

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЛЕСА им. В.Н. СУКАЧЁВА
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УРАЛЬСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов, В.Б. Круглов,
В.С. Мазепа, М.М. Наурзбаев, Р.М. Хантемиров

МЕТОДЫ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

**Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и
получение древесно-кольцевой информации**

Учебно-методическое пособие

Ответственные редакторы: Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов

Красноярск 2000

УДК 630x561.24

ББК 28.592

М 545

Рецензенты: д-р биол. наук А.П. Абаимов
д-р биол. наук С.П. Ефремов

Ответственные редакторы: д-р биол. наук Е.А. Ваганов
д-р биол. наук С.Г. Шиятов

Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа
В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. М 545

Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии.
Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-
методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.

В пособии представлены основные положения и принципы
дендрохронологии, краткие сведения об анатомическом строении древесины и
сезонном росте деревьев, критерии отбора районов и местообитаний, техника
взятия и подготовки образцов древесины, абсолютная и относительная
датировка годичных колец, измерение плотностных и химических
характеристик древесины, форматы обработки и хранения
дендрохронологической информации.

Пособие предназначено для студентов, аспирантов и научных
сотрудников, специализирующихся в области дендрохронологии, лесоведения и
экологии.

Табл. 7. Ил. 55. Библиогр.: 25 назв.

Издание осуществлено при финансовой поддержке программы «Интеграция»
(проект 162, научно-исследовательская кафедра биофизики), интеграционной
программы СО РАН «Основные закономерности глобальных и региональных
изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири» и SNSF
(проект 7IP 62658)

Утверждено к печати Ученым советом
Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

ISBN 5-7638-0295-0

© С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов,
В.Б. Круглов, В.С. Мазепа, М.М. Наурзбаев,
Р.М. Хантемиров, 2000



В настоящее время дендрохронологические методы широко используются для изучения пространственно-временной динамики лесных экосистем и реконструкции факторов внешней среды за длительные интервалы времени и с высоким временным разрешением. Особую значимость древесно-кольцевая информация имеет для решения глобальных, региональных и локальных проблем, связанных с многообразным воздействием человека на наземные экосистемы. Уникальность дендрохронологических методов состоит в том, что они позволяют оценивать относительный вклад различных факторов, как естественных, так и антропогенных, которые оказывают влияние на изменение и трансформацию лесных экосистем и условий окружающей среды.

Однако, использование дендрохронологических методов сдерживается отсутствием в отечественной литературе пособия, которое позволяло бы студентам и начинающим исследователям правильно и с меньшими затратами времени и сил выбирать объекты исследований, собирать с них необходимый материал, производить нужные измерения, точно датировать годичные кольца, использовать соответствующие методы и компьютерные программы для анализа полученных данных.

В связи с этим сотрудники двух специализированных лабораторий (лаборатории дендрохронологии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск и лаборатории дендрохронологии Института экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург) в рамках программы "Интеграция" приступили к написанию учебно-методического пособия по использованию древесно-кольцевого анализа для датировки и реконструкции различных характеристик динамики лесных экосистем и изменчивости условий внешней среды. В первой книге изложены основные положения дендрохронологии, краткие сведения об анатомическом строении и сезонном росте деревьев, критериях отбора районов и местообитаний, технике взятия и подготовки образцов древесины, перекрёстной абсолютной и относительной датировках колец, измерении плотностных и химических характеристик годичных слоев древесины, форматах обработки и хранения дендрохронологической информации. Во второй книге, которая готовится к печати, будут изложены методы получения обобщенных и генерализованных древесно-кольцевых хронологий, математико-статистического анализа содержащейся в них информации, в частности климатической, датировки различного рода катастрофических событий, использования дендрохронологических методов для оценки естественной и антропогенной динамики лесных экосистем.

Знание динамических процессов, происходящих в лесных экосистемах, а также изменчивости условий среды, которые оказывают влияние на экосистему в целом и отдельные ее компоненты, необходимо для построения адекватных моделей динамики лесных экосистем различного уровня сложности, оценки их современного состояния и прогноза возможных изменений в будущем (Александрова, 1964; Shugart, 1984). Первостепенной задачей является определение роли ведущих факторов, оказывающих влияние на изменение состава и структуры экосистем, в частности определение относительного вклада естественных и антропогенных факторов. Решение этих задач сдерживается слабым знанием истории развития лесных экосистем и изменчивости условий среды в прошлом. В настоящее время особую значимость приобретают сведения об изменчивости условий среды и динамике лесных экосистем за длительные интервалы времени (столетия и тысячелетия) с высоким временным разрешением (годы, десятилетия) в различных ботанико-географических зонах, провинциях, районах и местообитаниях. Важнейшим условием успешности решения этих задач является привязка происходивших явлений и процессов к абсолютной (или астрономической) шкале времени, без чего невозможно сравнение полученных данных для разных объектов и территорий и установление пространственных закономерностей изменений условий среды и лесных экосистем.

1.1. Прямые и косвенные источники информации

При ретроспективном изучении изменений в окружающей среде и лесных экосистемах используются как прямые, так и косвенные источники информации.

К прямым источникам относятся различные инструментальные (метеорологические, гидрологические, гелиогеофизические, аэрокосмические) и фенологические наблюдения, летописи природы в заповедниках, систематические наблюдения на научных стационарах, пробных площадях и профилях, материалы лесоустройства и землеустройства, различного рода письменные и литературные источники (летописи, официальные документы, экономические отчеты, статьи в журналах и газетах, научные статьи и монографии, описания путешественников и др.), аэрокосмические снимки и наземные (ландшафтные) фотографии. Такая информация является наиболее ценной и широко используется при изучении динамики природных процессов. Однако она часто обладает существенными недостатками, которые ограничивают ее использование, а именно: кратковременность и нерегулярность наблюдений, перерывы в наблюдениях, фиксация в основном катастрофических

явлений. Для многих районов, особенно малозаселенных, такая информация вообще отсутствует.

В связи с этим в различных областях науки были разработаны косвенные (или индикационные) методы реконструкции хода природных процессов в далеком прошлом, основанные на наличии связей между составом и структурой природных тел и параметрами внешней среды. В частности, в экологических исследованиях широкое распространение получили палеоботанический и палеозоологический методы, которые используют сохранившиеся на поверхности земли или в осадочных породах остатки растений и животных и следы их жизнедеятельности для реконструкции состава и структуры экосистем и условий среды в прошлом. Это направление исследований получило название "ретроспективная биоиндикация". В табл. 1.1 приведены оценки разрешающей способности, охватываемого временного интервала и возможной извлекаемой климатической информации для разных прямых и косвенных источников, заимствованные из работы Р. Брэдли и Дж. Эдди (Bradley, Eddy, 1989).

Таблица 1.1. Некоторые характеристики прямых и косвенных источников климатической информации

Источник	Наилучшее разрешение по времени	Временной интервал	Возможная извлекаемая информация
Источники высокого разрешения			
Исторические сведения	сутки/часы	10^3	T,P,V,E,L,S
Годичные кольца деревьев	сезон/год	10^4	T,P,C,V,E,S
Озерные отложения	от года до 20 лет	10^4 - 10^6	T,P,C,V,E
Ледовые колонки	год	10^5	T,P,C,V,E,S
Кораллы	Год	10^4	C,L
Источники малого разрешения			
Споро-пыльцевые спектры	100 лет	10^5	T,P,V
Палеопочвы	100 лет	10^5	T,P,C,E
Лесовые отложения	100 лет	10^6	P,V
Океанические керны	1000 лет	10^7	T,C,V

Т - температура, Р - осадки или увлажнение, С - химический состав, В - тип растительности, Е - извержение вулканов, S - солнечная активность, L - уровень моря.

Основными проблемами при использовании ретроспективной биоиндикации являются трудности с определением относительного и абсолютного возраста остатков растений и животных и применимость принципа актуализма при реконструкции условий среды.

1.2. Понятие о регистрирующих структурах. Годичные слои прироста древесины как источник прямой и косвенной информации

При проведении различного рода биоиндикационных исследований, особенно ретроспективных, наибольший интерес представляют такие объекты живой природы, которые содержат в себе *регистрирующие структуры*, под которыми понимаются твердые слоистые образования в различных частях тела растений и животных, характеризующиеся неоднородными анатомоморфологическими характеристиками, возникшими в разные годы, сезоны года и даже в течение суток и сохраняющими такое строение в течение длительного интервала времени. Типичными примерами таких структур являются слоистость в чешуе рыб, раковинах моллюсков, известковых скелетах кораллов, костях и зубах птиц и млекопитающих (рис. 1.1).

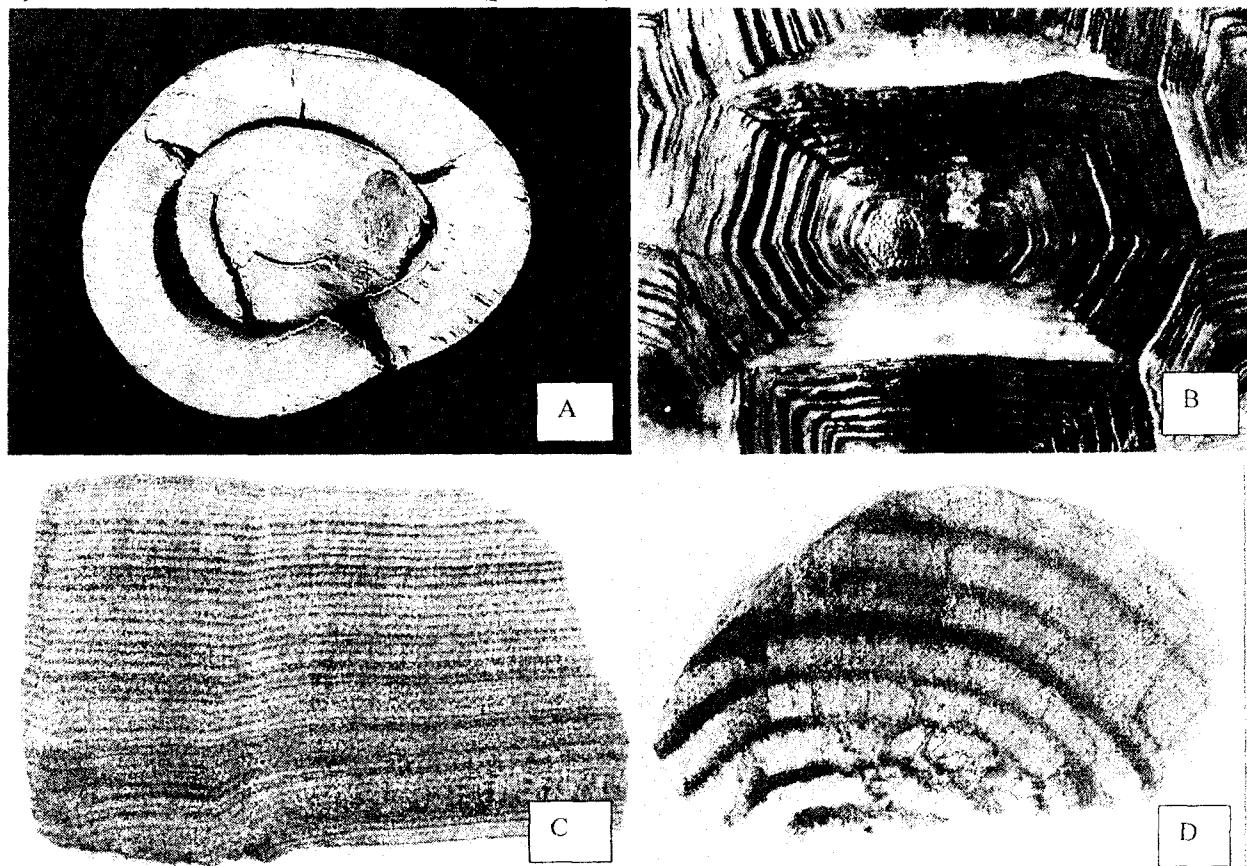


Рис. 1.1. Фото бивня мамонта (А, фото С.Г. Шиятова), панциря черепахи (В, Швейнгрубер, 1989), ленточных глин (С, Швейнгрубер, 1989), коралла (Д, Швейнгрубер, 1989)

Классическим и наиболее широко распространенным примером регистрирующих структур служат годичные слои прироста древесины в стволах, ветвях и корнях деревьев и кустарников, которые произрастают в районах, где

выражены климатические сезоны года. Календарное время формирования каждого годичного слоя древесины можно точно установить, что дает возможность определять время появления и отмирания отдельных особей и изучать динамику возрастной структуры древостоев в прошлом. Использование регистрирующих структур намного облегчает выявление роли факторов, определяющих функционирование деревьев и древостоев, позволяет производить ретроспективную оценку их продуктивности, а также реконструкцию условий внешней среды с высоким разрешением (год, сезон).

1.3. Сезонный и годичный прирост деревьев, анатомическое строение древесины

Годичные слои прироста древесины (или годичные кольца на поперечном срезе) являются результатом активности камбия в вегетационный период. **Камбий** представляет собой расположенный между древесиной и лубом тонкий слой образовательной ткани из мелких тонкостенных клеток, способных к делению. В начале вегетационного периода (весной и в начале лета) формируются крупные тонкостенные клетки у хвойных и крупные (часто многочисленные) сосуды у лиственных деревьев, а в середине и конце лета – мелкие толстостенные клетки у хвойных и мелкие сосуды у некоторых лиственных деревьев. В результате этого в годичном кольце образуются различающиеся по размерам и форме клеток, а также по цвету и плотности, слои *ранней* и *поздней древесины*. Переход между клетками ранней и поздней древесины обычно постепенный, в то время как между клетками поздней древесины предыдущего кольца и ранней древесины следующего кольца резкий. Это обусловлено формированием на внешней границе кольца так называемой *терминальной древесины*, состоящей из тонкого слоя толстостенных клеток, часто сплюснутых в радиальном направлении (рис.1.2). Трудности в определении границы между соседними кольцами чаще всего возникают у тех видов деревьев и кустарников, у которых слой поздней древесины очень узкий, а по цвету и плотности он слабо отличается от слоя ранней древесины (например, у некоторых видов берез).

