е. Бауху и Д. Экштейну (Eckstein, Bauch, 1974) удалось проанализировать 440 дубовых досок картин голландских, фламандских и немецких художников. В Оксфорде в это же время Д. Флетчер (Fletcher, 1978) изучал доски дубовых панелей из церковных зданий, а также портреты эпохи Тюдоров.

Дубовые доски для картин изготавливались из продольно распиленных стволов, отчего по торцам хорошо прослеживаются последовательности годичных колец, насчитывающие иногда 200 годичных слоев. В одной картине могли использоваться от одной до нескольких соединенных вместе досок. На самих досках сохраняются порой и заболонные части стволов, однако на образцах 35 изученных в Гамбургской лаборатории картин кисти Рубенса кольца заболони отсутствовали. В то же время на досках картин Боуверманна, по крайней мере, у 40 % из них, были обнаружены заболонные части дерева, иногда даже сохранившиеся полностью. Е. Баух и Д. Экштейн (1974) на основании этого высказывают предположение, что если заболонная часть досок легко отслаивалась, то она удалялась намеренно. Д. Флетчер (1978) считает, что изготовитель досок для картин должен был специально подгонять доски к

границе ядра и заболони. Вопрос об этой грани между частями дерева очень важен для датировки объекта. Если на досках частично сохраняется заболонь или возможно установить границу между ядром и заболонью, определение времени рубки дерева может осуществляться с точностью до 5 лет. Д. Флетчер также считает, что заболонь указывает самый ранний предел возраста картины. Поэтому он предлагает не отказываться от сочетания дендрохронологического анализа с другими методами, например, с пигментрентгенографией, а также с изучением письменных документов и искусствоведческим анализом.

Только при сочетании всех этих методов может быть решен целый ряд весьма важных для истории искусства вопросов. В их числе — возможность отличить подлинник от подделки, отделить работу того или иного мастера от работ учеников его школы, выделить копии современников, установить последовательность создания картин одного мастера (Eckstein, Bauch, 1974).

Для датировки самого произведения живописи чрезвычайно существенно выяснить отрезок времени с момента рубки дерева до начала живописных работ. Сравнивая порубочные даты, установленные с помощью дендроанализа, с датами создания картин, проставленными мастерами на уже готовых произведениях, можно выявить традиции, существовавшие при заготовке и подготовке досок, предназначавшихся для картин.

Изучение досок картин немецких художников Кельнской школы XIV-XVI вв. привело к заключению, что выдерживание и высушивание древесины, а также подготовка доски к употреблению занимали довольно длительный период времени – не менее 14-15 лет. Понятно, что это сильно затрудняет определение точного времени написания картины.

Иная традиция выявлена для картин XVII в. Сравнение дат последних колец на досках с проставленными живописцами датами свидетельствует, что между этими событиями проходило не более четырех-пяти лет. Однако в XVIII-XIX вв. для написания картин вновь предпочитают использовать длительно выдержанные доски. Кроме того, в XVI-XVII вв. возникает ранее не наблюдавшаяся практика вторичного использования досок для живописи, что, по-видимому, было связано с нехваткой качественной дубовой древесины. Возможно, об этом же свидетельствует и использование досок из некоторых тропических пород дерева.

В Московской лаборатории Института археологии РАН в начале 1960-х гг. также были начаты исследования досок древнерусских икон. Первоначальное обследование десяти икон XVI-XVII веков, вышедших из северных мастерских, показало, что подавляющее большинство из них написано на сосновых досках. Более детально проанализированы шесть досок, принадлежащих трем иконам Новгородского круга; одна доска происходит из

надвратной сени Снетогорского монастыря под Псковом. Замеры годичных колец производились на зачистках торцовых частей досок, где сохранилось от 80 колец (икона «Преображенье») и до 150-160 колец (иконы «Петр и Павел» и «Параскева», а также резная доска из сени). Синхронизации полученных кривых выполнялись с привлечением материалов из архитектурных памятников XVI в. из Новгорода и его окрестностей: церкви Благовещения на Михайловой улице в Новгороде, построенной в 1553 г., и церкви Успения у с. Курицко под Новгородом, построенной в 1596 г. Полученные привязки были затем проверены на массовых материалах построек из культурного слоя Новгорода и Пскова XV-XVI вв. Достаточно уверенно определяется время образования последних сохранившихся колец трех досок: одна из досок иконы «Петр и Павел» датируется 1535 г., иконы «Параскева» – 1505 г., резная доска из надвратной сени – 1425 г. Доску иконы «Преображенье» датировать не удалось (Sergeyeva N.F. et al, 1984).

Для решения задач, связанных с экспертизой объектов искусства, важную роль может играть установление места происхождения срубленной древесины, что осуществляется на основе анализа сходства тестируемой хронологии с имеющимися в распоряжении эксперта-искусствоведа региональными дендрошкалами. Н.Б. Черных (1996) отмечает: «Аналогичные вопросы пытаются решать и при анализе досок картин. Мастера XV в. нередко писали на досках из дерева, привезенного из прибрежных районов (провинция 2), снабжавших этим материалом западноевропейских живописцев вплоть до середины XVII в., а точнее – до 1650 г. Установленная граница – 1650 год – уже сама по себе может указывать на время написания картины. Например, одна из картин А. ван дер Верфа оказалась написанной на доске дерева, доставленного из провинции 2, и на этом основании у исследователей возникло подозрение, что они выявили вторичное использование самой доски. Последнее было подтверждено рентгеновским анализом, обнаружившим под верхними изображениями оригинальную живопись первой половины XVII в. Анализы сорока картин Боуверманна показали, что до 1650 г. мастер получал дубовые доски из прибрежных районов, а после этого срока – из внутренних районов страны (провинция 1). Хотя достоверно известно, что сам художник всю свою жизнь (1619-1668 гг.) работал только в Антверпене и никогда его не покидал».

Обобщив все исследования досок, выполненные в Гамбургской лаборатории, Е. Баух (Bauch, 1978) пришел к заключению, что источник древесины дуба, снабжавший в течение двух с половиной столетий (1400-1650 гг.) все западноевропейские центры – Амстердам, Лейден, Харлем, Антверпен, – располагался в прибрежных районах Нидерландов или же Фландрии. Леса этой провинции в результате энергичной эксплуатации оказались полностью

истощенными к середине XVII в., причем лес отсюда шел в основном на нужды кораблестроения. Вырубка лесов в этой части Нидерландов привела к тому, что дерево начало поступать только из внутренних районов страны – восточных Нидерландов или западных районов Германии. Дерево из глубинных материковых лесных массивов имеет заметно отличающуюся картину кривой погодичного прироста.

Эти выводы хорошо согласуются с заключениями, сделанными Д. Флетчером (Fletcher, 1978) при изучении досок, на которых написаны портреты династии Тюдоров. Он полагает, что, во-первых, эти портреты написаны художниками – выходцами с континента (Гольбейн и его школа), а, во-вторых, для ряда картин в Англии использовалось привозное дерево. Было установлено также, что некоторые картины более раннего времени оказались написанными на досках из английского дуба.

Попытки определить источники древесины предпринимались и при изучении корабельных деталей. Раскопки слоев XII-XIII вв. в Дублине обнаружили значительное количество корабельных частей, а на набережной были найдены даже остатки целого корабля XVIII в. При изучении этих образцов дерева было установлено, что 12 из 15 бревен происходят из одного источника – района, который находился в окрестностях Дублина, а три образца – неизвестного происхождения. Аналогичные результаты дало изучение и других образцов корабельных досок из раскопок. Сопоставление их кривых роста с имеющимися шкалами для Ирландии, Шотландии и Германии показало, что по своему происхождению все они связаны с Ирландским побережьем.

В нижнем течении р. Рейн расположено поселение Дорестад, согласно данным дендрохронологического анализа, возникшее в первой половине XVII в. В течение двух последующих столетий оно превратилось в значительный торговый центр на Рейне. Специфичной достопримечательностью этого поселения являлись колодцы. Наиболее распространенным их типом служили погруженные в круглые ямы крупные дубовые бочки; всего на поселении было обнаружено 26 подобных объектов. Исследование их древесины показало, что деревья были срублены в интервале 690-835 гг. Далее, благодаря существованию двадцати четырех локальных дендрошкал для различных регионов этих территорий, удалось установить, что использованное на выделку бочек дерево произрастало в более южных районах Германии. Поэтому высказывается предположение, что винные бочки, для изготовления которых использовался Южногерманский лес, были переправлены оттуда вниз по Рейну, в район Дорестада, а там уже утилизированы для сооружения колодцев (Черных, 1996).

В качестве яркого примера практического использования дендрохронологический информации в интересах лесного хозяйства можно привести изложенный в диссертации М.И. Розанова (1969) случай из экспертной практики Киевского НИИСЭ, когда дендрохронологический метод был задействован в расследовании дела о самовольной порубке леса:

«Дело началось с того, что в городе З. обратили внимание на то, что один и тот же человек систематически продавал местным жителям лес (бревна), которые привозил на грузовике. Во время очередного привоза на въезде в г. З. грузовик, груженный лесом, был остановлен автоинспектором. Ехавший за грузовиком на мотоцикле какой-то человек объехал остановившихся, набрал скорость и скрылся. Шофер грузовика показал, что его остановил на дороге человек, скрывшийся на мотоцикле и попросил, чтобы он подвез до г. З. бревна, которые находились тут же, на якобы сломавшемся тягаче с прицепом, стоявшем на обочине. Бревна перегрузили, однако человек в кабину не сел, а поехал сзади на мотоцикле. Показания шофера подтверждались находившимся все время в кабине свидетелем.

Подозрение в совершении преступления пало на лесников Белозерского лесничества (от гор. З. до этого лесничества 250 км). Нужно было установить источник происхождения как задержанного леса, так и уже купленного местными жителями. Кроме этого, если исследуемые деревья действительно выросли в Белозерском лесничестве, то в обходе какого лесника они выросли (при осмотре леса пней обнаружено не было)?