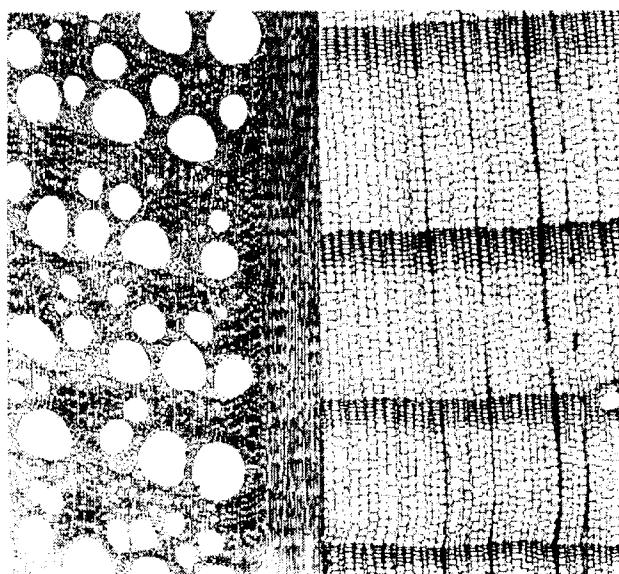


Рис.1.2. Годичные кольца древесины у лиственного (дуб) и хвойного (сосна) дерева

При сезонном формировании годичных слоев древесины реализуется большое число взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов на разных иерархических уровнях: целого древесного растения (рост и развитие *апикальных меристем* и координация их с *камбием*), ткани (рост и дифференцировка клеток, тесно связанная с гормональным контролем и поступлением питательных веществ) и

клетки (реализация цепи продукции и биохимических превращений веществ, обуславливающая рост клеток и формирование клеточных стенок). Большинство из них находится под влиянием внешних факторов. Результатом этих процессов является та структура годичного слоя, которая формируется в тот или иной год роста и в том или ином месте отдельного дерева.

Большинство исследователей рассматривают камбий как слой клеток, способных неограниченно делиться и дифференцироваться. В течение сезона камбий образует (в сторону ксилемы и флоэмы) несколько слоев клеток, способных к ограниченному делению и соответственно называемых ксилемными и флоэмными материнскими клетками. Ширина зоны, где реально регистрируются деления клеток (ксилемные материнские, камбий и флоэмные материнские клетки) имеет название камбиальной зоны. Б.Ф. Уильсон с соавторами (Wilson et al., 1966) предложил наиболее удачную схему и терминологию, описывающую различные типы клеток и тканей, связанных с активностью вторичной меристемы – камбия (рис. 1.3).

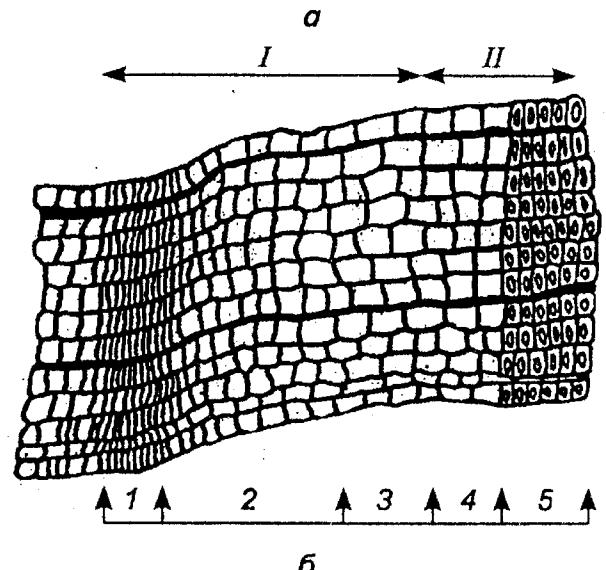


Рис.1.3. Формирующееся годичное кольцо (а) и классификация ксилемы и флоэмы согласно Wilson et al., 1966 (б): 1 – камбиальная зона; 2 – зона растяжения; 3 – зона утолщения вторичной клеточной стенки; 4,5 – зрелые трахеиды текущего и прошлого года; I – клетки в фазе созревания; II – зрелые трахеиды

Зрелая флоэма	
Дифференцирующая флоэма	Созревающие клетки флоэмы Зона растяжения клеток флоэмы Делящиеся клетки флоэмы (флоэмные материнские клетки)
Камбий	Камбиальная инициаль (деления)
Дифференцирующая ксилема	Делящиеся клетки ксилемы (ксилемные материнские клетки) Зона растяжения клеток ксилемы Созревающие клетки ксилемы
Зрелая ксилема	

Представление о том, как в течение сезона происходят изменения в составе тканей и клеток дают рис. 1.4 и табл. 1.2.

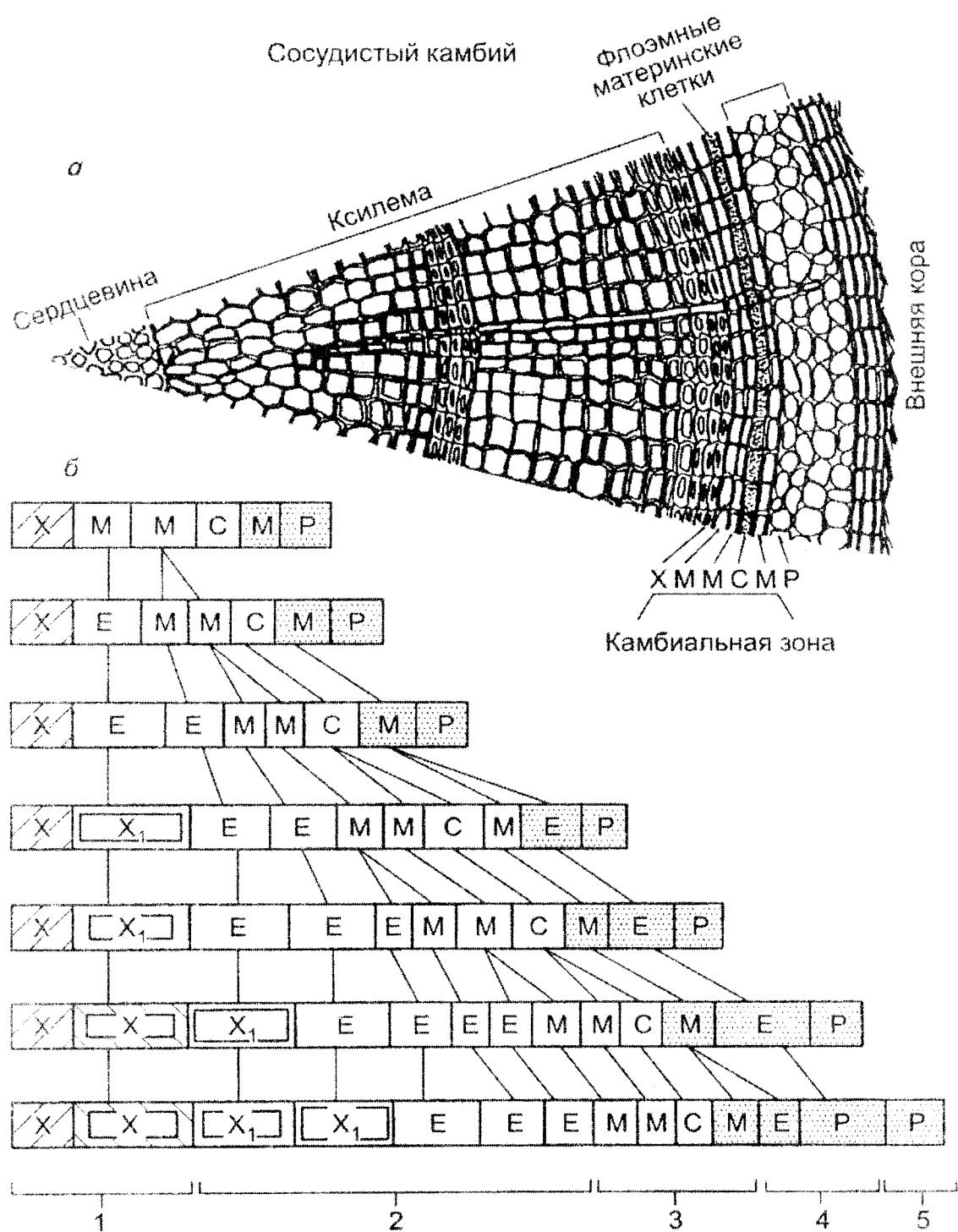


Рис. 1.4. Фрагмент поперечного среза стволика сосны (а) и схема, иллюстрирующая продукцию клеток камбiallyной зоной (б) (по Wilson and Howard, 1968): С - камбiallyная инициаль; М - материнские клетки ксилемы и флоэмы; Х - зрелые клетки ксилемы; Р - зрелые клетки флоэмы; Е - клетки в фазе растяжения; 1-5 - зоны

Таблица 1.2. Число клеток в покоящемся и активном камбии для разных видов хвойных

Вид дерева	Число клеток в камбии	
	покоящемся	активном
<i>Juniperus californica</i>	1	8
<i>Abies alba</i>	1-3	5-10
<i>Thuja occidentalis</i>	1-4	10-15
<i>Picea glauca</i>	2-8	12-16
<i>Cryptomeria japonica</i>	3-6	6-11
<i>Abies balsamea</i>	7-8	15-16
<i>Pinus strobus</i>	6-10	15-20

Каждая клетка ксилемы является производной клетки веретеновидного (fusiform) камбия. С другой стороны, каждая клетка ксилемы является дочерней клеткой последнего деления **ксилемной материнской клетки**, находящейся на границе камбиального слоя. После потери способности к делению дочерняя клетка перемещается в зону радиально растягивающихся клеток, а затем - в зону созревающей ксилемы, где в основном происходит формирование вторичной клеточной стенки. Согласно терминологии, приведенной на рис. 1.3, камбий - это слой **инициалей** (полипотентных клеток), а дифференцирующаяся ксилема включает в себя несколько слоев: слой ограниченно делящихся ксилемных материнских клеток, слой радиально растягивающихся клеток и слой клеток, закончивших растяжение, но формирующих вторичную клеточную стенку. Зрелая ксилема – это клетки, у которых все перечисленные выше процессы завершены и отсутствует протопласт (мертвые клетки). Особенности сезонной динамики отражаются на скоростях каждого из перечисленных выше процессов (деления, растяжения, утолщения клеточной стенки), а также на численности клеток, находящихся в каждый интервал сезона в том или ином периоде дифференцировки и созревания.

Условно методы исследования сезонной динамики роста годичных колец можно разделить на прямые и косвенные. Прямых методов два. Первый – это периодическое изъятие небольших образцов древесины из ствола растущего дерева в течение сезона (Лобжанидзе, 1961; Wodziski, 1971). Для каждого из образцов приготавливают тонкие поперечные срезы, которые после окраски (преимущественно дифференцированной) заключают в глицерин-желатину или бальзам. Такие срезы представляют собой моментальный временной «слепок» формирующейся ксилемы (рис.1.3), и на них можно измерять число клеток в камбиальной зоне (с помощью дополнительной обработки, выявляющей делящиеся клетки, или по минимальным размерам клеток (Wilson, 1964; Gregory, 1971; Ваганов и др, 1985), число клеток в зоне растяжения и число клеток в зоне созревания (формирования клеточной стенки). Периодическое изъятие образцов превращает картину сезонного формирования годичного кольца из статической в динамическую, на которой можно рассчитывать скорости деления, скорости прохождения клеток по отдельным периодам дифференцировки и созревания (Whitmore, Zahner, 1966; Wodzicki, 1971; Antonova et al., 1993). Оценка

динамических характеристик процессов дифференцировки и созревания клеток показывает, какое время затрачивается клеткой на прохождение той или иной стадии развития при ее превращении в зрелую клетку ксилемы. Например, растяжение и утолщение клеточной стенки могут занимать 3-4 недели (Ваганов и др., 1985; Whitmore, Zahner, 1966; Vaganov, 1996). Главным недостатком данного метода является большая вариабельность измеряемых характеристик, обусловленная тем, что каждый последующий образец отбирается на другом радиусе окружности ствола. Поэтому, как показали специальные сезонные измерения Т.Д. Водзицкого (Wodzicki, 1962, 1971, Wodziski, Peda, 1963), для надежной оценки кинетических характеристик сезонного роста (скоростей деления и дифференцировки клеток) необходимо измерять одновременно большое количество деревьев (до 100).

Иной подход, который можно назвать методом точечных ран, основан на периодическом локальном повреждении живых (сохраняющих протопласт) клеток с помощью тонкой иглы, вводимой в ствол дерева через кору (Wolter, 1968; Denne, 1977; Kuroda, 1986; Wilpert, 1990, 1991). В конце сезона или на следующий год после завершения роста годичного кольца в зоне поранения можно различить три слоя:

- 1) слой клеток, который был образован камбиальной зоной и который частично или полностью сформировал клеточную стенку (лигнифицирован) и не имеет каких-либо отклонений в структуре из-за поранения;
- 2) слой клеток, которые на момент нанесения раны вышли из камбиальной зоны, но подверглись деформирующему воздействию поранения;
- 3) слой клеток, который образован камбиальной зоной после нанесения поранения и который имеет заметные нарушения в структуре рядов и размерах клеток.

Таким образом, метод позволяет измерять число клеток и ширину слоя клеток, находящихся в зоне растяжения и в зоне формирования клеточной стенки (Nobuchi et al., 1995). Для точной интерпретации данных и измерения соответствующих слоев клеток необходимо, чтобы срезы древесины были сделаны точно в зоне поранения. Осуществить такое при игольчатом поранении непросто. Поэтому была предложена модификация метода, в которой вместо иглы использовано нанесение резаной раны (Kuroda, Kiyono, 1997).

К косвенным методам измерения сезонной динамики роста годичных колец относится использование дендрометров разных конструкций или измерения окружности ствола с помощью гибких лент (Смирнов, 1964; Ваганов и др., 1985; Fritts, 1955; Liming, 1957; Palmer, Ogden, 1983). Косвенными эти методы являются потому, что наряду с измерением реального роста, обусловленного как увеличением числа клеток, так и их размеров в течение сезона, они измеряют также сезонные изменения оводненности тканей, которые могут значительно превышать прирост новых клеток (Ваганов, Терсков, 1977; Kozlowski, 1964; Hinckley, Bruckerhoff, 1975).