Для отбора образцов для сравнения следователь вызвал эксперта. Образцы были взяты в трех кварталах Белозерского лесничества, от задержанного леса и от бревен, купленных жителями гор. З. (одна часть этих бревен к тому времени уже находилась в постройках, другая часть была распилена на доски. Поэтому образцы были отпилены от строений (венцов срубов, торцов лаг и досок полов, а также от досок).

При отборе образцов для сравнения в лесничестве эксперт осмотрел насаждения в 225, 238 и 250 кварталах. В каждом квартале были выбраны сосны, наиболее характерные для этих насаждений. От них были отобраны образцы. Кварталы различались почвами и режимами влажности. Кроме этого, насаждения квартала 225 относились к типу леса C_2, бонитету I, полноте 0,7; насаждения квартала 238 – к типу леса B_2, бонитету II – III, полноте 0,4; насаждения квартала 250 – к типу леса B_2, бонитету III –IV, полноте 0,5.

В ходе экспертизы, на основе анализа динамики прироста было установлено, что исследуемые деревья не могли вырасти в 250 квартале, то есть в обходе лесника Московченко. В то же время было показано, что исследуемые деревья могли вырасти в кварталах 225, 238, т.е. в обходе лесника Черненко.

Также было установлено, что часть исследуемых деревьев была срублена в первой половине вегетационного сезона (весной) 1965 года, вторая же часть – во второй половине вегетационного периода (во второй половине лета или в начале осени) 1965 года.

Следователь сообщил в Киевский НИИСЭ, что все выводы экспертизы полностью подтвердились материалами дела. Расхитителем леса оказался лесник Московченко, похищавший лес не в своем обходе, а в обходе лесника Черненко. Черненко был непричастным к преступлению. Расхититель был предан суду».

Дендрохронологические экспертизы достаточно давно используются в отечественной судебной практике борьбы с нелегальным оборотом древесины (Розанов, 1969, 1971, 1972; Оркин, Малоквасов, 1992; Колотушкин, Головань, 2007; Жаворонков, 2009; Липаткин и др., 2010; Пальчиков, Румянцев, 2012)

Благодаря использованию современного оборудования ряд исследований (определение времени рубки ствола дерева, определение сухостойности дерева на момент рубки, подтверждение принадлежности пня и ствола организму одного дерева) в настоящее время представляют собой стандартную экспертную задачу. Несколько десятков подобного рода экспертиз было проведено сотрудниками ЭКЦ УВД по Вологодской области при расследовании разнообразных преступлений, связанных с нелегальным оборотом древесины. Подобного рода экспертизы ведутся также в ЭКЦ УВД по Иркутской области и в ЭКЦ УВД по Алтайскому краю.

В приведенном ниже примере, основанном на данных, собранных в заповеднике «Кивач» (Южная Карелия), демонстрируется возможность установить место произрастания дерева на основе корреляционного анализа индексированных хронологий. Здесь представлены данные из двух резко отличных типов местопроизрастания сосновых лесов заповедника «Кивач» (Южная Карелия). В пределах одного типа лесорастительных условий (рис. 9.1) у учетных деревьев динамика прироста сходна, т.е. периоды увеличения и уменьшения радиального прироста совпадают. Коэффициент корреляции (R) между рядами прироста высокий (R=0,83). В сосняке черничнике на свежих супесчаных почвах динамика радиального прироста у деревьев иная, по сравнению с динамикой прироста деревьев из сосняка беломошника, сформировавшегося на сельгах, что хорошо видно на рис. 9.2. Коэффициент корреляции между рядами прироста здесь значительно ниже (R=0,55), чем в рассмотренном выше случае.

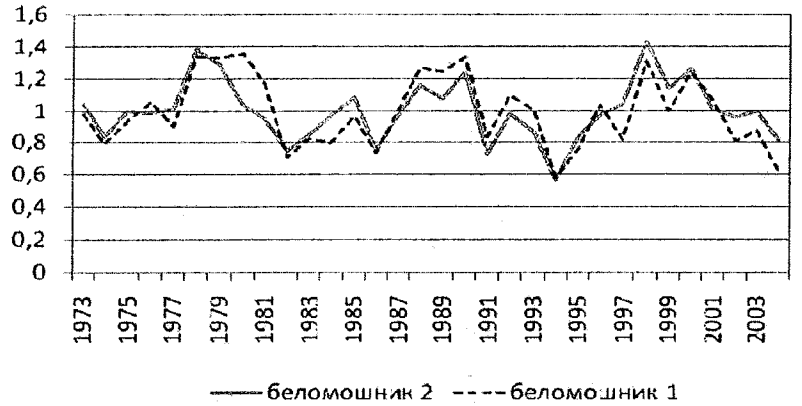

Рис. 9.1. Динамика индексов радиального прироста сосны на двух пробных площадях в пределах одного типа лесорастительных условий

Рис. 9.2. Динамика радиального прироста деревьев сосны на двух пробных площадях из разных типов лесорастительных условий

Следовательно, в ряде случаев возможна уверенная диагностика того, действительно ли деревья были срублены на указанной в сопроводительных документах лесосеке. На рис. 9.3 на материале тех же учетных деревьев, что и на рис. 9.1, показан принцип определения срока рубки деревьев способом перекрестной датировки. Впервые его использовал американский астроном А.Э. Дугласс, и с тех пор он широко используется при датировке сухостоя, древесины построек и ископаемой древесины.

Рис. 9.3. Выявление неправильной датировки года рубки деревьев

Эталонная хронология (показана сплошной линией) построена по живым деревьям из окрестностей указанной в документах лесосеки, с которых в 2004 году были отобраны керны. Год формирования каждого годичного кольца в ней известен: ближайшее к коре годичное кольцо соответствует году отбора керна дерева, даты формирования остальных годичных колец получены путем обратного отсчета. Тестируемая хронология (показана пунктирной линией) построена по деревьям, которые были срублены в 2004 году, однако в документах в качестве времени рубки указан 2003 год. При визуальном сопоставлении графиков просматривается сдвиг минимумов и максимумов на 1 год. Корреляционный анализ (при датировке 2003 годом коэффициент корреляции между рядами равен 0,40; при датировке 2004 годом он равен 0,83) и визуальная диагностика синхронности рядов позволяют нам правильно установить год рубки деревьев (2004). Если дата рубки заранее известна, то с использованием метода перекрестной датировки возможно установление факта сухостойности дерева на момент рубки.

Иногда появляется потребность в определении времени рубки дерева с точностью, превышающей один год. Сделать это возможно на основе анализа структуры годичного кольца.

Покажем, каково могло бы быть практическое применение этих знаний в сфере контроля за незаконными рубками леса.

Зачастую незаконная рубка производится поверх уже законченной и сданной рубки, либо обнаруженной лесной охраной и оставленной самовольной порубки, сделанной иной фирмой (как вариант –

незарегистрированной фирмой) или частным лицом. Разница в сроках проведения рубок при таком подходе составляет несколько месяцев. Факт незаконной рубки может быть достоверно зафиксирован на основе изучения структуры годичного кольца на пнях, что возможно в полевых условиях на основе визуального анализа после небольшой специальной подготовки поверхности пня.

При контроле законности рубок часто возникает проблема установления принадлежности пня и ствола одному дереву. Например, широко распространенным нарушением является рубка леса арендатором лесного участка за пределами отведенной ему лесосеки. В установлении факта такого нарушения может быть полезным именно определение принадлежности пня и срубленного ствола одному дереву. Это возможно, т.к. уровень сходства динамики прироста на разных высотах высок внутри ствола дерева, в то время как уровень сходства между хронологиями по разным учетным деревьям из одного местообитания значительно ниже. Для иллюстрации принципа диагностики мы использовали данные по модельным деревьям ели из Можайского района Подмосковья (Румянцев, Николаев, 2006; Пальчиков, Румянцев, 2009). Образцы древесины (спилы) были отобраны у модельных деревьев на высоте 50 см от земли (пень) и 150 см от земли (ствол). Результаты расчета корреляционной матрицы приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Результаты диагностики сходства хронологий ели на основе корреляционного анализа

Код хронологии	N62-50	N62-150	N59-50	N59-150	N48-50	N48-150
N62-50	1					
N62-150	**0,84**	1				
N59-50	0,58	0,47	1			
N59-150	0,56	0,49	**0,98**	1		
N48-50	0,56	0,31	0,60	0,56	1	
N48-150	0,57	0,28	0,55	0,49	**0,83**	1

Из данных табл. 9.1 можно видеть, что внутри одного дерева коэффициент корреляции высок (0,83-0,98). Во всех остальных вариантах он низок: порядка 0,50. Согласно данным М.И. Розанова (Методические рекомендации..., 1972), коэффициент корреляции между кривыми роста различных частей ствола одного и того же дерева колеблется от 0,80 до 0,99, в то время как значения коэффициентов корреляции между наиболее сходными кривыми роста различных деревьев не превышают 0,60.

10. СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Уже в 60-х годах XX века были известны первые приборы, позволяющие проводить полуавтоматические измерения ширины годичных колец. Так, М.И. Розанов в своей диссертации (Розанов, 1969) отмечает, что процесс «...измерения ширины годичных слоев может быть механизирован. Во многих дендрохронологических лабораториях за границей применяется полуавтоматическая машина Эклунда, автоматически записывающая толщину годичного кольца после ее визуальной фиксации исследователем».

Прибор ЛИНТАБ (LINTAB) в настоящее время является наиболее удачной современной модификацией машины, принципы которой были придуманы шведским лесоводом Эклундом. Он был разработан Ф. Ринном в германской фирме РИННТЕХ (RINNTECH) в 1991 году и до настоящего времени продолжает совершенствоваться. В 2009 году прибор прошел сертификацию в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии; по результатам испытаний был зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений и допущен к применению на территории Российской Федерации.

ЛИНТАБ может работать с любым ПК, использующим операционные системы Windows 98/2000/XP/Vista/Windows 7 и имеющим свободный порт USB либо серийный интерфейс. Для записи измеряемых параметров используется программное обеспечение TSAP-Win. Базовая программа TSAP-Win Basic пригодна только для записи измеряемых данных. Другие функции она выполнять не может. Для дополнительного анализа информации рекомендуется использовать TSAP-Win Professional (программу для профессионального применения) либо TSAP-Win Scientific (программу для научного применения).

Согласно действующей методике дендрохронологического анализа, составленной во Всесоюзном научно-исследовательском институте судебных экспертиз при Минюсте СССР (Методические рекомендации..., 1972), ширина годичного кольца на образцах древесины (поперечных спилах, фрагментах спилов, буровых кернах) должна измеряться с точностью до 0,05 мм.

Согласно описанию типа средств измерений для государственного реестра РФ, выполненному ФГУ «Ростест-Москва», устройство для измерения ширины годичных колец LINTAB» (внесено в Государственный реестр средств измерений РФ под регистрационным номером № 40766-09) имеет предел допускаемой абсолютной погрешности измерения 0,03 мм.

Точность измерений прибора отвечает требованиям методики дендрохронологического анализа (Методические рекомендации…, 1972), ранее использовавшейся при проведении экспертных исследований образцов древесины.

Базовая комплектация прибора ЛИНТАБ включает в себя: линейную направляющую с электронным оснащением (плюс опция: устройство разворота на 90°); электронное устройство; опорные плиты; 1 плату измерительного стола; 1 промежуточную опору платы измерительного стола; 1 ручной эксцентрик; 2 винта М6×55; 8 винтов М6×30; 1 соединительный кабель USB; 1 кабель серийный; 1 адаптер для обеспечения питания (7,5 В) (рис. 10.1).

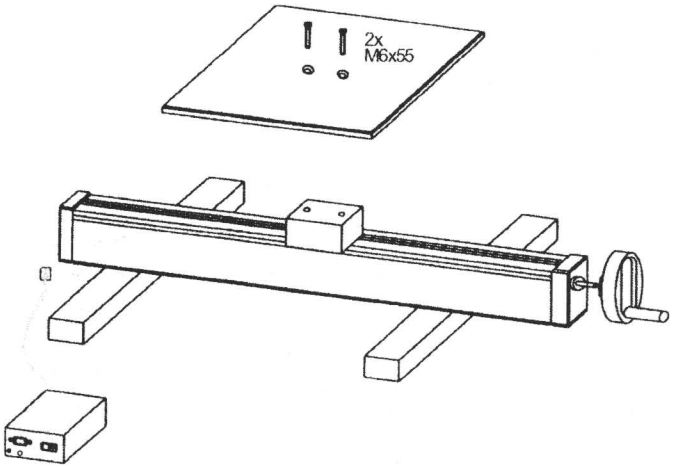

Рис. 10.1. Схема устройства прибора ЛИНТАБ 6

Прибор ЛИНТАБ 5 характеризуется жестким креплением электронного устройства на корпусе (рис. 10.2), прибор ЛИНТАБ 6 (рис. 10.3) характеризуется меньшими габаритными размерами за счет того, что электронное устройство располагается отдельно от корпуса и соединяется с ним через порт USB либо серийный порт. Прибор работает в комплекте с бинокулярными микроскопами, например, МБС-10 (рис. 10.4), Leica MS5 (рис. 10.2), Leica S4E (рис. 10.5), и иными моделями стереомикроскопов при наличии соответствующего крепления к прибору.

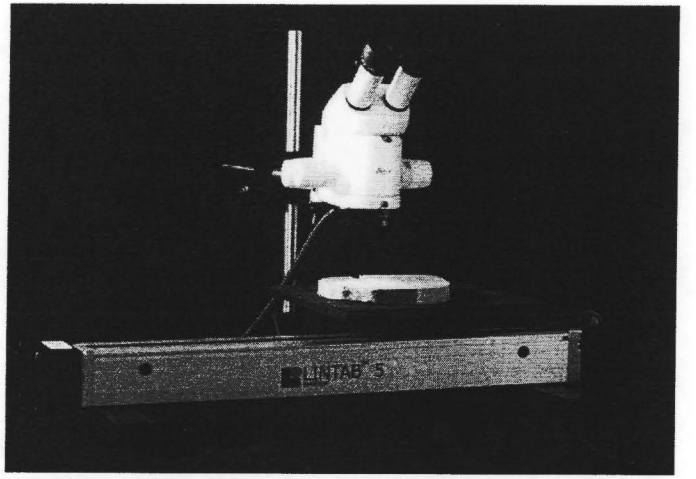

Рис. 10.2. ЛИНТАБ 5 в комплекте с микроскопом Leica MS5

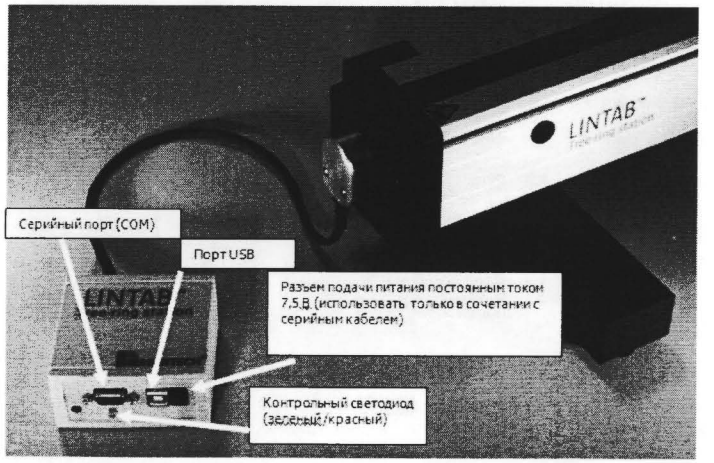

Рис. 10.3. Электронное устройство ЛИНТАБ 6

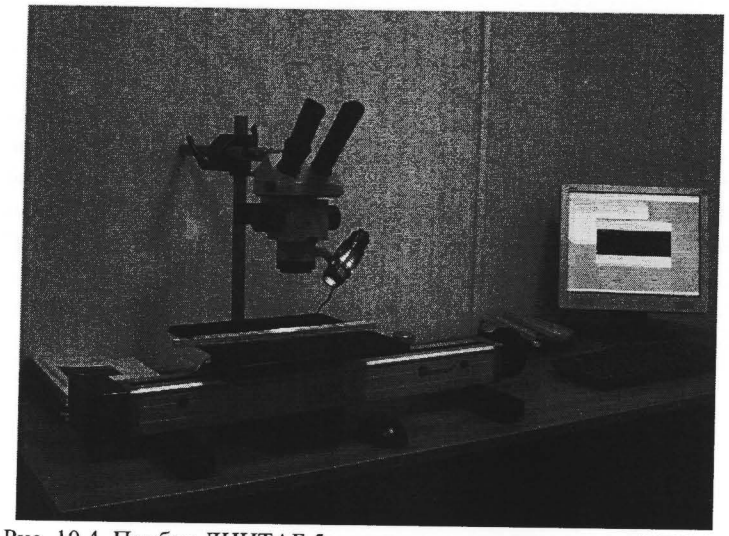

Рис. 10.4. Прибор ЛИНТАБ 5 в комплекте с микроскопом МБС 10

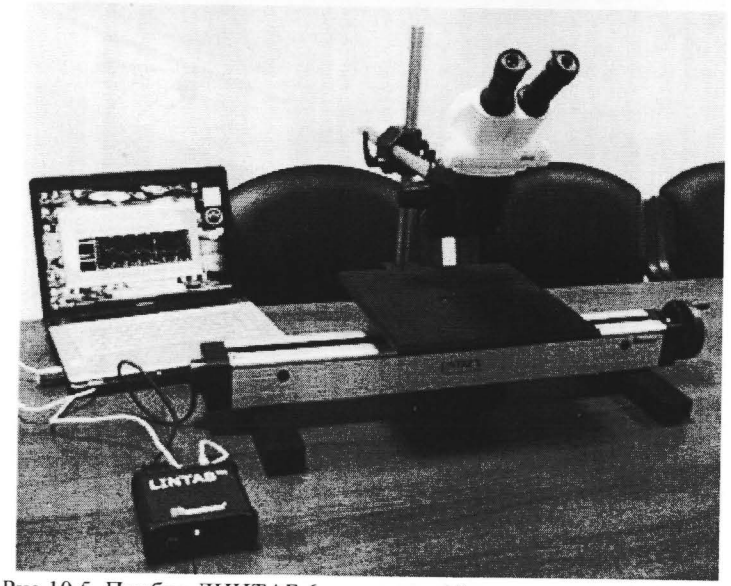

Рис.10.5. Прибор ЛИНТАБ 6, оснащенный микроскопом Leica S4E

Одним из достоинств прибора является простота в обращении. Исследуемый дендрохронологический образец располагают на рабочем столе прибора. Пористый материал, которым покрыт рабочий стол, обеспечивает стационарное положение образца на поверхности, препятствует его скольжению и случайным сдвигам. Исследователь наблюдает поверхность образца в бинокулярный микроскоп. Шкала, нанесенная на один из окуляров микроскопа, позволяет вести измерения образца.

Измерения производятся следующим образом: вращением рукоятки рабочий стол и расположенный на нем образец смещаются относительно глаз наблюдателя. Каждый раз, когда визирная линия окуляра пересекает границу годичного кольца, исследователь нажимает клавишу мыши, и прибор фиксирует ширину годичного кольца. Настройки программного обеспечения прибора позволяют вести измерения ширины годичных колец в четырех вариантах, основанных на комбинации следующих параметров: сдвижка рабочего стола вправо, сдвижка рабочего стола влево, отсчет годичных слоев от коры, отсчет годичных слоев от сердцевины.

График изменчивости годичных колец по мере измерений отражается на мониторе компьютера, присоединенного к прибору.

Пакет программ TSAP-Win позволяет вести различного рода статистическую обработку полученных рядов радиального прироста, а также переводить их в другие форматы, например, в формат, пригодный для работы в табличном процессоре Microsoft Excel.

С целью ускорения процесса измерения ширины годичных колец, а также получения более точных данных (например, при измерении ширины слоя ранней и поздней древесины в годичном кольце) фирмой RINNTECH разработана программа LIGNOVISION. Программа может использоваться на персональных компьютерах с операционными системами Microsoft Windows 98, XP, 2000, NT. В комбинации со сканером LIGNOVISION позволяет вести измерения на любых образцах, обладающих контрастными структурами, и в первую очередь – на отшлифованных образцах древесины.