Таким образом, сезонное формирование годичных колец хвойных представляет собой сочетание трех основных процессов дифференцировки (деления инициали и ксилемных материнских клеток, рост растяжением и формирование клеточной стенки). В течение сезона изменяются как численности

клеток в соответствующих зонах, так и скорости прохождения клеток через эти зоны. Непросто ответить и на вопрос, что является сроками начала и окончания роста годичного кольца. Так, под сроком начала роста годичного кольца можно принимать дату увеличения размеров камбимальной зоны (*swelling*) и первых делений клеток в ней или появления первых клеток в зоне растяжения. Точно так же за дату окончания роста можно принимать дату прекращения делений в камбимальной зоне (т.е. дату прекращения увеличения численности клеток) или дату завершения формирования клеточной стенки последней сформированной клетки в поздней древесине. Такие даты будут различаться на несколько недель (Whitmore, Zahner, 1966; Vaganov, 1996). К сожалению, в большинстве работ по анализу сезонного роста годичных колец авторы понимали под началом роста и его окончанием совершенно разные процессы, вследствие чего многие данные невозможно использовать ни в анализе особенностей сезонного формирования годичных колец в отдельные годы, ни в сравнительном анализе разных видов или деревьев одного вида.

Камбий имеет черты, присущие всем меристематическим тканям, но как высокоспециализированная вторичная меристема обладает специфическими особенностями:

- это самоподдерживающаяся клеточная система, т.е. она сохраняет свои функции в течение достаточно долгого времени, а часто и в течение всей жизни растения;
- у древесных растений за счет роста дерева растет и размер камбия. Увеличение численности клеток камбия происходит как делением самих камбимальных клеток, так и путем дифференцировки клеток первичной (апикальной) меристемы;
- производные камбия могут дифференцироваться в различные типы клеток флоэмы и ксилемы;
- камбий имеет строго упорядоченную пространственную организацию. Клетки камбия образуют непрерывный слой, выстилающий ствол, ветви и корни. Поэтому камбий, с одной стороны, распределен в пространстве, а с другой – представляет собой связную систему, где соседние клетки находятся в непосредственном контакте. Пространственная организация камбия важна с точки зрения регуляции его активности, поскольку накладывает ряд специфических требований на механизмы регуляции. Другой не менее значимой стороной пространственной организации камбия является то, что камбий является основой (зародышем) пространственной клеточной организации ксилемы и флоэмы. Например, камбий формирует упорядоченные радиальные ряды трахеид в древесине хвойных, слои сосудов в ранней древесине кольцесосудистых пород и т.д.

Различают три типа деления камбимальных клеток. Рост клеточного ряда происходит в результате периклинальных делений камбимальных клеток, когда плоскость деления перпендикулярна радиусу ствола. При антиклинальном делении (мультиплективное деление) плоскость деления параллельна радиусу ствола. По оценкам М.У. Бэнана (Bannan, 1955), доля антиклинальных делений составляет 1-2% от всех делений, наблюдаемых в камбимальной зоне. И, наконец, поперечные деления, в результате которых образуются клетки лучевого камбия,

паренхимные клетки и клетки смоляных ходов. В этом случае плоскость деления перпендикулярна главной оси ствола. Возможны и промежуточные варианты. Кроме того, далеко не всегда дочерние клетки после деления имеют одинаковые размеры, и для поддержания устойчивого размера элементов ксилемы клетки камбия способны расти как в ширину, так и в длину. Тем самым сохраняются средние размеры клеток в камбиальной зоне.

Рост годичного кольца происходит в результате периклинальных делений клеток камбиальной зоны и их дифференцировки. Скорость роста зависит от количества клеток в камбиальной зоне и скорости их деления. У хвойных пород рост годичного кольца в течение сезона всегда сопровождается изменением численности клеток камбиальной зоны, которая имеет общую для всех видов характерную динамику (Kutsch et al., 1975; Ваганов и др., 1985; Wilson, 1966; Gregory, 1968; Skene, 1972). В покое размер камбиальной зоны достигает минимума и обычно составляет 2-4 ряда клеток (табл. 1.2). После активации камбия в начале сезона роста размер камбиальной зоны увеличивается и число клеток в ней достигает максимальных значений (5-20 и более клеток). В зависимости от условий роста и от вида растения достигнутый уровень численности может сохраняться достаточно продолжительное время, в течение которого формируется основное количество трахеид. Затем размер камбиальной зоны постепенно уменьшается. В процессе роста годичного кольца всегда сохраняется основной принцип: увеличение скорости образования новых трахеид неизменно сопровождается ростом числа камбиальных клеток. Однако связь между скоростью продукции трахеид и размером камбиальной зоны видоспецифична и зависит от условий места произрастания. В одинаковых климатических условиях максимальный размер камбиальной зоны всегда больше у доминантных (или быстрорастущих, или с большей энергией роста), чем у угнетенных (Bannan, 1955; Wilson, 1966; Gregory, 1971; Gregory, Wilson, 1968; Лебеденко, 1969; Ваганов и др., 1985). На рис. 1.5 показана зависимость (аппроксимация экспериментальных результатов) числа клеток в камбиальной зоне от размера кольца для белой ели (*Picea glauca*) (Gregory, Wilson, 1968; Gregory, 1971).

К сожалению, работ, показывающих, как изменяется эта зависимость в тех или иных условиях роста и для разных видов деревьев, практически нет, может быть за исключением работы Р.А. Грегори и Б.Ф. Вильсона (Gregory, Wilson, 1968). Они обнаружили, что у белой ели, растущей в совершенно различных климатических условиях (на Аляске и в Новой Англии), максимальное количество клеток в камбиальной зоне, в зависимости от размеров годичного кольца и продукции клеток за сезон, практически одно и то же, хотя скорость продукции трахеид отличается почти в два раза (рис. 1.5).

На основе данных по сезонной динамике числа клеток в камбиальной зоне и о зависимости максимального размера камбиальной зоны от размера годичного кольца получен вывод, что одним из механизмов регуляции скорости роста (ширины годичного кольца и продукции клеток) является изменение численности делящихся клеток в камбиальной зоне (Ishida, 1981).

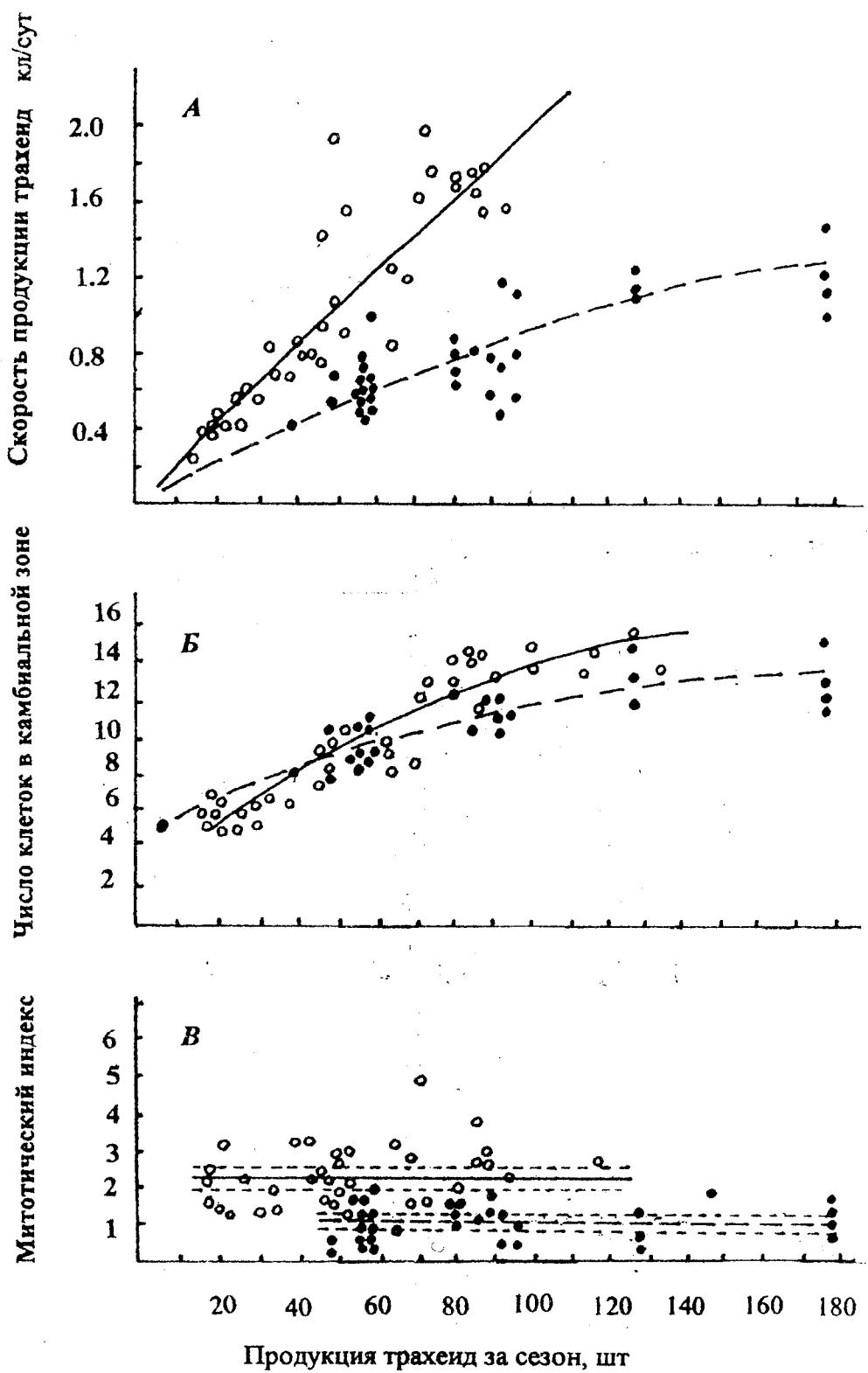


Рис. 1.5. Зависимость суточной продукции трахеид (а), численности клеток в камбимальной зоне (б) и митотического индекса (в) от общего числа клеток в кольце (энергии роста дерева) для ели белой из Аляски (1) и Новой Англии (2) (Gregory, Wilson, 1968)

1.4. Дендрохронология и ее место в экологии

Годичные слои прироста древесины (или годичные кольца на поперечных срезах) у многолетних деревянистых растений изучают специалисты многих научных дисциплин. Лесоводы и лесоустроители используют их для определения биологического возраста деревьев и древостоев, текущего и среднего прироста по диаметру, площади сечения и объему, а также при экономических расчетах; анатомы и древесиноведы – при диагностике и изучении физико-механических свойств древесины. Дендрохронолог занимается изучением изменчивости годичного прироста древесины, выявлением факторов, которые определяют эту изменчивость, датировкой годичных колец и событий, которые влияют на прирост деревесных растений, реконструкцией условий внешней среды. Объектом дендрохронологических исследований являются различные показатели годичного прироста в ствалах, ветвях и корнях деревянистых растений, а также физико-механические свойства, анатомическая структура и химический состав древесины. На основе изучения информации, содержащейся в годичных слоях прироста древесины, производится абсолютная и относительная датировка слоев прироста древесины и событий в природных экосистемах, а также реконструкция многих важных параметров внешней среды за длительные интервалы времени (сотни и тысячи лет) и с высоким временным разрешением (сезон, год).

Таким образом, дендрохронология занимается датировкой годичных слоев прироста древесины и связанных с ними событий, изучением влияния экологических факторов на величину прироста древесины, анатомическую структуру годичных слоев и их химический состав, а также анализом содержащейся в годичных слоях информации для целей реконструкции условий окружающей среды.

Довольно часто дендрохронология подразделяется на такие разделы, как собственно дендрохронология, занимающаяся датировкой годичных колец и событий, дендроклиматология и дендрогидрология, занимающиеся соответственно реконструкцией климатических и гидрологических условий, дендрогеоморфология, занимающаяся датировкой и реконструкцией геоморфологических событий и процессов, дендрогляциология, занимающаяся датировкой и изучением движения ледников и др. (Multilingual ..., 1995; Schweingruber, 1996). Подобное деление искусственно, так как любое исследование включает в себя хронологический раздел. Оно используется для того, чтобы подчеркнуть основную цель той или другой работы.

Поскольку основные принципы дендрохронологии заимствованы из общей экологии, то правильнее ее рассматривать в качестве дисциплины экологического профиля, а точнее частью раздела "Биоиндикация", выделившегося в научную дисциплину благодаря способности деревьев и кустарников формировать годичные слои прироста древесины и возможности производить абсолютную и относительную датировку этих регистрирующих структур.

Древесно-кольцевая хронология представляет собой дискретный временной ряд длительностью от нескольких лет до многих тысячелетий,

характеризующий тот или другой показатель годичного прироста, физико-механические свойства, анатомическую структуру и химический состав древесины в ствалах, ветвях и корнях деревянистых растений (преимущественно у деревьев и крупных кустарников). Дискретность древесно-кольцевых хронологий обусловлена тем, что в высоких, умеренных и даже некоторых тропических районах рост деревьев происходит лишь в отдельные сезоны года. Хронология может быть непрерывной, если в ней за определенный отрезок времени последовательно представлены все погодические изменения характеристик прироста, и прерывистой, если в ней представлены характеристики прироста за отдельные календарные годы или отдельные интервалы времени (например, лишь экстремальные значения прироста).

В зависимости от целей исследования используются различные виды древесно-кольцевых хронологий. При датировке исторической и археологической древесины, а также различного рода катастрофических событий в лесу (пожары, ветровалы, вспышки массового размножения насекомых-вредителей и др.) в основном используются *индивидуальные хронологии*, т.е. хронологии, полученные с одного одностольного или многоствольного дерева или кустарника. Для реконструкции климатических и гидрологических условий используются *обобщенные и генерализованные хронологии*, т.е. хронологии, построенные путем использования достаточно большого числа деревьев, принадлежащих к одному или нескольким видам и произрастающих в одном или нескольких типах местообитаний (табл. 1.3). Хронологии также могут быть подразделены на *локальные, региональные и глобальные*, которые характеризуют прирост деревьев и условия внешней среды на территориях различного масштаба.

Таблица 1.3. Объекты наблюдений и виды получаемых древесно-кольцевых хронологий

Уровень организации	Объекты наблюдений	Виды древесно-кольцевых хронологий
Организменный	1. Отдельный ствол, ветвь или корень у одностольного или многоствольного дерева 2. Совокупность стволов, ветвей или корней у отдельного одностольного или многоствольного дерева	1. Индивидуальная хронология (по одному радиусу) 2. Индивидуальная усредненная хронология первого порядка (по двум и более радиусам) 3. Индивидуальная усредненная хронология второго порядка (по двум и более стволам, ветвям или корням)

Популяционный	3. Совокупность деревьев одного вида, произрастающих в пределах однородного по условиям местообитания участка (или выдела) 4. Совокупность деревьев одного вида, произрастающих в одном типе условий местообитания, но на разных участках, удаленных друг от друга не более чем на 10 км	4. Обобщенная хронология первого порядка 5. Обобщенная хронология второго порядка
Межпопуляционный	5. Совокупность деревьев одного вида, произрастающих в одном типе условий местообитания, но на разных участках, удаленных друг от друга более чем на 10 км 6. Совокупность деревьев одного вида, произрастающих в различных типах условий местообитания 7. Совокупность деревьев близкородственных и сходных по экологии видов, произрастающих как в одном, так и в различных типах условий местообитания	6. Генерализованная хронология первого порядка 7. Генерализованная хронология второго порядка 8. Генерализованная хронология третьего порядка

1.5. Основные принципы дендрохронологии

Основные положения (принципы) дендрохронологии заимствованы из общей экологии. Основными из них являются закон лимитирующих факторов, отбор районов и местообитаний, чувствительность, перекрестная датировка, повторность и униформизм (Шиятов, 1973).

Суть **закона лимитирующих факторов** заключается в том, что биологические процессы, в частности рост древесных растений, не могут протекать быстрее, чем это позволяет внешним или внутренним фактором, находящимся в минимуме. В случае, если этот фактор в силу каких-либо причин переходит в разряд оптимальных, скорость роста будет увеличиваться до тех пор, пока другой фактор (или факторы) не станут лимитирующими. Согласно этому закону, для дендрохронологического анализа наиболее пригодны те

деревья, на прирост которых оказывает влияние тот или иной лимитирующий фактор, в предельном случае – только один.

Принцип отбора районов и местообитаний является составной частью закона лимитирующих факторов. Он требует, чтобы при проведении дендрохронологических исследований образцы древесины брались у деревьев, которые произрастают в неблагоприятных и экстремальных климатических и почвенно-грунтовых условиях, где наиболее полно проявляется действие лимитирующих факторов. Такими районами являются верхняя, нижняя, полярная и южная границы распространения древесной растительности, а местообитаниями – заболоченные, скальные и загрязненные промышленными выбросами.

Принцип чувствительности применим при анализе любых временных рядов, но наиболее широко он используется при анализе древесно-кольцевых хронологий. В благоприятных для роста деревьев районах и местообитаниях формируются широкие годичные кольца. При этом у таких деревьев хорошо выражены изменения прироста с возрастом, а величина прироста между соседними годами колеблется в незначительных пределах. Подобная последовательность в изменчивости ширины годичных колец получила название «благодушной». В неблагоприятных для произрастания деревьев условиях кольца прироста узкие, их ширина значительно колеблется от года к году, возрастная кривая роста выражена слабо. Часто наблюдается выпадение колец. Такие серии колец называются «чувствительными» (рис. 1.6). Они свидетельствуют о том, что на рост деревьев большое влияние оказывают факторы внешней среды. Чем сильнее погодичная изменчивость величины прироста деревьев, тем более надежным индикатором изменений условий среды она является.

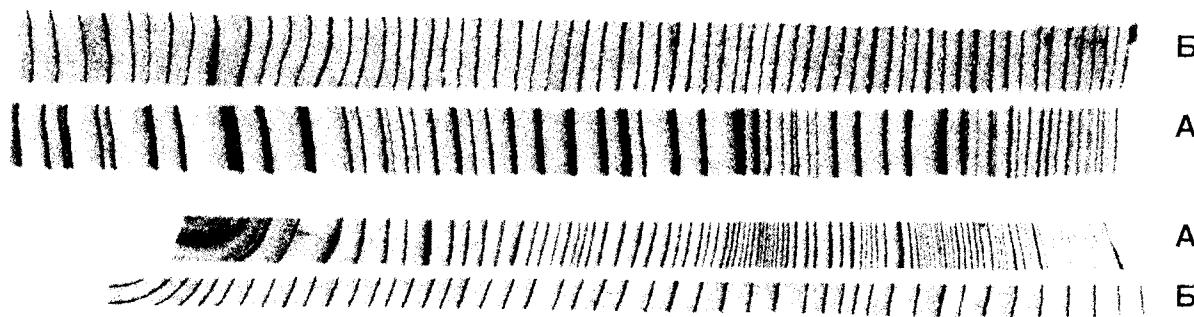


Рис. 1.6. "Чувствительные" (А) и "благодушные" (Б) серии годичных колец

Принцип перекрестного датирования является важнейшим в дендрохронологии и разработан с целью абсолютной и относительной датировки времени формирования колец с точностью до года. В основе этого принципа лежит следующее. Древесные растения, произрастающие в пределах однородного в климатическом отношении района, величиной прироста сходно реагируют на изменения лимитирующих климатических факторов. В благоприятные по климатическим условиям годы у большей части деревьев формируются широкие кольца, а в неблагоприятные – узкие. В связи с этим у

таких деревьев наблюдается синхронная изменчивость величины прироста во времени. Особенно показательны узкие кольца, когда прирост в наибольшей степени лимитируется тем или иным климатическим фактором (например, в случае острого дефицита влаги в засушливые годы). Чередование узких, средних по величине и широких колец неповторимо во времени. Поэтому максимальна возможная синхронность в приросте между разными деревьями наблюдается лишь в том случае, если графики изменения прироста будут совмещены строго хронологически. Метод перекрестного датирования позволяет выявлять местонахождение ложных и выпавших колец и производить абсолютную и относительную датировку каждого кольца с точностью до года у сравниваемых индивидуальных древесно-кольцевых хронологий, а также продлевать хронологии далеко в глубь веков на основе использования древесины давно отмерших деревьев (сухостоя, валежа, а также захороненной в торфяных, речных и озерных отложениях полуископаемой древесины голоценового возраста).

Принцип повторности, т.е. использование информации не с одного, а с определенного числа модельных деревьев, является непременным условием точной датировки колец, построения надежных древесно-кольцевых хронологий и производства более точной реконструкции условий среды в настоящем и прошлом.

Принцип единства (актуализма) применительно к дендрохронологии утверждает, что физические и биологические процессы, обусловливающие изменения в росте дерева под воздействием факторов окружающей среды в настоящее время, вызывали подобные же изменения в прошлом. Этот принцип является обоснованием широкого использования древесно-кольцевых хронологий для реконструкции прошлых условий окружающей среды, учитывая то, что деревья - долгоживущие организмы, а экстраполяция обычно осуществляется на короткие геологические интервалы времени (сотни и тысячи лет).

1.6. Достоинства и недостатки дендрохронологических методов

Широкое использование годичных слоев прироста древесины для решения многообразных научных и практических задач связано с тем, что древесные растения являются одними из наиболее долгоживущих на суще организмов. О величине максимального возраста, до которого доживают деревья и кустарники, имеется большое число публикаций. При этом часто используются недостоверные данные, основанные преимущественно на визуальных оценках размеров деревьев и преданиях. Как правило, крупные деревья не самые старые. Кроме того, точный возраст у большинства старых деревьев невозможно определить в связи с тем, что у многих из них в центре ствола есть дупло. Имеющиеся в настоящее время достоверные данные свидетельствуют о том, что самый долгоживущий вид - сосна остистая (*Pinus aristata* Engelm.), произрастающая на верхней границе леса в горах Юго-Запада США. Самая старая, найденная до настоящего времени особь этого вида, которая, к сожалению, была срублена, имела возраст 4900 лет (рис. 1.7). Довольно большого возраста (3200 лет) достигает секвойядендрон гигантский

(*Sequoia dendron giganteum* Lindl.). Многие виды деревьев доживают до 1000-2000 лет, в том числе можжевельник туркестанский (*Juniperus turkestanica* Kom.), произрастающий в высокогорьях Средней Азии. На территории России многие хвойные и лиственные виды достигают возраста 400-600 лет, а наиболее долгоживущими видами являются лиственница Каяндра (*Larix cajanderi* Mayr) - свыше 1000 лет (рис. 1.8) и можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica* Burgsd.) - до 900 лет.



Рис. 1.7. Старые экземпляры сосны остистой на верхней границе леса в Белых Горах (шт. Калифорния)



Рис. 1.8. 900-летняя лиственница Каяндра на верхней границе леса на кряже Улаан-Сис (низовье р. Индигирки) (фото М.М. Наурзбаева)

Основные достоинства дендрохронологических методов

- Высокая разрешающая способность древесно-кольцевых хронологий (год и сезон года) благодаря наличию хорошо различимых регистрирующих структур (годичных колец прироста древесины).
- Возможность абсолютной и относительной датировки времени формирования годичных колец как у живых, так и давно отмерших деревьев.
- Возможность получения как прямой (характеристики величины прироста, структуры и состава древесины, параметры пространственно-временной

динамики лесных экосистем), так и косвенной информации (реконструированные параметры условий внешней среды).

- Возможность получения длительных и непрерывных хронологий (сотни и тысячи лет).
- Наличие в древесно-кольцевых хронологиях сильных сигналов, объясняемых изменчивостью внешней среды.
- Возможность выявлять колебания различной длительности (погодичные, внутривековые, вековые) в изменчивости различных характеристик прироста деревьев и определяющих прирост факторов внешней среды.
- Возможность получения информации для огромных территорий суши, где растут или росли в прошлом древесные растения.
- Возможность получения массовых материалов и широкого использования математико-статистических методов для оценки и анализа древесно-кольцевых хронологий.

Недостатки дендрохронологических методов:

- Невозможность выявления колебаний и трендов в хронологиях, длительность которых превышает возраст использованных деревьев.
- Невозможность точной датировки годичных колец и надежной реконструкции параметров внешней среды в случае использования древесно-кольцевой информации, полученной с одного или небольшого числа деревьев.
- Различия в реакции прироста дерева на разных этапах онтогенеза на одни и те же факторы внешней среды и в случае резкого и быстрого изменения климатических и почвенно-грунтовых условий.

1.7. Использование дендрохронологических методов в лесоведении и лесоводстве

Дендрохронологические методы широко используются для решения научных и практических задач в различных областях знаний (экологии, географии, климатологии, гидрологии, океанологии, гелиогеофизике, археологии, истории, этнографии и др.), в том числе в лесоведении и лесоводстве.

Наиболее важным и перспективным направлением лесоведческих и лесоводственных исследований с использованием дендрохронологических методов является изучение пространственно-временной динамики лесных экосистем под влиянием естественных и антропогенных факторов. При датировке и изучении явлений и процессов, происходящих в древостоях, используется в основном информация, заключенная в годичных слоях прироста древесины. Круг вопросов, решаемых в рамках этого направления, весьма обширен. Перечислим основные из них.

1. Анализ изменений в составе и структуре древостояев, в том числе за интервалы времени, превышающие максимальный возраст живых деревьев. Для конкретного участка и типа леса можно получить значительно более точную и детальную информацию, так как древесно-кольцевой анализ позволяет

датировать время появления новых поколений деревьев и сроки отмирания сухостоя и валежа за длительные интервалы времени (десятки и сотни лет).

2. Изучение годичной продукции деревьев и древостоеv. На основе данных об изменчивости радиального прироста могут быть произведены расчеты других показателей продукции древесины (площадь поперечного сечения, объемный прирост). Использование таких данных намного облегчает выявление роли отдельных факторов, влияющих на продуктивность деревьев и древостоеv.

3. Анализ изменчивости различных показателей годичного прироста древесины позволяет оценивать изменение рангов деревьев в древостое в ходе возрастных и восстановительных смен, а также изучать внутривидовые и межвидовые взаимоотношения в древостое.

4. Изучение динамики ботанико-географических зон и рубежей, особенно таких, как верхняя, нижняя, северная и южная границы распространения древесной растительности, а также границ между лесными и безлесными сообществами.

5. Датировка катастрофических явлений в лесу (пожары, ветровалы, рубки, вспышки размножения насекомых и др.) с целью изучения их повторяемости и посткатастрофических смен лесной растительности.

6. Реконструкция климатических и гидрологических условий за длительные интервалы времени (сотни и тысячи лет) и с высоким разрешением (сезон, год), оказывающих наиболее существенное влияние на прирост, состав, структуру и динамику лесных экосистем.

7. Оценка эффективности различных лесохозяйственных мероприятий (осушение, внесение удобрений, рубки промежуточного пользования и др.).

8. Оценка влияния антропогенных факторов (промышленных загрязнений, строительства дорог, промышленных и гражданских сооружений, добычи полезных ископаемых, рекреации, пастьбы скота, сенокошения и др.) на состояние лесных экосистем.

1.8. Об истории развития дендрохронологии

Первые высказывания о возможности использования годичных колец деревьев для реконструкции климатических условий прошлого были сделаны такими выдающимися учеными, как Леонардо да Винчи и Карл Линней (Glock, 1941, 1955; Studhalter, 1955). Во второй половине XIX столетия в разных странах независимо друг от друга появились первые дендрохронологические работы. К ним прежде всего относятся исследования американца Д. Кюхлера (Kuechler, 1859), австрийского учителя гимназии А. Покорни (Pokorny, 1869), датского лесоведа Д. Кептейна (Kapteyn, 1914) и русского климатолога Ф. Шведова (1892).

Дендрохронология как научная дисциплина сформировалась в начале XX столетия на стыке многих наук, в основном в связи с запросами гелиогеофизики, археологии и климатологии. В это время значительно возрос интерес к изучению солнечно-земных связей и изменению климата. Интенсивному развитию дендрохронологических исследований способствовала потребность в датировке исторических и археологических памятников, содержащих древесину, а также в

получении длительных данных о колебаниях гидрологического режима отдельных территорий в связи со строительством электростанций и оросительных систем.

Основателем дендрохронологии по праву считается американский астроном А.Е. Дуглас, который в 1901 г. приступил к изучению годичных колец деревьев в засушливых районах США, а затем всецело, вплоть до своей кончины в 1962 г., посвятил себя разработке методов использования древесно-кольцевых хронологий для реконструкции климатических и гидрологических условий, выявлению связей между приростом деревьев и солнечной активностью и датировке исторической и археологической древесины. Он впервые сформулировал и на практике проверил основные принципы дендрохронологии, показал значение засушливых районов и хвойных видов деревьев как источников наиболее чувствительных древесно-кольцевых хронологий, обосновал и ввел в практику метод перекрестной датировки (Douglass, 1909, 1919, 1928, 1936, 1941, 1946). В 1937 г. А.Е. Дуглас организовал в Аризонском университете первую в мире Лабораторию изучения годичных колец деревьев (Laboratory of Tree-Ring Research), которая до сих пор является ведущим научным учреждением в этой области знаний. Общество изучения древесных колец (Tree-Ring Society), организованное также А.Е. Дугласом, с 1934 г. начало издавать периодический «Бюллетень древесных колец» (Tree-Ring Bulletin). К настоящему времени вышло уже 54 тома этого Бюллетеня.