Первым этапом для работы с LIGNOVISION является подготовка поверхности образца древесины, для чего могут использоваться очень острые режущие инструменты либо шлифовальные машины.

Второй этап – получение сканированного изображения. Затем, после определения направления, по которому будут вестись измерения, запускается процедура автоматического распознавания годичных колец (рис. 10.6). Полностью автоматическое распознавание годичных колец имеет недостаточную для дендрохронологических исследований точность, поэтому как вспомогательная процедура используются визуальный контроль и ручная

корректировка результатов автоматического распознавания с помощью компьютерной мыши.

Данные, полученные при работе с LIGNOVISION, могут быть сохранены в формате, пригодном для их последующей статистической обработки в программе TSAP-Win и работы в табличном процессоре Microsoft Excel.

Помимо ширины годичного кольца в программе возможно измерение ширины слоя поздней и ширины слоя ранней древесины. Кроме того, в LIGNOVISION предусмотрены возможности для обработки не только изображений, полученных путем простого сканирования, но и путем сканирования рентгеновскими лучами на установке ЛИГНОСТАНЦИЯ (LIGNOSTATION). LIGNOVISION в комплекте с LIGNOSTATION позволяет определять такие параметры образца древесины, как минимальная и максимальная плотность, плотность слоев ранней и поздней древесины.

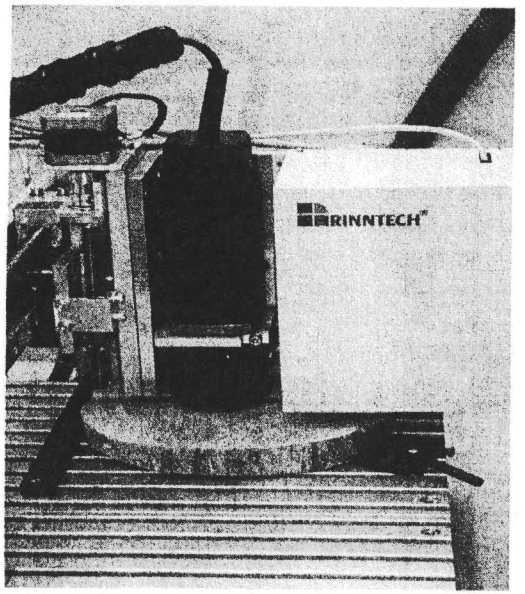

Рис. 10.6 Зачистка и сканирование спила с помощью прибора ЛИГНОСТАНЦИЯ

Сбор дендрохронологической информации представляет первый этап, необходимый для решения исследовательской, либо экспертной задачи. За ним должен следовать аналитический этап. В силу того, что лесоводственно

ориентированная дендрохронология только начинает формироваться как самостоятельное научное направление, комплексы аппаратно-программных средств для решения приоритетных задач лесоводства в большинстве своем не разработаны.

Одной из первых программ такого рода была специализированная программа GROWLINE (Липаткин, Мазитов, 1997). Наилучшим образом она подходит для решения задач установления времени гибели сухостоя; времени рубки дерева; поиска выпадающих годичных колец в древостоях, где имели место вспышки численности хвое- и листогрызущих вредителей. Первая версия этой программы разработана в 1995 году применительно к среде MS DOS. Программа до настоящего времени широко используется в научной работе и учебном процессе МГУЛ. Применение программы DOS BOX позволяет адаптировать ее для работы в среде Microsoft Windows.

В 2008-2010 гг. коллективом авторов (В.А. Липаткин, С.Б. Пальчиков, Д.Е. Румянцев и др.) в лаборатории дендрохронологии ООО «ЗДОРОВЫЙ ЛЕС» по заданию Рослесхоза разработан комплекс аппаратно-программных средств, предназначенный для анализа дендрохронологической информации с целью решения задачи идентификации места происхождения древесины. Несомненно, что дальнейшее развитие лесоводственной дендрохронологии потребует создания других специализированных программных комплексов.

Современное оборудование для сбора и обработки дендрохронологической информации позволяет осуществлять эти процессы быстро и эффективно, оно во многом освобождает исследователя от рутинной технической работы и позволяет сосредоточиться на анализе получаемых результатов. Создание специализированных программ для анализа дендрохронологической информации позволит сделать процедуру анализа доступной широкому кругу специалистов и надежной, что в итоге сделает возможным широкое внедрение методов дендрохронологического анализа в лесохозяйственную практику.

11. БАНКИ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ КАК ОТДЕЛЬНАЯ ФОРМА ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

11.1. Международный банк данных годичных колец (ITRDB)

По мере накопления знаний об изменчивости годичных колец дендрохронологи начали обсуждать вопрос создания банков дендрохронологической информации. Эта идея была воплощена в жизнь американским профессором Г. Фритсом (H. Fritts) в 1974 году. В настоящее время Международный банк данных годичных колец (International Tree-Ring Data Bank) во Всемирном центре данных для палеоклиматологии (The World Data Center for Paleoclimatology) (Боулдер, штат Колорадо, США) содержит первичные данные измерений по каждому отдельному дереву и обобщенные данные для отдельных пробных площадей. Данные могут включать первичные замеры ширины годичного кольца, плотности древесины или иные виды дендрохронологической информации. Все серии должны быть перекрестно датированы, допускается наличие плавающих серий, то есть датированных между собой индивидуальных хронологий, которые, однако, по каким-либо причинам не датированы в календарном времени. Не существует ограничений по минимальной длине серии либо числу образцов, использованных для построения обобщенной хронологии. Данные могут быть представлены в любом из доступных форматов. Предпочтительным форматом является формат, разработанный в лаборатории исследования годичных колец в Аризонском Университете («Tucson format»). Для большинства образцов банка предоставляется информация согласно ниже приведенной форме, доступной для заполнения в Интернете в режиме «on-line».

Форма включает в себя следующие сведения:

Информациия об участке леса

1. Наименование участка
2. Имена исследователей
3. Видовая принадлежность учетных деревьев
4. Географические координаты (широта, долгота, высота над уровнем моря)
5. Страна
6. Район страны

Информациия о дендрохронологических данных

1. Тип измерений
2. Первый метод сглаживания
3. Второй метод сглаживания
4. Цель отбора образцов

5. Место хранения образцов и их доступность
6. Публикации
7. Дополнительная информация

В банке хранятся следующие **виды дендрохронологической информации:**

1. Временные ряды плотности ранней древесины
2. Временные ряды ширины слоя ранней древесины
3. Временные ряды плотности поздней древесины
4. Временные ряды процента поздней древесины в годичном кольце
5. Временные ряды ширины слоя поздней древесины
6. Временные ряды максимальной плотности
7. Временные ряды минимальной плотности
8. Временные ряды ширины годичного кольца
9. Временные ряды общей плотности годичного кольца

Рабочее окно, отражающее структуру Международного Банка Данных годичных колец, показано на рис. 11.1.1.

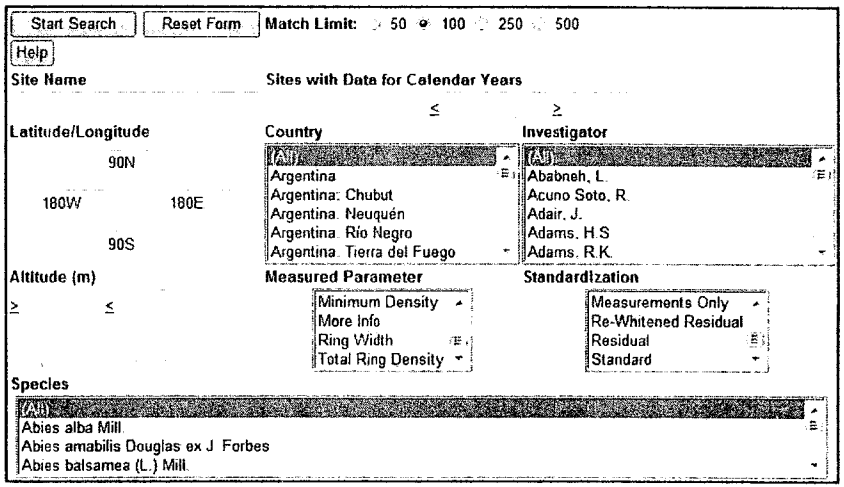

Рис. 11.1.1. Рабочее окно, отражающее структуру Международного Банка Данных годичных колец

11.2. Дендрохронологический банк СССР

Для концентрации дендрохронологических данных и, в последующем, организации на основе единой базы данных масштабной научно-исследовательской работы с возможностью в дальнейшем получить результаты,

представляющие ценность для народного хозяйства, был создан Дендрохронологический банк СССР. Банк был организован 27 июня 1978 года в г. Каунасе, на базе Дендроклиматохронологической лаборатории Института ботаники АН СССР и Литовского научно-исследовательского института лесного хозяйства Государственного комитета СССР по лесному хозяйству.

Основными целями создания Дендрохронологического банка являлись:

- сохранение дендрохронологических данных от потерь, связанных с реорганизацией научных учреждений и уходом научных сотрудников;
- обеспечение доступности дендрохронологической информации для исследователей любого профиля;
- обмен дендрохронологическими материалами с другими странами и Международным банком дендрохронологических данных;
- представление интересов СССР в международных организациях по вопросам дендрохронологической информации.

Совет созданного банка включал председателя, ученого секретаря и членов, работающих в области дендрохронологии. Совет банка работал под методическим руководством Комиссии по дендроклиматологическим исследованиям при научном совете «Биологические основы рационального использования, преобразования и охраны растительного мира» АН СССР и был ей подотчетен.