В других районах земного шара интенсивные дендрохронологические исследования начали проводиться несколько позднее. В 1930-1950-х годах довольно много работ появилось в Скандинавских странах (Erlandsson, 1936; Ording, 1941; Eidem, 1942-1943, 1953, 1955; Hustich, 1944, 1956; Hustich, Jones, 1947; Mikola, 1950, 1952, 1956) и Германии (Walter, 1940; Huber, 1941, 1948, 1952, 1954; Huber, Holdheide, 1942; Huber, Jazewitsch, 1952, 1956, 1958; Brehme, 1951; Muller-Stoll, 1951; Jazewitsch, 1952, 1953). Большое внимание дендрохронологическим исследованиям уделялось в Англии (Lowther, 1949; Salisbury, Jane, 1940; Schove, 1950, 1954, 1959; Dobbs, 1951, 1952, 1953).

В России усиленный интерес к дендрохронологическим исследованиям стал проявляться с начала 1960-х годов, хотя отдельные работы с использованием древесно-кольцевого анализа были выполнены ранее (Тольский, 1904, 1913, 1936; Заозерский, 1934; Костин, 1940; Рудаков, 1951, 1952, 1958; Гурский, Каневская. Остапович, 1953; Галазий, 1954; Дмитриева, 1959; Замоторин, 1959). В настоящее время в нашей стране существуют две лаборатории дендрохронологии (в Институте экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург и в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск), а также несколько небольших групп (в Иркутске, Томске, Вологде, Москве, Санкт-Петербурге), которые занимаются изучением закономерностей годичного радиального прироста древесных растений, использованием древесно-кольцевых хронологий для реконструкции природных условий, датировкой различных катастрофических событий, исторических и археологических памятников. Проведено пять Всесоюзных совещаний по проблемам дендрохронологии и дендроклиматологии (Вильнюс – 1968 г., Каунас – 1972 г., Архангельск – 1978 г., Иркутск – 1983 г., Свердловск – 1990 г.), Международная

конференция в пос. Листвянка Иркутской области в 1987 г. Опубликовано значительное число сборников и ряд монографий (Битвинская, 1974; Колчин, Черных, 1977; Ловелиус, 1979; Ваганов и др., 1985; Шиятов, 1986; Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996; Черных, 1996). В настоящее время российские дендрохронологи активно сотрудничают с зарубежными учеными, участвуют в выполнении совместных проектов и организации совместных экспедиций по сбору образцов древесины, принимают активное участие в работе международных конференций и симпозиумов.

Функционирует большое число лабораторий и групп, которые получают и используют древесно-кольцевую информацию. Эти лаборатории и группы работают в различных природно-климатических зонах, включая тропики и южное полушарие. Накоплен большой объем информации и для ее хранения в 1974 г. создан Международный банк данных древесных колец (International Tree-Ring Data Bank), который в настоящее время находится в г. Боулдер, штат Колорадо, США и является составной частью Мирового центра данных по палеоклиматологии. Регулярно проводятся международные конференции по вопросам дендрохронологии и дендроклиматологии. Наиболее важные из них состоялись в Швеции (1990 г.), США (1994 г.) и Аргентине (2000 г.). Для молодых ученых, аспирантов и студентов ежегодно проводятся Международные полевые недели, на которых они знакомятся с основными принципами дендрохронологии, сбором и первичной обработкой образцов древесины. Наиболее популярны полевые недели, организуемые проф. Ф. Швейнгрубером. Две полевые недели были проведены на территории нашей страны (в 1992 г. в Вологодской области и в 1998 г. на Алтае).

В зависимости от цели и задач исследования, обязателен тщательный выбор района, типа условий местообитания, древостоя, вида древесного растения и модельных деревьев, в древесно-кольцевых хронологиях которых содержится необходимая для исследователя информация. Если образцы древесины собраны без учета этих условий, то использование даже самых изощренных методов анализа собранного материала не приведет к получению ожидаемых результатов.

2.1. Выбор районов и местообитаний

Согласно важнейшему в дендрохронологии принципу отбора районов и местообитаний, необходимо, чтобы в конкретных условиях, где производится сбор образцов древесины, проявлялось действие какого-либо лимитирующего фактора, который исследователь намерен изучить и реконструировать. Например, если требуется реконструировать климатические условия, то наиболее подходящими районами будут верхняя, нижняя, северная и южная границы распространения лесов и отдельных видов деревьев, а из типов местообитаний – сухие, переувлажненные, каменистые, засоленные и др., т.е. необходимо использовать районы и местообитания, которые по климатическим и почвенно-грунтовым условиям крайне неблагоприятны для произрастания древесной растительности (рис. 1.7, 1.8 и 2.1).



Рис. 2.1. Угнетенное лиственничное редколесье в горах Полярного Урала

Для реконструкции температурных условий наиболее перспективными являются высокотропные и высокогорные районы, а из местообитаний – те, на которых древесные растения не испытывают недостатка или избытка влаги; для реконструкции условий увлажнения – районы с недостатком увлажнения (лесостепные, степные, пустынные), а также сухие и избыточно увлажненные местообитания (Шиятов, 1973). Для изучения конкурентных и симбиотических взаимоотношений между деревьями лучше всего использовать древостои, произрастающие в средней и южной тайге, а также в наиболее благоприятных почвенно-грунтовых условиях.

2.2. Выбор видов деревьев и кустарников

Для проведения древесно-кольцевого анализа чаще всего используют хвойные виды, которые отзывчивы на изменение внешних условий, широко распространены в районах холодного и умеренного климата, долговечны и имеют хорошо различимые годичные слои прироста древесины (представители родов *Pinus*, *Picea*, *Larix*, *Abies*, *Juniperus* и др.). Из лиственных используются виды, имеющие как кольцесосудистую (представители родов *Quercus*, *Ulmus*, *Fagus*, *Fraxinus*), так и рассеяннососудистую древесину (представители родов *Betula*, *Tilia*, *Populus*). В настоящее время большое внимание уделяется изучению колец у мелких деревьев и кустарников, многие из которых по возрасту не уступают крупным деревьям, а их кольцевые хронологии чувствительны к воздействию факторов внешней среды. Например, на Полярном Урале найдены экземпляры можжевельника сибирского возрастом 600-850 лет, древесно-кольцевые хронологии которого по качеству не уступают хронологиям, полученным по лиственнице сибирской (Хантемиров и др., 1999). В хронологиях субарктических видов ив (*Salix glauca*, *S. lanata*, *S. dasyclados* и др.) также содержится сильный климатический сигнал. Использование кустарниковых видов, которые широко представлены в безлесных районах и местообитаниях (тундровая, степная и пустынная зоны, высокогорья, болота), намного увеличивает возможности использования дендрохронологических методов для решения различных научных и практических задач.

Из произрастающих на территории России видов древесных растений особый интерес вызывают представители рода *Larix*. Они являются единственными представителями хвойных листопадных деревьев, у которых хвоя прошлых лет не принимает участия в фотосинтезе, в результате чего она не оказывает существенного влияния на прирост древесины текущего года роста дерева. Представители этого рода являются самыми долгоживущими и светолюбивыми видами, наиболее устойчивыми к воздействию лесных пожаров. Лиственница способна произрастать на холодных почвах, переносить низкие зимние температуры, изменять форму роста и образовывать придаточную корневую систему. Она формирует преимущественно одновозрастные и редкие древостои, а лиственничные леса на территории нашей страны занимают наибольшую площадь (около 41% покрытой лесом площади). Древесно-кольцевые хронологии по лиственнице наиболее пригодны для проведения перекрестной датировки и дендроклиматических работ.

Список основных видов деревьев и кустарников, которые используются или могут быть использованы для проведения дендрохронологического анализа, приведен в главе 5.

2.3. Выбор древостоев и модельных деревьев

Существует два подхода к отбору древостоев и деревьев. Первый из них заключается в том, что используются лишь деревья, произрастающие в пределах пробной площади или однородного участка. В этом случае в древесно-кольцевых хронологиях в максимальной степени содержится информация об изменчивости микроусловий на данном участке. Такой подход широко практикуется при проведении дендрохронологических исследований с лесоводственным уклоном. Суть второго подхода состоит в том, что модельные деревья берут на разных, находящихся на некотором удалении друг от друга участках, принадлежащих к одному типу леса. Обязательным условием является то, чтобы эти участки были расположены в пределах однородного по климатическим и ботанико-географическим условиям района. Второй подход целесообразен при проведении дендроклиматических исследований, когда в древесно-кольцевых хронологиях необходимо выявить мезо- и макроклиматический сигналы и свести к минимуму влияние случайных и локальных сигналов.

Для дендроклиматических целей наиболее пригодными являются одновидовые, одновозрастные, одноярусные и малосомкнутые древостои (например, сосновые и лиственничные леса, редколесья и редины) или отдельно растущие деревья, в которых фактор конкурентных отношений между деревьями оказывает меньшее влияние на величину и изменчивость радиального прироста древесины по сравнению с густыми и сложными по составу и структуре древостоями. Желательно, чтобы древостои не подвергались воздействию таких факторов, как пожары, ветровалы, рубки, техногенные загрязнения, вспышки грибковых заболеваний, массовое размножение насекомых-вредителей и др. Особое внимание следует обращать на постоянство почвенно-грунтовых условий (отсутствие процессов заболачивания, иссушения, смыва и уплотнения почвы). Господствующие деревья лучше отражают изменение климатических условий, поэтому образцы древесины у них берутся в первую очередь. Образцы лучше брать у прямоствольных деревьев, не подвергавшихся механическим, огневым и другим воздействиям. Однако, найти древостои, которые бы не испытывали воздействия неклиматических факторов, практически невозможно. Поэтому обычно стоит задача выбора среди имеющихся древостоев тех из них, в которых воздействие названных факторов наименьшее. Исключение влияния неклиматических факторов можно производить на стадиях индексирования и усреднения древесно-кольцевых хронологий, но крайне важно во время отбора древостоев и модельных деревьев собрать возможно более полную информацию о времени и интенсивности воздействия таких факторов. Например, если древостоем подвергался воздействию пожара или ветровала, то желательно взять специальные образцы древесины для датировки этих событий и оценить интенсивность их воздействия.

Если стоит задача выявления роли неклиматических факторов, то критерии отбора древостоев и деревьев будут совершенно другими. Наиболее пригодными будут те из них, которые подвергались интенсивному и неоднократному воздействию таких факторов. В каждом конкретном исследовании специалист должен знать характер воздействия того или другого фактора на древостой и деревья и на этой основе производить отбор подходящих объектов. Например, наличие пожарных подсушин в нижней части стволов является основанием для проведения работ по датировке времени прохождения низовых пожаров в прошлом (рис.2.2).

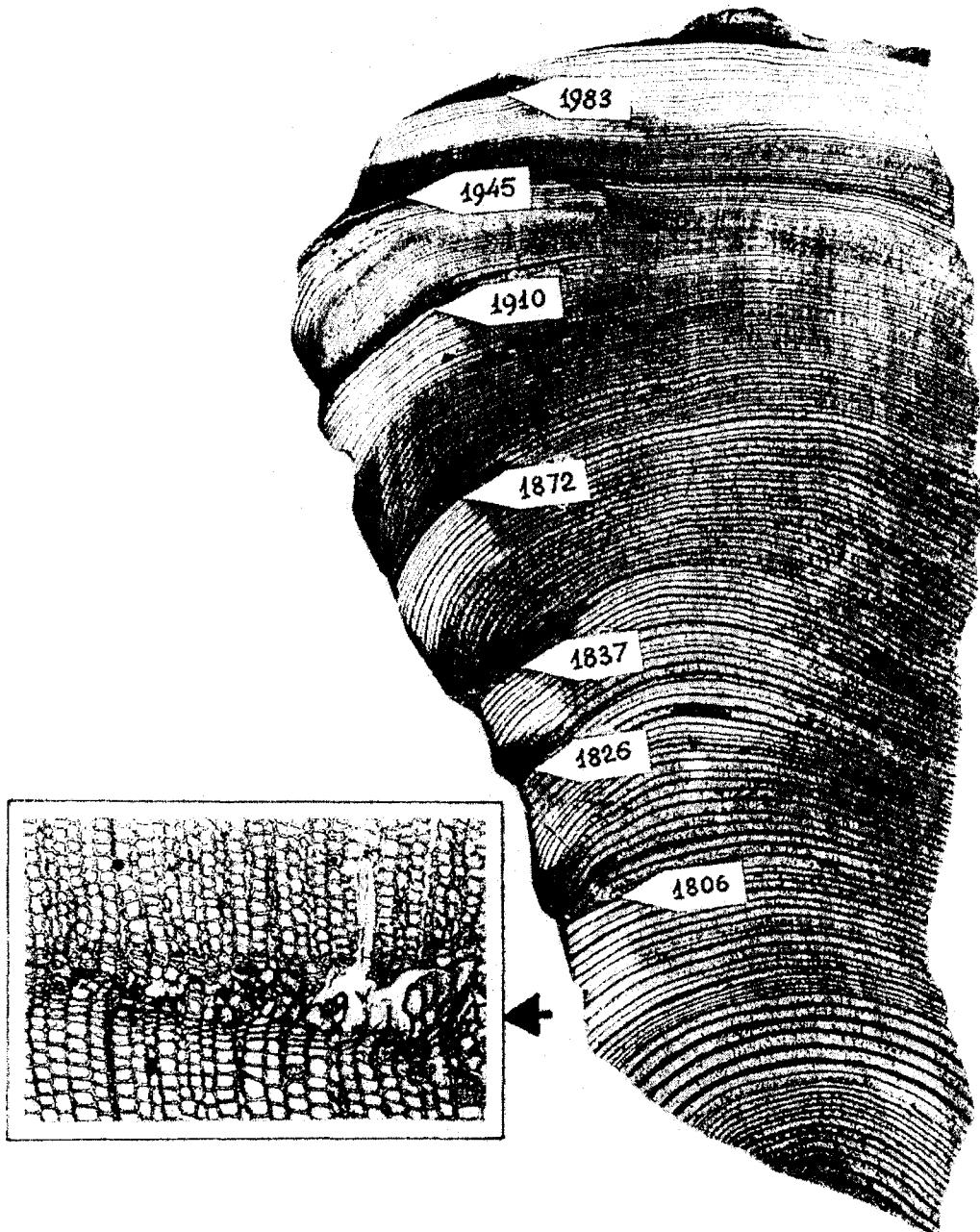


Рис.2.2. Наперечный спил сосны обыкновенной с характерными пожарными поранениями (подсушинами). Стрелками показаны годы пожаров. На микрофотографии изображено пожарное поранение в зоне поздней древесины

Если интенсивность воздействия фактора изменяется в пространстве направленно, то выбор древостоев для изучения реакции прироста производится вдоль градиента воздействия. Такое расположение опытных древостоев используется, например, для оценки воздействия точечных источников загрязнения воздуха. При этом следует иметь в виду, что даже в пределах одного древостоя воздействие воздушных загрязнителей будет различным в зависимости от того, в какой части лесного участка расположено дерево и каково его фитоценотическое положение. Наибольшему воздействию подвергаются опушечные и наиболее высокие деревья, а наименьшему — деревья, находящиеся в центре лесного участка и не возвышающиеся над верхним древесным пологом. Линейное расположение опытных древостоев используется при изучении любых градиентных изменений условий среды, как естественных, так и антропогенных. Однако при использовании такого подхода возникает проблема выбора контрольного древостоя, где воздействие изучаемого фактора отсутствует или незначительно. Выбрать совершенно идентичный древостой, который к тому же часто расположен на значительном удалении от древостоев, испытывающих сильное воздействие фактора, трудно, а часто невозможно. Дендрохронологический метод позволяет преодолеть эту трудность, если воздействие рассматриваемого фактора короче продолжительности жизни деревьев. В этом случае контролем является интервал времени жизни тех же самых деревьев, когда рассматриваемый фактор не оказывал влияния на прирост. Чаще всего такая возможность возникает при анализе недавно начавшихся антропогенных и техногенных воздействий (мелиорация, загрязнение, строительство, добыча полезных ископаемых и др.).

При проведении дендрохронологических работ часто бывает полезным и даже необходимым отбор образцов у деревьев разного возраста. В первую очередь отбирают образцы у старых деревьев, которые дают возможность получить наиболее длительную для данного местообитания хронологию. Однако у старых деревьев периферические кольца часто очень мелкие и чувствительность древесно-кольцевых хронологий снижена, и, кроме того, обычно наблюдается массовое их выпадение. Все это затрудняет датировку и измерение колец, а также реконструкцию изменчивости условий среды. Взятие образцов с молодых и средневозрастных деревьев намного облегчает получение точно сдатированной и однородной древесно-кольцевой хронологии.

2.4. Взятие, транспортировка и хранение образцов древесины

Для дендрохронологического анализа используются следующие образцы древесины: круговые поперечные спилы, бруски древесины по радиусу и диаметру, клиновидные выпилы с пней и живых деревьев, буровые керны и выскочки.

Наиболее пригодны для датировки и измерения характеристик радиального прироста древесины круговые поперечные спилы, которые позволяют анализировать прирост по любому радиальному направлению, исключать различного рода нарушения в формировании колец и легко выявлять местонахождение частично выпадающих колец. Однако взятие спилов с живых деревьев не всегда возможно. Кроме того, обычно возникает проблема

транспортировки и хранения спилов в связи с тем, что они имеют большой вес и объем. В настоящее время поперечные спилы берутся в основном с остатков отмерших деревьев (сухостой, валеж, полуископаемая древесина) и срубленных деревьев (строительные бревна исторических и археологических памятников), с которых трудно, а чаще всего невозможно взять буровые образцы в связи с наличием многочисленных трещин и гнилей. Толщина спилов зависит от степени сохранности древесины, диаметра дерева, задач исследования и необходимости их последующего хранения. Если древесина здоровая, то поперечные спилы берут толщиной 1-5 см, а если сохранность древесины плохая, то необходимо брать более толстые спилы (иногда до 10-20 см).

Наибольшую сложность представляет взятие поперечных спилов с очень растрескавшихся и сгнивших остатков древесины. Перед тем как сделать спил с такой древесиной, необходимо участок выпиливания обвязать и стянуть лентой, веревкой или проволокой. Для этих целей наиболее пригодна алюминиевая проволока диаметром 2-4 мм. Преимущество стягивания спилов алюминиевой проволокой перед другими способами состоит в том, что она не препятствует высушиванию древесины и в то же время можно предотвратить ее распад на мелкие куски во время высушивания, стягивая спил этой же проволокой через каждые несколько дней при помощи плоскогубцев. Сильно растрескавшиеся спилы наклеивают на ровную поверхность, чаще всего на фанеру.

Если остаток древесины перегнил, то сделать с него поперечный спил зачастую невозможно. Более того, такой остаток при высушивании распадается на мелкие кусочки и пылевидные частицы. В этом случае наиболее сохранившийся участок древесины необходимо обернуть изолентой (чаще всего такой участок находится в местах наличия заросших сучков), отделить его от остальной части при помощи острого ножа или ножовки и плотно завернуть в полиэтиленовый пакет для предотвращения высушивания. Обработку такого образца в лабораторных условиях следует производить сразу после его извлечения из пакета. Сильно разложившийся кусок древесины можно высушить и залить горячим парафином. Обычно такая операция используется при наличии небольших по размерам образцов древесины и углей.

Часто возникает задача определения календарного года гибели или рубки дерева. Столь точную датировку можно осуществить в том случае, если на остатке ствола, корня или ветви имеются участки, где сохранился подкоровой слой прироста. Поэтому следует внимательно осмотреть поверхность древесного остатка, выявить места, где такой слой сохранился, и сделать спил в этом месте. Иногда с одного остатка приходится брать несколько спилов, чтобы быть уверенным в том, что для анализа взят образец с подкоровым слоем прироста. О наличии подкорового слоя прироста свидетельствуют такие признаки, как присутствие остатков коры и луба на поверхности образца. К сожалению, у большинства сильно перегнивших остатков древесины подкоровой слой прироста, как правило, отсутствует в связи с тем, что периферийные слои прироста, в первую очередь слои заболонной древесины, разрушаются быстрее. В этом случае важно определить, сохранились или нет слои заболонной древесины. У многих видов деревьев заболонная древесина отличается от ядерной цветом (последняя имеет более темную окраску). Заболонь обычно

состоит из 10-30 годичных слоев прироста, у разных видов и в разных условиях местообитания количество их неодинаково. Поэтому если на взятом образце древесины обнаружены следы заболони, то, прибавив к последнему сохранившемуся кольцу определенное число лет, мы можем достаточно точно (в пределах 10-15 лет) определить дату рубки или гибели дерева.

В том случае, если возникает необходимость уменьшить вес и объем спилов (в частности, при транспортировке и хранении), то из кругового спила можно взять один или несколько радиальных секторов шириной 1-3 см. Взятие таких образцов возможно в том случае, если древесина достаточно хорошо сохранила свои физико-механические свойства. Со сравнительно хорошо сохранившихся пней и бревен можно также вышлифовать сектора треугольной формы.

Для датировки механических и огневых повреждений иногда берут клиновидные поперечные выпилы с периферийной части ствола, обычно на контакте живой поверхности с подсушиной. Такие выпилы хотя и повреждают живые деревья, но не приводят их к гибели. Однако для проведения некоторых видов дендрохронологических работ, например для датировки времени прохождения пожаров, все же необходимо использовать поперечные спилы.

В настоящее время для взятия образцов древесины, особенно с живых деревьев, используются возрастные буры преимущественно шведского или финского производства, при помощи которых высверливаются радиальные керны древесины диаметром 4-5 мм и длиной 10-50 см (рис.2.3 и 2.4).

Рис. 2.3. Высверливание образца древесины при помощи возрастного бура



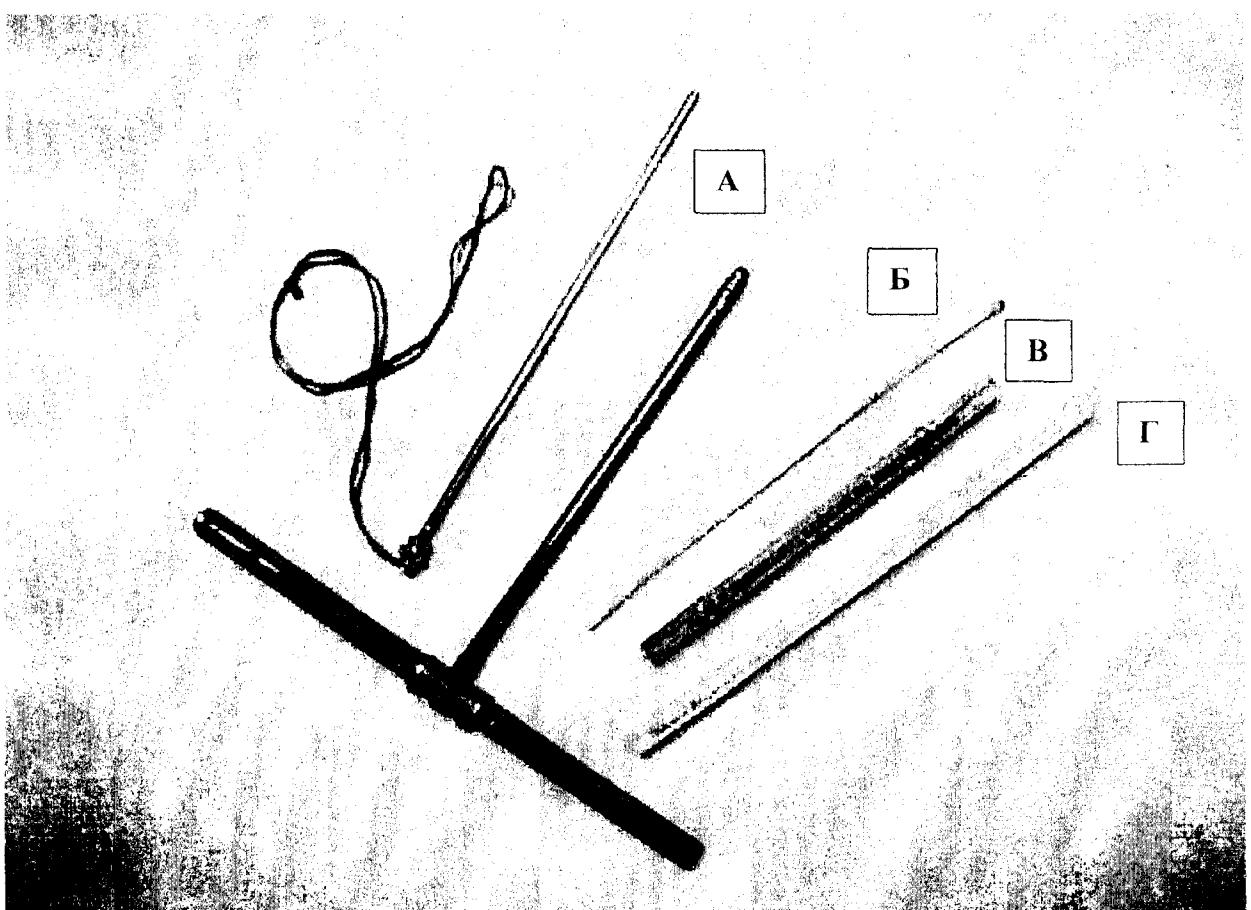


Рис. 2.4. Возрастной бур с экстрактором (А), высверленный керн древесины (Б), наклеенный на деревянную основу и обвязанный шнуром керн (В), зачищенная торцевая поверхность керна (Г)

Керны берутся по одному или нескольким радиусам, строго ориентированным по отношению к странам света или по случайному направлению. Если позволяет длина бура, то дерево просверливается насквозь и за один прием берется образец по двум противоположным радиусам. У наклоненных деревьев образцы следует брать со сторон ствола, перпендикулярных плоскости его наклона, если не стоит задача изучения реактивной древесины. Желательно, чтобы бур прошел через сердцевинное кольцо или вблизи от него. У деревьев, имеющих эксцентричные годичные кольца, с первого раза трудно определить примерное положение сердцевины ствола. Непригодны керны, которые содержат древесину заросших сучков. При сверлении старых деревьев взятию цельного образца мешает наличие участков ствола, содержащих гнилую древесину. Поэтому часто приходится сверлить одно и то же дерево несколько раз с разных сторон и на разной высоте, чтобы получить образец удовлетворительного качества. Разработаны конструкции специальных буров, в том числе электрических, которые позволяют брать керны диаметром до 10-15 мм.

Сверление нужно производить в направлении, перпендикулярном продольной оси ствола дерева. Если образцы древесины намечено использовать для измерения плотности древесины, то соблюдение этого условия является обязательным. Небольшое отклонение в направлении сверления от

перпендикулярного допускается в том случае, если будут измеряться лишь размерные характеристики прироста (ширина годичных колец, ширина зон ранней и поздней древесины и др.). Чтобы высверлить керн, перпендикулярный оси ствола, разработаны специальные приспособления, закрепляемые на стволе перед бурением и позволяющие ввести бур в ствол дерева под нужным углом. Однако такая операция занимает много времени и в полевых условиях используется редко. Чаще всего корректировка ввода бура в ствол дерева под нужным углом осуществляется помощником, находящимся сбоку в нескольких метрах.

Взятие кернов древесины требует значительно меньших затрат времени и сил по сравнению с взятием спилов. Кроме того, они имеют небольшой вес и габариты. Все это дает возможность производить сбор массового материала, что необходимо при проведении многих видов дендрохронологических исследований. Но возрастным буром трудно взять керны необходимого качества у деревьев, имеющих подгнившую древесину. Высверленные керны помещают в специально подготовленные бумажные или полиэтиленовые контейнеры, внутренний диаметр которых на 2-3 мм превышает диаметр образца. В контейнерах образцы удобно транспортировать, сушить и хранить до проведения работ по датировке и измерению колец.

Спилы и буровые керны обычно берутся на высоте 1,0-1,3 м от поверхности земли. У мелких деревьев и кустарников, особенно у тех, которые произрастают в экстремальных условиях среды и имеют узкие кольца, часто образцы берут на высоте 0,2-0,3 м, а то и ниже. В этом случае длительность индивидуальных хронологий деревьев значительно увеличивается (до 50-100 лет).

Обычно для построения одной обобщенной хронологии отбирают образцы древесины с 15-30 деревьев одного вида, а с каждого дерева – по двум радиусам. В экстремальных условиях местообитания, где наблюдается высокая изменчивость и синхронность в изменчивости прироста от года к году, можно ограничиться взятием образцов с 10-15 деревьев.