К 1989 году в Советском Союзе дендрохронологическими исследованиями было охвачено 34 района: Мурманская, Архангельская, Ленинградская, Новгородская, Калининградская, Московская, Воронежская, Оренбургская, Томская, Иркутская области РСФСР; Коми АССР, Карельская АССР, Татарская АССР, Башкирская АССР, Якутская АССР, Белорусская ССР, Украинская ССР, Литовская ССР, Латвийская ССР, Эстонская ССР; Ставропольский, Алтайский, Красноярский, Приморский края, Ненецкий, Ямало-Ненецкий, Таймырский, Чукотский автономные округа, горные районы страны (Кавказ, Урал, Тянь-Шань, Памир, Камчатка). Наиболее полно в дендрохронологическом отношении были исследованы такие районы СССР, как Прибалтика, Новгородская область, Карелия, Урал, Кавказ, Прибайкалье.

На дату 1 января 1989 года в Дендрохронологическом банке СССР было размещено 584 вклада (дендрохронологических шкалы). В том числе 75 дендрошкал были составлены с использованием археологической древесины г. Новгорода, Приладожского и Приильменского регионов; 14 – по исторической древесине Тракайского замка, 10 – по древесине из фундаментов старой водяной мельницы (Литовская ССР). Остальные 485 дендрошкал были составлены по растущим деревьям или, с применением метода перекрестного датирования, по растущим и срубленным деревьям. Протяженность основной

массы хронологий составляла 100-300 лет, присутствовали в банке и дендрошкалы протяженностью менее ста лет.

Дендрохронологические данные, представляемые для хранения в Дендрохронологическом банке СССР, должны были отвечать следующим требованиям (далее приводятся выдержки из документации банка).

Принимаются серии данных, измеренные и изученные как на спилах, так и цилиндриках (кернах) возрастных буравов (буравов Пресслера). Принимаются в ДБ СССР шкалы, **построенные не менее чем с десяти** древесных образцов (серий-радиусов); желательно, чтобы их было **не менее 20-ти.** В банк должны быть отобраны серии годичных колец, имеющие относительно одинаковые условия местопроизрастания по почвенно-экологическим условиям, микро-макро-рельефу, типу леса.

Поскольку Дендрохронологический Банк имеет цель, в первую очередь, накопить данные, характеризующие климатические и экологические условия определенных районов страны, следует использовать деревья, наилучше отражающие определенные комплексы климатических условий и относительно мало отражающие антропогенные, энтомо-фитогенные и другие случайные, нехарактерные для больших районов условия произрастания деревьев.

Принимаются дендроданные, имеющие в среднем длину ряда не менее 100 лет. Исключение могут составить пробные площади крупных пространственных исследований, где уже заведомо нет возможности составить ряды длиннее 100 лет по данным современных лесов. Например, дендроданные из районов, где под влиянием резких климатических условий выпадение деревьев происходит в сравнительно молодом возрасте (степь). Из таких районов могут быть приняты ряды, представленные менее чем 10-ю деревьями, но не менее 3-х (группа Б). В исключительных случаях принимаются отдельные ряды одиночных деревьев, имеющие не менее чем 250-летнюю продолжительность, но при этом последние десятилетия такой серии должны быть синхронизированы с более молодыми деревьями. Во всех случаях для хвойных и кольцесосудистых лиственных деревьев желательно (но не обязательно) «представить измеренные данные ранней (весенней) и поздней (летне-осенней) древесины». Данные о плотности древесины по возрасту не ограничиваются.

Дендрохронологический Банк не ограничивает авторов по числу взятых и измеренных радиусов (серий) на одном дереве (они могут быть от 1 до 4 на одном дереве и взяты на высоте груди (примерно 1,3 м). Желательно, чтобы образцы древесины были взяты с разных сторон света. В горных условиях желательно указать наличие или отсутствие крени и экспозицию серии в отношении горного склона.

Во всех случаях **образцы должны быть отобраны и синхронизированы во времени самим автором**. Необходимо, чтобы такую синхронизацию он проводил и при изучении прироста на спилах отдельных деревьев и на цилиндриках (кернах) древесины. Радиальные серии одного дерева должны быть обобщены в одну серию.

Необходимо стремиться, чтобы представленные серии с одного лесного участка имели процент сходства со средними данными пробной площади и, особенно, между собой – не менее 60 %.

В Банк принимаются также обобщенные самим автором данные – средняя ширина представленной шкалы и индексы данных, рассчитанные по методике автора. По желанию автора эти данные, вместе с кратким описанием шкалы и полученными по ней результатами, по рекомендации правления Банка могут быть опубликованы в специальных изданиях Комиссии по дендроклиматологическим исследованиям АН СССР.

В Дендрохронологический Банк принимается и древесина, полученная из археологических объектов, старых строений, залежей торфа, водных бассейнов и т.п. Во всех случаях автором должна быть проведена если не абсолютная, то относительная датировка (например, древесина, датированная методами С14). В данном случае необходимо указать дату использованных годичных колец, пределы ошибки даты, название и № анализа радиоуглеродной лаборатории.

Если шкала синхронизирована автором из многих образцов методом перекрестного датирования, образцы древесины должны быть представлены в определенном хронологическом порядке. Примером может служить шкала Б.А. Колчина в сборнике «Дендроклиматологические шкалы Советского Союза», Каунас, 1978 г. Для многовековых шкал, построенных по методу перекрестного датирования, возрастной ценз отдельным сериям не вводится.

О представленных материалах в Дендрохронологический Банк СССР автору выдается специальное свидетельство, которое в случае необходимости можно представлять при защите диссертаций и как доказательство внедрения научных разработок.

Данные ширины годичных колец автором заносятся на специальные бланки, присылаемые комитетом банка (форма 1), по десятилетиям от более ранних лет к более поздним. Данные ширины отдельных серий годичных колец записываются с точностью 0,01 мм.

Для одной серии отводится один лист формы № 1. В целях экономии места допускается заполнение бланков несколькими сериями, но с одной шкалы (пробной площади). Бланки в данном случае должны иметь нумерацию и приложения – характеристику дендроданных (форма № 2) и ведомость (форма № 3).

В случае несоответствия требованиям Дендрохронологического Банка данные высылаются обратно. Если возникают сомнения в научной достоверности присланных материалов, материалы посылаются двум членам Комиссии по дендроклиматологическим исследованиям, и их мнение является решающим.

Дендрохронологический Банк собирает и, по возможности, публикует программы для обработки дендроданных, подготовленных для различных ЭВМ отечественного производства. По возможности, испытывает их на имеющихся в наличии ЭВМ и за определенную плату помогает советским дендрохронологам обработать данные на ЭВМ АН Литовской ССР и Литовского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

Право на пользование материалами Дендрохронологического Банка в первую очередь имеют члены банка. Членом банка становится любой советский исследователь или учреждение, приславшие данные не менее 3-х шкал, отвечающих требованиям банка. Научные работники и учреждения, не внесшие своего вклада в Банк и желающие воспользоваться его данными, должны выслать заявку в банк с рекомендацией одного из членов комиссии по дендроклиматологическим исследованиям СССР, утвержденной Председателем или заместителем председателя комиссии.

Дендрохронологические данные представляются с неограниченным или ограниченным пользованием (**автор дает каждый раз согласие на использование своих данных в течение 5 лет от момента представления**). В виде исключения по просьбе автора данных этот момент может быть продлен на следующие 5 лет. Один раз в 3 года члены банка получают информацию об использовании их вклада в банк.

Дендрохронологические шкалы в виде годичных индексов, а также построенные по средней ширине годичных слоев, являются свидетельством законченности подготовки шкал и поэтому должны присылаться на бланках формы № 1. Неопубликованные шкалы без согласия авторов в течение 5 лет потребителям не выдаются.

Обмен дендрохронологическими данными Дендрохронологического Банка СССР с заграничными национальными и международными банками идет на равноправной и равноценной основе, через каналы, санкционированные президиумом АН Литовской ССР и президиумом АН СССР. Президиум АН СССР санкционирует членство Дендрохронологического Банка в деятельности Международного Банка.

11.3. Российский банк данных древесных колец

Российский банк данных древесных колец создавался для историков, археологов, музейных работников и других специалистов, в работе которых время от времени возникает необходимость определения календарного возраста деревянных строений или изделий из дерева. Он будет полезен и для дендрохронологов. Банк данных, представляя имеющиеся для территории России мастер-хронологии, позволит легко ориентироваться в реальных возможностях проведения дендрохронологических датировок в различных районах.

Банк включает в себя информацию о хронологиях, а также сами хронологии (для некоторых точек). В большинстве случаев хронологии построены сотрудниками лаборатории дендрохронологии ИЭРиЖ УрО РАН. Кроме того, использована информация о хронологиях и сами хронологии, имеющиеся в сборниках «Дендроклиматологические шкалы Советского Союза», издававшихся Комиссией по дендроклиматическим исследованиям АН СССР (1979-1984 гг.). В банк данных включена также информация, имеющаяся в свободном доступе в Мировом центре данных по палеоклиматологии. Значительная доля информации предоставлена дендрохронологами из других организаций. Самая длительная хронология в Банке охватывает 7315 лет. В списке хронологий имеются 13 рядов длительностью более 1000 лет, 56 рядов длительностью более 500 лет. Около половины хронологий имеют длительность более 300 лет.

В банке данных имеются хронологии по более чем 20 видам деревьев и кустарников. В основном это хронологии по ширине годичных колец. Представлены также хронологии по ширине поздней и ранней древесины и ряды отклонений в анатомической структуре годичных колец. Эти показатели наиболее широко используются для датировок древесины. В Российский банк данных древесных колец не включена информация о хронологиях по плотности древесины, поскольку этот показатель не используется в практике датировок деревянных сооружений и изделий.

Обязательным условием использования хронологии из Российского банка данных является ссылка на источник. Он указан в соответствующей строке информации, сопровождающей каждую хронологию. Например: Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса. – М. : Изд-во «Наука», 1986. – 136 с. Данные хранятся в Банке данных российских хронологий древесных колец, Екатеринбург. В том случае, если хронология доступна по ссылке на Мировой центр данных по палеоклиматологии (The World Data Center for

Paleoclimatology, WDC), необходимо цитировать данные по правилам этого Центра (Sample Data Citation).