Каждый образец древесины необходимо закодировать, при этом код пишется на поверхности образца или контейнера. В дендрохронологии наиболее широко используется кодировка, состоящая из шести символов. Первые три символа представляют собой сочетание букв латинского алфавита, которые обозначают код местообитания (например, SOB – река Собь). Следующие два цифровых символа (от 01 до 99) обозначают номер модельного дерева, а последний цифровой символ (от 1 до 9) обозначает номер радиуса. На образце древесины или контейнере пишут наиболее важные сведения об образце (код участка и керна, вид дерева, высота и дата взятия, фамилия коллектора). Более подробные сведения о принципах кодировки дендрохронологического материала изложены в главе 5.

Для каждой пробной площади или типа местообитания делается описание условий произрастания, растительности, модельных деревьев и взятых образцов древесины. Для этих целей можно использовать бланки описаний, используемые при проведении геоботанических и лесоводственных исследований. В них нужно внести изменения, связанные с необходимостью иметь дополнительную

информацию о древостое, модельных деревьях и образцах древесины. Ниже приведен бланк описания, используемый сотрудниками Федерального института изучения леса, снега и ландшафта (Швейцария).

**Информация о месте сбора образцов древесины для денситометрического анализа
(Федеральный институт изучения леса, снега и ландшафта, Бирмендорф,
Швейцария)**

Порядковый номер

рентгеновского снимка

1105 A, B, C

Сокращенное название

места сбора образцов

YAN

Хронология (до 8 знаков)

YANLADA

Место сбора образцов

Янчукан

Район сбора

Забайкалье

Страна

Россия

Широта

5616 ' с.ш.

Долгота

11250 ' в.д.

Высота над уровнем моря

750 м

Вид: латинское название

Larix dahurica

сокращенное название

LAGM

Дата сбора образцов

01.07.1997

Экспозиция

C

Наклон

15 град.

Почва (тип и состав)

горные лесные с выходом
материнских пород

**Предел распространения древесной
растительности (м/град. с.ш.)**

около 1000 м над у.м.

Средняя высота деревьев

до 22 м

Сомкнутость крон

0,4

Сомкнутость кустарникового яруса

0,9

Сомкнутость травянистого яруса

0,3

Сомкнутость мохового покрова

0,8

Основные виды деревьев

лиственница даурская,
сосна сибирская

Тип леса

разнотравно-зеленомошный
сосново-лиственничный лес

Комментарий:

Ветровал около 10-20 лет назад

Транспортировку собранных образцов древесины следует производить в контейнерах и твердой таре, чтобы исключить их поломку. Желательно уже в полевых условиях высушить образцы до воздушно-сухого состояния, чтобы поверхность кернов и спилов не покрылась плесенью. Можно транспортировать и недосушенные образцы, но в этом случае необходимо организовать сушку образцов сразу после их прибытия к месту назначения. Влажные спилы полуископаемой древесины, стянутые во время сбора алюминиевой проволокой, необходимо через каждые 3-5 дней, по мере их высыхания и уменьшения радиальных размеров, стягивать плоскогубцами.

Для хранения высушенных образцов подходит любое сухое помещение. Образцы, использованные для построения одной хронологии, должны храниться вместе в картонных коробках или деревянных ящиках. Чтобы быстро найти необходимый образец, следует расположить коробки в определенном порядке, а на внешней стороне коробки нанести данные о содержащихся в них образцах. Буровые образцы занимают небольшой объем, поэтому их можно хранить в той же папке, в которой содержатся данные замеров, графики, анализы, описания, фотографии и другая относящаяся к этой хронологии информация.

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ ДРЕВЕСИНЫ

Собранные в полевых условиях древесные образцы затем анализируются в лаборатории. Перед проведением измерений с ними должен быть осуществлен ряд подготовительных операций, описание которых и приведено в данном разделе.

3.1. Выбор радиальных направлений для датировки и измерения колец

В случае использования буровых образцов радиальные направления, вдоль которых будет производиться датировка и измерение характеристик прироста, намечаются на конкретном модельном дереве во время взятия кернов (см. раздел 2.4). В пределах этих направлений отклонение от прямой линии возможно лишь в пределах ширины защищенной поверхности керна (не более 4-5 мм). У таких образцов трудно, а часто и невозможно, исключить искажения в приросте, которые наблюдаются около заросших сучьев, в местах механических и ожоговых поранений ствола, а также в местах образования креневой и тяговой древесины.

На поперечных спилах можно более целенаправленно выбирать радиальные направления и тем самым уже на стадии измерения свести к минимуму влияние факторов, нарушающих нормальный ход прироста. Выбор радиальных направлений на спилах, содержащих концентрические годичные кольца, особых проблем не вызывает. Чаще всего выбирают один или два радиуса, вдоль которых проводят прямую линию в направлении от сердцевинного кольца до внешней поверхности спила, избегая при этом те участки, где имеются заросшие сучки, гнили, реактивная и раневая древесина. В зависимости от задач исследования, направления для датировки и измерений могут быть выбраны по случайным радиусам или строго ориентированы по странам света. При проведении дендроклиматических работ чаще всего используют направления по случайным радиусам. Важно, чтобы угол между выбранными направлениями составлял не менее 90° , но лучше всего около 180° . В этом случае можно учесть долю изменчивости, обусловленную неодинаковой величиной прироста по окружности ствола. У поперечных спилов, содержащих много пустот и гнилей, часто невозможно выбрать прямые направления. Поэтому приходится измерять кольца вдоль извилистой кривой, внося, если это возможно, поправки в результаты замеров в связи с неравномерной шириной кольца по окружности ствола. Однако лучше такие образцы отбраковывать, если они не являются единичными или уникальными.

У спилов, содержащих сильно эксцентрисичные годичные кольца, выбор радиальных направлений для измерений представляет определенную проблему. В каждом конкретном случае необходимо принимать решение, сообразуясь с характером прироста и поставленными задачами. Например, у деревьев, произрастающих на верхней и полярной границах леса, кольца с наветренной стороны ствола очень узкие, и многие из них выпадают. Поэтому вдоль этого направления часто невозможно произвести точную датировку колец и даже

измерение их ширины. Единственное направление, вдоль которого можно осуществить такую работу, – это подветренная сторона ствола, по которой откладываются наиболее широкие кольца и где число выпавших колец гораздо меньше. У спилов с эксцентричными кольцами часто невозможно выбрать направление в виде прямой линии, поэтому приходится использовать извилистое направление, обходя стороной различного рода нарушения в строении колец.

Если на спиле есть зоны с большим числом очень мелких и выпадающих колец, то для обнаружения последних полезно использовать дополнительные направления в пределах этой зоны, удаленных на различном расстоянии от основных радиальных направлений. Особенно часто дополнительные направления используются при анализе образцов, взятых со старых деревьев, периферийные кольца которых мелкие и эксцентричные.

3.2. Устранение скручивания кернов

Довольно часто керны древесины во время бурения и высушивания скручиваются винтообразно, в результате чего торцевая поверхность в разных частях образца находится под разным углом по отношению к фокальной плоскости микроскопа. Особенно часто скручиваются керны, взятые у видов хвойных и лиственных деревьев, имеющих мягкую и рыхлую древесину, а также у деревьев, древесина которых подверглась слабой или средней степени гниения. Причиной скручивания кернов может быть использование плохо заточенного и грязного возрастного бура. Датировка и измерение годичных колец на таких кернах затруднено из-за того, что границы между слоями прироста трудно различимы даже в случае использования способов увеличения контрастности колец (см. раздел 3.5). Такие образцы вообще не пригодны для измерения плотностных характеристик древесины.

Для устранения скручивания кернов разработан простой и вместе с тем эффективный метод, суть которого состоит в том, что образец размягчается под действием струи водяного пара (для получения струи пара чаще всего используют бытовой электрический чайник с носиком). Одновременно с размягчением древесины производится осторожное раскручивание образца вручную в противоположном направлении до тех пор, пока торцевая поверхность в разных частях керна не будет представлять собой единую плоскость. Чтобы размягчить и выровнять образец, обычно требуется не более 5–10 минут.

Наибольшую сложность представляет раскручивание образцов, у которых имеются участки подгнившей древесины, поскольку она очень мягкая, хрупкая и легко разрушается под воздействием механических нагрузок. Чтобы произвести раскручивание таких образцов и тем самым сохранить ценную информацию, Н.Д. Янгом и М.К. Клевелэндом (Young, Cleveland, 2000) была разработана специальная методика. Суть ее состоит в том, что такие керны помещаются в разрезанные вдоль пластмассовые трубки диаметром несколько большим диаметра образца. Это исключает коробление кернов при замачивании и высушивании, а также обеспечивает свободный доступ раствора к образцу. Заключенные в трубку керны выдерживают в растворе мочевины в течение 24 часов, а затем высушивают в течение нескольких дней. Пропитанные мочевиной

и высушенные образцы в дальнейшем подвергаются размягчению под струей пара и осторожному раскручиванию вручную, как это делается с образцами, у которых гнилая древесина отсутствует. П.Д. Янг и М.К. Клевелэнд провели специальное исследование, чтобы определить, влияет ли такая обработка на размеры годичных колец. Оказалось, что значимых различий в ширине колец у образцов, измеренных до и после обработки, не было или они были небольшими, не превышающими величины одного стандартного отклонения от среднего значения первоначальной серии колец. Они пришли к заключению, что небольшое искажение в величине годичного прироста компенсируется получением ценных данных, которые могли быть потеряны.

3.3. Наклейка кернов на деревянную основу

Буровые образцы для удобства их кодировки, обработки (полировка, зачистка, увеличение контрастности колец), датировки и измерения, а также для предотвращения утери и разлома на мелкие куски наклеивают на деревянную основу, которая представляет собой рейку прямоугольной формы шириной и высотой примерно по 1 см и длиной несколько большей длины образца, у которой на одной из сторон выточен паз шириной немного больше и глубиной немного меньше диаметра керна. Для фиксации кернов можно использовать любой клей, но наиболее часто используется клей ПВА, который хорошо скрепляет деревянные поверхности и в то же время позволяет легко отсоединять керн от деревянной основы после обильного смачивания их водой. Главным требованием при наклейке образца является то, чтобы поперечная волокна древесины (торцевая) поверхность керна была параллельна верхней поверхности деревянной основы. Торцевая поверхность хорошо отличима от радиальной при внимательном рассмотрении образца.

Последовательность процедуры наклеивания буровых образцов на деревянную основу состоит в следующем. Сначала на боковых поверхностях деревянной основы карандашом или ручкой наносят наиболее важные характеристики образца (код, вид дерева, место и время взятия, фамилия коллектора). Это исключит в дальнейшем ошибки в идентификации образцов. Затем в паз деревянной основы наносят слой клея толщиной около 1 мм и в него помещают керн, при этом особое внимание обращают на то, чтобы торцевая поверхность была параллельна верхней поверхности деревянной основы. После этого образец крепко прижимают к деревянной основе при помощи их обматывания крепкой ниткой, шнуром или липкой лентой (скотчем), чтобы исключить коробление и изменение наклона торцевой поверхности образца во время высыхания клея (рис. 2.4В). Прижатые к основе образцы древесины помещаются в сухое помещение на несколько часов, чаще всего на сутки, т.е. до полного высыхания клея. После этого обмотку снимают и приступают к дальнейшей работе с образцом.

3.4. Полировка и зачистка торцевой поверхности

Для того чтобы границы колец и клеток были отчетливо видны во время измерений в отраженном свете, необходимо тщательно зачистить торцевую поверхность образца древесины.

Шлифовку и полировку можно производить при помощи любого бытового или промышленного аппарата ленточного или кругового типа. При этом спил или несколько наклеенных на деревянную основу буровых образцов закрепляют гвоздями на ровной поверхности (например, на столярном столике). Сначала производится обработка при помощи крупнозернистой шкурки (шлифовка), а затем при помощи мелкозернистой шкурки и суконного круга (полировка). Такая обработка торцевой поверхности образца дает хорошие результаты в тех случаях, когда годичные кольца сравнительно широкие (более 1 мм), а древесина здоровая, т.е. не подверглась процессам гниения.

Для получения лучшего контраста между границами клеток и узких колец, а также при обработке сильно потрескавшихся и гнилых образцов поверхность вдоль выбранного радиального направления лучше зачищать острым режущим инструментом (бритвой, скальпелем, ножом, стамеской). На спилах обычно зачищается полоса шириной 1-3 см. У буровых образцов срезается верхняя часть керна (толщиной 1-1,5 мм). При этом обрабатываемую часть спила и керн необходимо предварительно смочить водой.

Бритвенное лезвие позволяет наилучшим образом зачищать поверхность образца, не деформируя первоначальную клеточную структуру древесины. При этом наиболее удобным положением лезвия является такое, когда оно несколько изогнуто в сторону образца. Сгибание лезвия обычно производится при помощи большого, указательного и среднего пальцев руки. При зачистке образцов лезвие часто ломается, в результате чего происходит поражение пальцев, и дальнейшее использование еще острого лезвия становится невозможным. Чтобы сделать использование лезвия удобным и безопасным, продлить срок его службы и иметь возможность применять гораздо большую силовую нагрузку при зачистке, В.М. Горячевым (г. Екатеринбург) предложено и апробировано специальное приспособление для удержания бритвенного лезвия в изогнутом состоянии (рис. 3.1). Оно представляет собой алюминиевую трубку диаметром 30-40 мм и длиной 5-7 см, на

которую надет хомут с натягивающим устройством, эллипсовидной формы. Лезвие зажимается таким образом, чтобы внутренний разрез не выступал за край трубы и хомута. Такое приспособление особенно удобно для зачистки поверхности крупных образцов древесины, например радиальных направлений на поперечных спилах.



Рис. 3.1. Зачистка торцевой поверхности спила при помощи бритвенного лезвия, закрепленного в специальном приспособлении

3.5. Получение тонких поперечных срезов

Для измерения клеточных структур древесины под большим увеличением, выявления особенностей строения патологических образований (морозобойных, раневых, реактивных и др.), фотографирования и сканирования микроанатомических признаков древесины используются тонкие срезы, которые позволяют рассматривать и измерять эти структуры в проходящем свете. Для этих целей используются бритвы и микротомы. Полученные тонкие ($10-15 \mu\text{m}$) срезы древесины окрашиваются и затем помещаются под покровные стекла. В качестве среды заливки применяют смолы, бальзам или глицерин-желатин (Фурст, 1979). Недостатком таких образцов при проведении дендрохронологических исследований является получение срезов, которые содержат небольшое число годичных слоев древесины.