Размеры территории, для которой могут быть проведены надежные датировки, зависят от региона. Для субарктических условий иногда можно датировать годичные кольца деревьев, росших в радиусе нескольких сотен километров от места, для которого имеется мастер-хронология, а в условиях средней полосы России эта область значительно сокращается. Возможность надежной датировки зависит также от условий местообитания, где брались образцы для построения хронологий, и от вида дерева. Поэтому в Банке данных для многих точек имеются данные по нескольким типам местообитаний и по нескольким видам деревьев.

Банк данных позволяет осуществлять поиск и выбирать данные по нескольким критериям:

1) по региону (обозначенному на карте кликом мыши);
2) по периоду времени;
3) по виду дерева;
4) по параметру кольца;
5) по высоте над уровнем моря;
6) по фамилиям авторов хронологии.

Для большинства точек имеется свободный доступ к хронологиям. Он обеспечивается либо наличием самой хронологии в Банке, либо ссылкой на место ее хранения (в случае с данными Мирового центра данных по палеоклиматологии). Необходимое условие их использования для любого вида деятельности – цитирование источника данных. По некоторым точкам хронологии в Банке отсутствуют. Получить их можно у авторов хронологии. Порядок и условия передачи данных определяются авторами.

Формат данных в Банке не унифицирован. Как правило, данные представлены в одном из так называемых «Тусоновских форматов». Это самое распространенное семейство форматов, используемых дендрохронологами во всем мире (рис. 11.3.1).

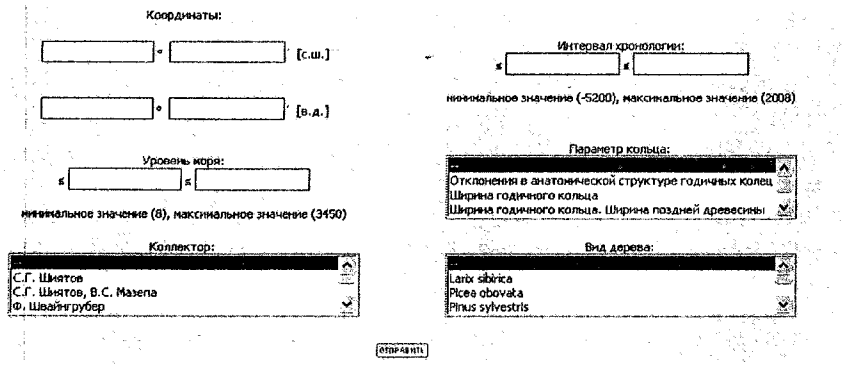

Рис. 11.3.1. Рабочее окно, отражающее структуру Российского банка данных годичных колец

11.4. База данных дендрохронологических шкал Центрально-Черноземного региона

Дендрохронологические исследования в Центрально-Черноземном регионе (ЦЧР) наиболее основательно представлены на кафедре лесоводства, лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии, но, разумеется, ведутся они и в других вузах и городах Черноземья. Дендрохронологические данные, собранные и обработанные различными исследователями, разрознены, недоступны для создания единой информационной сети или использования в многопрофильных научных исследованиях. Для сохранения дендрохронологической информации, предоставления возможности её использования широкому кругу исследователей и, в то же время, сохранения авторства материалов, С.М. Матвеевым (ВГЛТА) и Ю.А. Нестеровым (ВГУ) создана единая база данных «Дендрохронологические шкалы Центрально-Черноземного региона (ЦЧР)» (Регистрационное свидетельство № 9003 от 27.02.2004).

База данных «Дендрохронологические шкалы ЦЧР» (БДШ) является прикладной и позволяет решать разноплановые задачи: научные, хозяйственные, экологические, мониторинговые и другие. Разработаны общие принципы создания базы данных, требования к представляемым в БДШ материалам. Особо подчеркиваем: авторство всех дендрошкал представленных в БДШ сохраняется.

Практическая значимость эталонных дендрошкал основывается как на возможности оценки (реконструкции и прогнозирования) климатических

характеристик, так и на возможности изучения не климатических воздействий (в т. ч. антропогенных) на изменчивость радиального прироста деревьев.

Наличие в конкретном географическом и климатическом районе (ЦЧР) достаточного количества надежных дендрошкал по основным лесообразующим породам, в различных лесорастительных условиях, различной продуктивности – необходимое условие изучения огромного спектра вопросов, связанных с динамикой лесной растительности, реконструкцией и прогнозированием климатических характеристик, оценкой техногенного загрязнения атмосферы, эффективности лесохозяйственных мероприятий и т. д. Сеть дендрошкал в основных лесных массивах ЦЧР – необходимая и весомая составляющая регионального экологического мониторинга.

На кафедре лесоводства, лесной таксации и лесоустройства ВГЛТА созданы дендрошкалы основных лесообразующих пород Центральной лесостепи (сосны и дуба) в преобладающих типах лесорастительных условий в лесных массивах: Усманский бор, Хреновской бор, Цнинский бор, Шипова дубрава, Теллермановская дубрава, а также в пригородных древостоях. Названные лесные массивы, расположенные в Воронежской, Липецкой, Тамбовской областях, достаточно полно представляют естественные леса Центрального Черноземья. В настоящее время продолжаются работы по оценке состояния лесов ЦЧР и созданию базовых дендрошкал.

К стандартным дендрошкалам, представляемым для включения в базу данных, предъявляются следующие требования:

1. Описание участка, с которого отобраны образцы для исследований, по соответствующей форме (прил. Б);
2. Средние значения ширины годичных колец (ш. г. к.) в мм, с округлением до десятых или сотых долей в табличной форме (табл. Б2: прил. Б), рассчитанные не менее чем по 10 образцам (кернам, спилам) одной древесной породы, одного участка, одного типа леса и типа лесорастительных условий (ТЛУ), близкого возраста;
3. Средние значения замеров поздней древесины (п.д.) в мм, с округлением до десятых или сотых долей в табличной форме (табл. 2: Форма представления материалов);
4. Длина дендрохронологического ряда (средних значений) должна составлять не менее 100 лет;
5. Относительные индексы (в %) общей ш. г. к., в табличной форме, рассчитанные по стандартной формуле

$$I = (i_f / i_s) \times 100\ \%,$$

где i_f – фактические (средние) значения ш.г.к., в мм;

i_s – норма прироста в зависимости от возраста (возрастной тренд), рассчитанная любым корректным способом;

6. Относительные индексы поздней древесины (в %) в табличной форме (табл. Б2, прил. Б);
7. В том случае, если древостой разновозрастный, а индексы рассчитывались для каждого образца в отдельности, с последующим осреднением индексов, то в БДШ представляются средние таблицы индексов ш.г.к., с соответствующим пояснением;
8. За выполнение всех требований и достоверность материалов несут ответственность авторы представляемых материалов.
9. Сведения об авторе (авторах) по соответствующей форме (прил. Б): Форма представления материалов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Раздел 1-2

1. Предмет дендрохронологии. Определение дендрохронологии.
2. Цели и задачи дендрохронологии и дендроклиматологии. Определение дендроклиматологии.
3. Дендроиндикация. Области применения дендрохронологического анализа.
4. История развития дендрохронологических исследований. Пионерные дендрохронологические работы.
5. Дендрохронологические исследования в России: история развития.
6. Школа дендрохронологов США. Исследования А.Э. Дугласа.
7. Европейские школы дендрохронологов.
8. Ведущие центры дендрохронологических и дендроклиматических исследований в России.
9. Дендроклиматические исследования в Воронеже (пионерные работы, современное состояние).
10. Основные монографии по дендрохронологии и дендроклиматологии в России и в мире.
11. История взаимодействия дендрохронологии и лесоводства.
12. Учет цикличности колебаний прироста для целей проектирования лесохозяйственных мероприятий.

Раздел 3

13. Формирование годичного кольца у деревьев. Ложные и выпадающие кольца.
14. Сроки формирования ранней и поздней древесины.
15. Строение и функции ранней и поздней древесины, значение поздней древесины и доля ее в общем годичном приросте сосны, дуба.
16. Факторы, определяющие величину годичного прироста деревьев.
17. Основные элементы модели формирования узких годичных колец, предложенной Г. Фритсом.
18. Физиологические аспекты формирования годичных колец.
19. Эволюционные аспекты формирования годичных колец.

Раздел 4

20. Основные принципы дендрохронологии.
21. Закон лимитирующих факторов, принцип отбора местообитаний, принцип чувствительности.
22. Принцип перекрестного датирования. Задача датировки.

23. Принцип повторности. Точность учета радиального прироста древостоев.
24. Необходимое количество образцов для обеспечения достоверности исследований (в абсолютных единицах и в относительных индексах). Способ учета годичного прироста древостоя по малому числу учетных деревьев.

Раздел 5

25. Ритмичность природных процессов. Иерархия ритмов.
26. Понятие солнечной активности. Цикличность солнечной активности.
27. Цикличность прироста деревьев и ее связь с солнечной активностью.
28. Цикличность в динамике прироста древостоев в лесостепи.
29. Поясните зависимость: солнечная активность → циркуляция атмосферы → климатические изменения → прирост деревьев.

Раздел 6

30. Назовите и охарактеризуйте методы датирования годичных колец.
31. Что такое «норма прироста»? Назовите математические и графические методы нахождения нормы прироста.
32. Метод наименьших квадратов.
33. Метод скользящего сглаживания средних величин и весовое скользящее сглаживание (метод Шульмана).
34. Метод стандартных прямых линий (метод Дугласа) и метод графического выравнивания для разновозрастных древостоев (метод Комина).
35. Метод построения кривых максимально возможного прироста (метод Шиятова) и метод построения кривых средней нормы прироста (метод Оленина).
36. Расчет относительных индексов: цель, способ расчета.
37. Метод интегрально-разностных кривых и метод «фазового портрета».
38. Определение объемного прироста древостоев.
39. Назовите методы изучения динамики радиального прироста во времени и связей с климатическими факторами.
40. Визуальный анализ рядов и метод наложенных эпох.
41. Гармонический анализ и анализ спектральной плотности рядов.
42. Статистические методы анализа (корреляционный анализ, регрессия признаков).

Раздел 7

43. Принципы прогнозирования. Возможности прогнозов.
44. Учет цикличности прироста деревьев в лесном хозяйстве.
45. Реконструкция и прогнозирование элементов климата.
46. Определение эффективности лесохозяйственных мероприятий по методике Т.Т. Битвинскаса.

Раздел 8

47. Основные направления изучения антропогенных воздействий на лес.
48. Метод биологической индикации техногенных воздействий на лес. Растение - индикатор. Растение - монитор.
49. Методы изучения антропогенных воздействий на лес (по Р.А. Юкнису).

Раздел 9

50. История использования дендрохронологических методов в судебно-ботанической экспертизе.
51. Экспертиза подлинности произведений искусства.
52. Опыт использования дендрохронологических экспертиз Всемирным фондом охраны дикой природы (WWF).
53. Установление места произрастания срубленной древесины.
54. Определение времени рубки ствола дерева или сухостойности дерева на момент рубки.
55. Подтверждение принадлежности пня и ствола организму одного дерева.

Раздел 10

56. Примеры приборов и программ для дендрохронологических исследований в лесном хозяйстве

Раздел 11

57. Международный банк данных годичных колец
58. Дендрохронологический банк СССР
59. Российский банк данных годичных колец
60. База данных дендрохронологических шкал Центрально-Черноземного региона

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов [Текст] : Т. 2. Циклическая динамика в природе и обществе / под. ред. Н. П. Лаверова [и др.]. – М. : Научный мир, 1998. – 432 с.
2. Битвинскас, Т. Т. Дендроклиматические исследования [Текст] / Т. Т. Битвинскас. – Л. : Гидрометеоиздат, 1974. – 172 с.
3. Ваганов, Е. А. Дендрохронология : учебное пособие [Электронный ресурс] / Е. А. Ваганов, В. Б. Круглов, В. Г. Васильев. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2008. – Источник: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1439/u_course.pdf
4. Ваганов, Е. А., Анализ роста дерева по структуре годичных колец [Текст] / Е. А. Ваганов, И. А Терсков. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд., 1977. – 95 с.
5. Ваганов, Е. А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике [Текст] / Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа. – Новосибирск : Наука, 1996. – 246 с.
6. Витинский, Ю. И. Цикличность и прогнозы солнечной активности [Текст] / Ю. И. Витинский. – Л. : Наука, 1973. – 275 с.
7. Дендроклиматические исследования в СССР [Текст] : Тез. докл. к 3 Всесоюз. конф. по дендроклиматологии. – Архангельск : АЛТИ, 1978.
8. Дендроклиматохронология и радиоуглерод [Текст] : Матер. Второго Всесоюз. совещ. – Каунас, 1972. – 325 с.
9. Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях [Текст] / под. ред. В. А. Липаткина, Д. Е. Румянцева. – М. : МГУЛ, 2007. – 138 с.
10. Дендрохронологические методы в лесоведении и экологическом прогнозировании [Текст]. – Иркутск : СО АН СССР, 1987.
11. Дендрохронология и дендроклиматология [Текст]. – Новосибирск : Наука, 1986. – 208 с.
12. Дмитриева, Е. В. Динамика текущего прироста древостоев основных групп типов сосновых лесов Бузулукского бора и возможности ее прогнозирования [Текст] / Е. В. Дмитриева // Лесное хозяйство. – 1987. – № 2. – С. 51-53.
13. Кайрюкштис, Л. А. Развитие дендрохронологии и дендроклиматологии [Текст] : обзорная информация по результатам поездки на международный симпозиум по дендрохронологии в Северной Европе, Лондон, Англия, 1977 / Л. А. Кайрюкштис. – Вильнюс, 1977. – 44 с.

14. Комин, Г. Е. Лесоведение и дендрохронология [Текст] / Г. Е. Комин // Лесоведение. – 1968. – № 4. – С. 78-86.
15. Комин, Г. Е. К методике дендроклиматологических исследований [Текст] / Г. Е. Комин // Лесообразовательные процессы на Урале // Труды Ин-та экологии растений и животных. Урал. фил. АН СССР. – Свердловск, 1970. – Вып. 67. – С. 234-241.
16. Комин, Г. Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов [Текст] / Г. Е. Комин // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 3-11.
17. Костин, С. И. Повторяемость засушливых и влажных периодов в центральной части лесостепи Русской равнины [Текст] / С. И. Костин // Вопросы повышения продуктивности лесного хозяйства. Научные записки Воронежского лесотехнического института. Т. XX1X, Вып. 1. – Воронеж, 1963. – С. 91-101.
18. Костин, С. И. Связь колебаний прироста деревьев с солнечной активностью [Текст] / С. И. Костин // Лесное хозяйство. – 1965. – № 4. – С. 12-14.
19. Лобжанидзе, Э. Д. Камбий и формирование годичных колец древесины [Текст] / Э. Д. Лобжанидзе. – Тбилиси : Изд-во АН ГССР, 1961. – 160 с.
20. Ловелиус, Н. В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий [Текст] / Н. В. Ловелиус. – Л. : Наука, 1979. – 232 с.
21. Матвеев, С. М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи [Текст] / С. М. Матвеев. – Воронеж, 2003. – 272 с.
22. Матвеев, С. М. Дендрохронология. Методика дендро-хронологического анализа [Текст] : методические указания к лабораторным работам для студентов дневного и заочного обучения специальности 250201 – Лесное хозяйство / С. М. Матвеев. – Воронеж, 2006. – 39 с.
23. Материалы Всесоюз. совещания – научной конференции по вопросам дендрохронологии и дендроклиматологии (7-8 июня 1968 г.) [Текст]. – Вильнюс, 1968. – 147 с.
24. Методы дендрохронологии [Текст]. Ч. I: Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации : учеб.-метод. пособие / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов [и др.]. – Красноярск : КрасГУ, 2000. – 80 с.
25. Молчанов, А. А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды [Текст] / А. А. Молчанов. – М. : Наука, 1976. – 167 с.

26. Мэннинг, У. Д. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений [Текст] / У. Д. Мэннинг, У. А. Федер ; пер. с англ. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 143 с.
27. Оленин, С. М. Нахождение нормы прироста при дендрохронологических исследованиях [Текст] / С. М. Оленин // Экология. – 1974. – № 4. – С. 108-110.
28. Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии [Текст] : Тез. докл. V Всесоюз. Совещания. – Свердловск, 1990. – 179 с.
29. Романовский, М. Г. Лес и климат Центральной полосы России [Текст] / М. Г. Романовский, Р. С. Щекалев. – М. : ИЛ РАН, 2009. – 65 с.
30. Рудаков, В. Е. О методике изучения влияния колебаний климата на ширину годичных колец деревьев [Текст] / В. Е. Рудаков // Ботанический журнал. – 1958. – Т. 43. – № 12. – С. 1709-1712.
31. Румянцев, Д. Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии [Текст] / Д. Е. Румянцев. – М. : МГУЛ, 2010. – 109 с.
32. Скрябин, М. П. Вековые циклы природных условий и боровая лесная растительность лесостепи [Текст] / М. П. Скрябин // Материалы по изучению причин усыхания дуба в лесостепной зоне // Труды ВГЗ. – Вып. III. – М., 1946. – С. 89-108.
33. Скрябин, М. П. Условия среды и взаимоотношения между древесными породами в Усманском бору в ходе последнего векового цикла [Текст] / М. П. Скрябин // Труды ВГЗ. – Вып. 14, 1964. – С. 42-46.
34. Смит, У. Х. Лес и атмосфера [Текст] / У. Х. Смит ; пер. с англ. – М. : Прогресс, 1985. – 429 с.
35. Таранков, В. И. Введение в дендроклиматологию Дальнего Востока [Текст] / В. И. Таранков // Гидроклиматические исследования в лесах Советского Дальнего Востока ; под ред. В. И. Таранкова. – Владивосток, 1973. – С. 7-23.
36. Таранков, В. И. Дендроклиматические аспекты устойчивости лесных биогеоценозов [Текст] / В. И. Таранков // Повышение продуктивности, устойчивости и защитной роли лесных экосистем : сб. науч. тр. – Воронеж, 1990. – С. 105-109.
37. Таранков, В. И. Цикличность прироста сосны обыкновенной в восточно-европейской лесостепи [Текст] / В. И. Таранков, Л. Б. Лазуренко // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 12-19.
38. Таранков, В. И. Радиальный прирост древостоев сосны обыкновенной в зоне действия промышленного загрязнения [Текст] / В. И. Таранков, С. М. Матвеев // Лесной журнал. – 1994. – № 4. – С. 47-51.

39. Унжакова, С. В. Дендрохронологическая экспертиза при расследовании незаконных рубок лесных насаждений [Текст] : учеб. пособие / С. В. Унжакова [и др.]. – Иркутск : ФГОУ ВПО ВСИ МВД России, 2009. – 56 с.
40. Феклистов, П. А. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне Европейской тайги [Текст] / П. А. Феклистов, В. Н. Евдокимов, В. М. Барзут. – Архангельск : ИПЦ АГТУ, 1997. – 140 с.
41. Чижевский, А. Л. Земное эхо солнечных бурь [Текст] / А. Л. Чижевский. – М. : Мысль, 1976. – 367 с.
42. Шиятов, С. Г. К методике расчета индексов прироста деревьев [Текст] / С. Г. Шиятов // Экология. – 1970. – № 3. – С. 85-87.
43. Шиятов, С. Г. Дендрохронология, ее принципы и методы [Текст] / С. Г. Шиятов // Записки Свердловского отделения Всесоюз. ботанич. общества. – Свердловск, 1973. – Вып. 6. – С. 53-81.
44. Шиятов, С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале [Текст] / С. Г. Шиятов. – М. : Наука, 1986. – 136 с.
45. Шиятов, С. Г. Методические основы организации системы дендроклиматического мониторинга в лесах азиатской части России [Текст] / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов // Сибирский экологический журнал. – 1998. – № 1. – С. 31-38.
46. Эйгенсон, М. С. Солнце, погода и климат [Текст] / М. С. Эйгенсон. – Л. : Гидрометеоиздат, 1963. – 274 с.
47. Drapela, K. Dendrometrie (Dendrohronologie) [Text] / K. Drapela, J. Zach. – Brno : MZLU, 1995. – 149 s.
48. Fritts, H. C. Tree rings and climate [Text] / H. C. Fritts. – London – New York – San Francisko : Academic press, 1976. – 566 p.
49. Methods of dendrohronology. Applications in the environmental sciences [Text] / eds. E. Cook and L. Kairiukstis. – Dordrecht, Boston, Kluwer Academy Publishers, 1990. – 394 p.
50. Schweingruber, F. H. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology [Text] / F. H. Schweingruber, D. Eckstein, F. Serre-Bachet, O. U. Braker // Dendrochronologia. – № 8. – 1990. – P. 9-38.
51. Schweingruber, F. H. Jahrringe und umwelt. Dendroekologie [Text] / F. H. Schweingruber. – Birmensdorf, Eidgenossische Forschungsanstalt fur Wald, Schnee und Landshaft, 1993. – 474 s.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Международный словарь терминов, используемых в дендрохронологии, составлен в 1995 г. М. Кэннелом и Ф. Швейнгрубером. Русскоязычная версия подготовлена специалистами лаборатории дендрохронологии института леса в Красноярске и опубликована в 2000 г. в монографии Е.А. Ваганова и А.В. Шашкина «Рост и структура годичных колец хвойных». Словарь включает 273 термина.

Приведем ряд определений и терминов, необходимых нам в дальнейшей работе:

- (19) **возраст дерева** – время жизни дерева, выросшего из семени, определяемое при датировке первого годичного кольца, образование которого совпадает с датой прорастания. У дерева, выросшего из адвентивной почки (приуроченной к определенному месту), устанавливается только возраст побега;
- (21) **возрастной бурав** – сверлообразный инструмент, снабженный полым наконечником с режущей кромкой и экстрактором («ложечкой») для извлечения тонких возрастных кернов из ствола дерева;
- (22) **возрастной керн** – тонкий цилиндрический образец древесины с осью, направленной по радиусу ствола, извлеченный из растущих или погибших деревьев;
- (28) **выпадающее кольцо** (выпавшее кольцо, отсутствующее кольцо) – кольцо прироста, которое в образце (в возрастном керне или стволовом диске) отсутствует в связи с нарушением (или отсутствием) камбиальной активности. Место расположения выпадающего кольца можно восстановить перекрестной датировкой;
- (30) **годичное кольцо** (годичный слой прироста, годовое кольцо) – слой клеток, образованный в течение года в ксилеме или флоэме. Границы между ранней и поздней древесиной последовательных годичных колец четкие и в основном образуют сплошные окружности на плоскости поперечного сечения ствола;
- (57) **дендроэкология** – раздел дендрохронологии, включающий в себя все дисциплины, использующие датированные годичные кольца для изучения экологических проблем и проблем окружающей среды, например, для изучения климата (дендроклиматологии), водных потоков (дендрогидрологии), пожаров, динамики древостоев, антропогенных воздействий и т.п.;
- (117) **лимитирующий фактор** – фактор, ограничивающий рост растений, может быть как внешним (влага, температура, свет, двуокись углерода, кислород, минеральные вещества), так и внутренним

(ферменты и др.). Любой биологический процесс, в том числе и рост, не может идти быстрее, чем это определяется лимитирующим фактором;
- (118) **ложное кольцо** (вторичное кольцо) – добавочная, выглядящая как законченная, зона прироста с хорошо заметными границами, сформированная за один сезон роста. В противоположность внутри годичной флуктуации плотности, ложное кольцо не может быть морфологически отличимо от правильного годичного кольца, а только идентифицировано при перекрёстном датировании;
- (160) **перекрестное датирование**, перекрёстная датировка – процедура подбора похожих изменений ширины годичного кольца (или других характеристик кольца) в нескольких сериях годичных колец (индивидуальных хронологиях). Позволяет идентифицировать точный год формирования каждого годичного кольца или географическое место, откуда взято дерево (если это деловая древесина или дрейфующая древесина);
- (172) **поздняя древесина** – плотная, часто темноокрашенная древесина годичного кольца, образованная в позднее время сезона роста; состоит из мелких толстостенных клеток у голосеменных и представляет собой зону с мелкими сосудами у покрытосеменных древесных растений;
- (178) **построение хронологии** – датировка и обработка параметров годичных колец на большом числе деревьев из определенного географического или экологического места, а затем построение хронологии на основе полученных результатов;
- (212) **сердцевина, центр ядра** – центральный стержень в стволе и ветвях (отсутствует в корнях), состоящий из запасающей ткани (паренхимы) с нелигнифицированными клеточными стенками.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Описание участка

1. Регион (область):
2. Лесничество:
3. Участковое лесничество:
4. Квартал: №
5. Выдел: №
6. Тип леса:
7. Тип лесорастительных условий (ТЛУ):
8. Древесная порода:
9. Происхождение (естественное – искусственное, семенное – порослевое):
10. Высота отбора образцов (кернов, спилов):
11. Сторона света отбора образцов:
12. Дата отбора образцов:
13. Количество образцов:
14. Таксационная характеристика древостоя (табл. Б.1):
15. Видовой состав подлеска и напочвенного покрова:

Таблица Б.1

Таксационная характеристика древостоя

№ участка	Состав	Возраст, лет	Бонитет	Дср, см	Нср, м	Р (полнота)
1	2	3	4	5	6	7

Таблица Б.2

Форма таблицы для записи дендрохронологических данных

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1920										
1930										
1940										
1950										
1960										
1970										
1980										
1990										
2000										
2010										

Сведения об авторе (авторах)

1. Ф.И.О. (полностью).
2. Почтовый адрес, телефон, E-mail.
3. Место работы, должность, ученая степень, ученое звание.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к первому изданию……3
Предисловие ко второму изданию……3
1. ПРЕДМЕТ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ И ДЕНДРОКЛИМАТОЛОГИИ……4
2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МИРЕ И В РОССИИ……7
2.1. Пионерные дендрохронологические работы……7
2.2. Крупнейшие дендрохронологические школы мира……9
2.2.1. Школа дендрохронологов США……9
2.2.2. Школа дендрохронологов Германии……10
2.2.3. Школа дендрохронологов Швейцарии……11
2.2.4. Школа дендрохронологов Великобритании……12
2.2.5. Школа дендрохронологов Скандинавии……12
2.2.6. Школа дендрохронологов Чехии……13
2.3. Развитие дендрохронологических исследований в СССР. Основные центры дендрохронологических исследований в России……13
2.4. Дендроклиматические исследования в Воронеже……16
2.5. Дендрохронология и лесоводство……18
3. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОДИЧНОГО КОЛЬЦА У ДЕРЕВЬЕВ……22
3.1. Деятельность камбия. Формирование ранней и поздней древесины. Ложные и выпадающие кольца……22
3.2. Сроки формирования годичного прироста. Соотношение ранней и поздней древесины……24
3.3. Факторы, определяющие величину годичного прироста деревьев (по Э.Д. Лобжанидзе и А.А. Молчанову)……29
3.4. Модель формирования узких годичных колец под влиянием климатических факторов, предложенная Г. Фритсом……33
3.5. Физиологические основы изменчивости годичных колец и их возникновения в ходе эволюции под действием естественного отбора……37
4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ. ТОЧНОСТЬ УЧЕТА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДРЕВОСТОЕВ……42
4.1. Основные принципы дендрохронологии (по С.Г. Шиятову)……42
4.2. Точность учета радиального прироста древостоев (обеспечение принципа повторности)……44

5. ЦИКЛИЧНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ. ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ 48
5.1. Ритмичность природных процессов.....48
5.2. Солнечная активность. Цикличность солнечной активности.....51
5.3. Цикличность прироста деревьев и ее связь с солнечной активностью.....53
5.4. Солнечная активность→ циркуляция атмосферы→ климатические изменения→ прирост деревьев.....56
6. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ.....60
6.1. Методы датирования годичных колец 60
6.2. Стандартизация данных измерений ширины годичных колец 63
6.2.1. Расчет средних величин.....63
6.2.2. Методы нахождения нормы прироста в зависимости от возраста.....64
6.2.3. Расчет относительных индексов 70
6.3. Другие методы обработки данных измерений ширины годичных колец.....71
6.4. Методы изучения динамики радиального прироста деревьев во времени и связей с климатическими факторами 73
7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ.....78
7.1. Принципы прогнозирования, возможности прогнозов.....78
7.2. Реконструкция и прогнозирование солнечной активности, элементов климата, радиального прироста деревьев 79
7.3. Учет цикличности солнечной активности, климата и прироста древостоев при проектировании лесохозяйственных мероприятий....84
7.4. Определение эффективности лесохозяйственных мероприятий по методике Т.Т. Битвинскаса 88
8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ИНДИКАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 89
8.1. Изучение антропогенных воздействий на лес: основные направления.....90
8.2. Дендроиндикация техногенных воздействий на лес 92
8.2.1. Загрязняющие вещества: источники, основные виды, ПДК для древесных растений 92
8.2.2. Основы биоиндикации. Повреждения древесных пород техногенными эмиссиями 94

8.3. Методы изучения антропогенных воздействий на прирост деревьев (по Р.А. Юкнису, 1990) 97
9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА В СУДЕБНО-БОТАНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗАХ 99
10. СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 109
11. БАНКИ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ КАК ОТДЕЛЬНАЯ ФОРМА ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ 116
11.1 Международный банк данных годичных колец (ITRDB) 116
11.2 Дендрохронологический банк СССР 117
11.3 Российский банк данных древесных колец 122
11.4 База данных дендрохронологических шкал Центрально-Черноземного региона.....124
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....127
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....130
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....134
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....136

Учебное издание

Сергей Михайлович **Матвеев**
Денис Евгеньевич **Румянцев**

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯ

Учебное пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Редактор Е.А. Богданова
Подписано в печать 20.03.2012. Формат 60×90 /16. Объем 8,75 п. л.
Усл. печ. л. 8,75. Уч.-изд. л. 9,8. Тираж 150 экз. Заказ 116
ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»
РИО ФГБОУ ВПО ВГЛТА. 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8
Отпечатано в УОП ФГБОУ ВПО «ВГЛТА»
394087, г. Воронеж, ул. Докучаева, 10