3.6. Увеличение контрастности колец и клеток

Для повышения контрастности границ между клетками и годичными кольцами используются такие способы, как смачивание поверхности водой и маслянистыми жидкостями, окраска различными красителями, втирание порошка, обжигание поверхности на пламени. В настоящее время для датировки и измерения ширины годичных колец чаще всего используется сухой способ, т.е. втирание на защищенной поверхности в клеточные поры мелко размолотого порошка белого цвета (например, зубного порошка) с помощью кусочка тряпки или ваты. Сухой способ удобен тем, что нет необходимости постоянно поддерживать образец в смоченном состоянии и исключаются искажения, связанные с разбуханием древесины. Особенно эффективен сухой способ при обработке пораженной гнилями и потемневшей древесины, в частности полуисконаемой.

Контрастность границ анатомических элементов древесины можно также увеличить при помощи рассматривания образца под определенным углом падающего света. Этого можно достигнуть изменением угла наклона осветительной лампы или изменением угла наклона поверхности образца по отношению к горизонтальной плоскости. Особую сложность представляет выявление границ между клетками и кольцами у обуглившихся остатков древесины. У древесных углей эти структуры лучше всего видны на свежих разломах и при определенном угле светового потока.

Для увеличения контрастности клеточных структур и выделения клеток и тканей различных типов у тонких срезов с использованием проходящего света широко известны такие красители, как сафранин, различные анилиновые краски (Яценко-Хмелевский, 1954).

ДАТИРОВКА И ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОДИЧНЫХ СЛОЕВ ДРЕВЕСИНЫ

Этот раздел работ является наиболее важным и трудоемким. От правильности датировки и точности измерений зависит качество получаемых древесно-кольцевых хронологий. Наиболее трудоемка процедура перекрестной датировки индивидуальных хронологий, требующая иногда 60-80% времени, затрачиваемого на получение обобщенной хронологии. Хотя датировка и измерение годичных колец - разные операции, они рассматриваются в одной главе, так как часто осуществляются одновременно.

4.1. Предварительная датировка и маркировка колец

Прежде всего производится предварительная датировка и маркировка годичных колец в пределах каждого радиального направления под лупой или микроскопом при 20-40-кратном увеличении. При таком увеличении можно выявить довольно тонкие кольца, содержащие всего 2-3 слоя клеток. Датировка и маркировка колец называется предварительной, так как датируют и учитывают лишь видимые кольца. При проведении этой операции возможны ошибки в датировке в связи с наличием в образцах древесины выпавших и ложных колец. Ошибки также возникают в результате неверного подсчета числа видимых колец.

Датировку и маркировку колец проводят путем нанесения на поверхность определенных колец отметок при помощи карандаша, ручки или тонкой иглы. Точками или углублениями маркируется поверхность каждого десятого по счету кольца. Если образец древесины взят с живого дерева, а периферийные кольца достаточно хорошо различимы, то их предварительную датировку удобнее производить в направлении от периферии ствола к его центру, т.е. обратным отсчетом календарных лет, учитывая, что одно кольцо формируется в течение одного года. В этом случае одной точкой или углублением маркируются кольца, сформированные в год окончания каждого календарного десятилетия (например, кольца 1990, 1980, 1970 годов и т. д.), двумя точками – в год окончания каждого пятидесятилетия (кольца 1950, 1850, 1750 годов и т. д.) и тремя точками – в год окончания каждого столетия (кольца 1900, 1800, 1700 годов и т. д.) (рис. 4.1). При этом необходимо знать точную дату взятия керна или спила. Например, если образец взят в марте-мае 1992 г., т.е. до начала вегетационного периода, то обратный отсчет календарных годов следует начинать с 1991 г., когда образовалось последнее (или подкоровое) кольцо; если образец взят в конце или после завершения вегетационного периода 1992 г., то отсчет календарных дат нужно начинать с 1992 г. Если же календарная дата взятия образца или гибели дерева неизвестны, то разметку колец удобнее производить в противоположном направлении (от центра к периферии ствола). В этом случае одной точкой маркируется каждое десятое по счету кольцо, двумя точками – каждое пятидесятое, тремя точками – каждое сотое (рис.4.1). Такая система предварительной разметки и датировки удобна для быстрого нахождения нужного кольца на образце и сверки правильности числа учтенных и измеренных колец.

-))) ·)) Одна точечная отметка указывает на десятилетие
-))) :)) Две точечные вертикально расположенные отметки указывают на пятидесятилетие
-))) :))) Три точечные вертикально расположенные отметки указывают на столетие
-))) '))) Две точечные горизонтально расположенные отметки указывают на узкое годичное кольцо
-))) ·))) Две точечные расположенные по пересекающей диагонали отметки указывают на пропущенное годичное кольцо

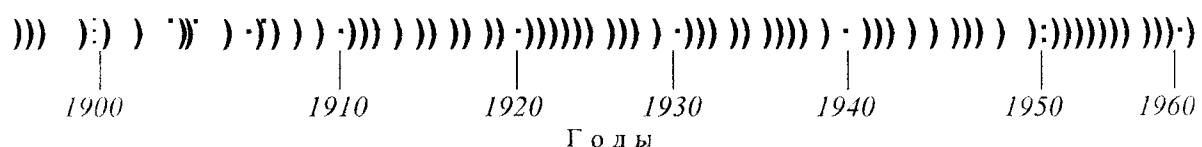
Схема последовательности годичных колец

Рис. 4.1. Маркировка годичных колец на защищенном радиальном направлении (Stokes, Smiley, 1968)

4.2. Окончательная датировка колец

Существует два подхода к проведению работ по окончательной датировке и измерению годичных колец. При первом подходе сначала производят измерение параметров прироста и построение графиков у предварительно датированных образцов, а затем окончательную абсолютную или относительную датировку колец. При втором подходе сначала производят датировку колец, а затем их измерение. Резкой грани между этими подходами не существует, так как операции по датировке и измерению часто производят одновременно. Использование того или другого подхода зависит от целей исследования, вида и качества образцов древесины, чувствительности древесно-кольцевых хронологий.

В основе этих подходов лежит один и тот же метод – метод перекрестной датировки (cross-dating method), основанный на использовании неповторимого во времени рисунка годичных колец древесины (см. раздел 1.6). Этот метод был впервые использован Д. Кюхлером (Kuechler, 1859), а окончательно разработан и широко внедрен в практику дендрохронологических работ А.Е. Дугласом в 1911 г. (Douglass, 1919). Перекрестная датировка – это сравнение рисунков колец у различных деревьев и выбор точного места, где найдено соответствие в характере изменчивости показателей радиального прироста между рассматриваемыми образцами. Этот метод позволяет выявлять нарушение синхронности в пределах отдельных временных интервалов и, тем самым, выявлять точное положение ложных и выпавших колец.

Метод перекрестной датировки позволяет производить относительную и абсолютную датировку времени формирования слоев прироста древесины. Относительная датировка заключается в определении пар колец у сравниваемых образцов, которые сформировались в один и тот же год, но календарная дата еще

неизвестна. Она позволяет, например, определить, на сколько лет позднее или раньше было срублено (или погибло) то или иное дерево по сравнению с другим на основе подсчета разницы в годах формирования подкоровых колец. Более того, если подкоровое кольцо сохранилось (это можно установить путем тщательного изучения внешней поверхности образца и обнаружения на ней остатков коры и луба), то можно определить сезон рубки или гибели дерева. Например, если подкоровое кольцо полностью не сформировалось, то гибель дерева произошла в течение периода роста, т.е. в летние месяцы. 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 взятия образца древесины хотя бы у одного живого дерева, кольцевая хронология которого перекрестно датируется с другими кольцевыми хронологиями.

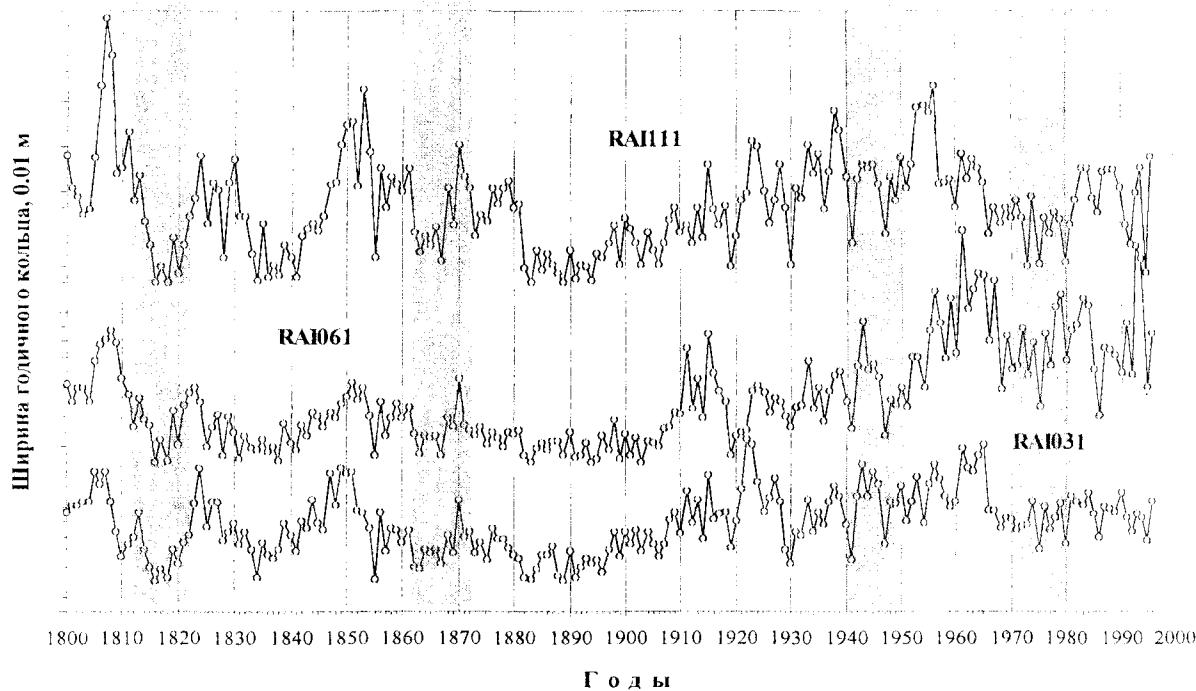


Рис. 4.2. Пример построения графиков у трех перекрестно датированных индивидуальных хронологий по лиственнице с Полярного Урала. **Заливкой** обведены характерные "блоки" изменчивости ширины годичных колец, повторяющиеся у сравниваемых хронологий

Поскольку сравнивать рисунки колец для целей их датировки на самих образцах затруднительно из-за их крупных размеров и неодинаковой ширины годичных колец, то извлекаемую из колец информацию удобнее наносить и анализировать на бумаге в виде графиков, на которых по оси абсцисс откладывается календарное время в годах (слева направо), а по оси ординат - величина годичного прироста и другие характеристики годичных колец. Масштаб по этим осям желательно устанавливать одинаковым, особенно по оси абсцисс. Практика показала, что для построения графиков и глазомерного анализа изменчивости прироста наиболее удобным масштабом по оси абсцисс является такой, когда данные для каждого календарного года наносятся через два миллиметра. Вертикальный масштаб зависит от диапазона изменчивости показателей прироста у конкретной хронологии. Однако для глазомерного анализа графиков наиболее удобно, когда максимальные значения удалены от

оси абсцисс не более чем на 15-20 см (рис. 4.2). Графики изменения размерных, плотностных и химических характеристик годичных слоев прироста строятся вручную на миллиметровой бумаге или при помощи графопостроителей или принтеров. Для глазомерной датировки колец при помощи графиков желательно использовать специальный стол с подсветкой снизу.

Первый подход, используемый для датировки и измерения древесных колец, предложен Б. Хубером в 1940-х годах. При этом подходе сначала производится измерение колец у предварительно сдатированных и маркированных индивидуальных хронологий. На основе этих измерений строятся графики изменения прироста для каждого радиуса, которые затем визуально сопоставляются друг с другом на предмет выявления сходства и различий между ними, определения местоположения выпавших, ложных, пропущенных и лишних колец. В первую очередь сопоставляются графики, полученные для более молодых и быстрорастущих деревьев, у которых вероятность выпадения колец и других нарушений структуры является наименьшей. В качестве реперных обычно используются самые узкие и самые широкие кольца, а также кольца, содержащие патологические структуры. При глазомерной датировке сравниваемых серий колец большую помощь оказывают так называемые блоки или характерные интервалы, которые представляют собой определенную последовательность в изменчивости от 4 до 11-15 колец, очень сходную у разных индивидуальных хронологий. Наиболее типичный пример такого интервала - "гребенка", когда в течение указанного интервала времени наблюдается сильная изменчивость годичного прироста от года к году, обусловленная соответствующими изменениями внешней среды. Характерные интервалы могут иметь разные варианты изменения ширины годичных колец (рис. 4.2).

При наличии выпавших и ложных колец синхронность в изменчивости прироста между некоторыми сравниваемыми отрезками хронологий нарушается, а положение реперных колец смещается на один год и более. При помощи сдвига этих отрезков относительно друг друга на разное число лет и глазомерной оценки синхронности между ними делается заключение о числе пропущенных и ложных колец и о том, в каком месте кривой наиболее вероятно нахождение данных колец. После этого на исходных образцах древесины в пределах интересующих нас временных интервалов кольца внимательно просматривают, и в большинстве случаев выпавшие кольца выявляются. Наибольшую сложность представляет выявление выпавших и локально выпавших колец, особенно на кернах, у которых обследуемая поверхность кольца по кругу небольшая (4-6 мм). Как правило, выпавшее кольцо датируется годом, когда у другой хронологии было сформировано узкое кольцо. На поперечных спилах локально выпадающие кольца выявляются легче, нужно лишь зачистить и внимательно просмотреть всю окружность спила. Если выпавшее кольцо не обнаружено на образце древесины, то такой образец лучше отложить в сторону и возвратиться к нему после того, как будет датировано достаточно большое число образцов из исследуемой серии. Большой опыт, накопленный дендрохронологами в разных странах, показывает, что выпадение колец чаще всего происходит в основании ствола, корнях и ветвях и очень редко — в верхней половине ствола. Поэтому при выявлении таких колец большую помощь могут оказать образцы древесины, взятые в этой части ствола. Но даже в

случае использования образцов, взятых у основания ствola и у деревьев, растущих в крайне неблагоприятных почвенно-климатических условиях, все выпавшие кольца, как правило, выявляются, если образцы взяты с достаточно большого числа деревьев (не менее 10-15 шт.). При этом желательно, чтобы модельные деревья были разного возраста. В частности, образцы с молодых деревьев собирать необходимо, так как их древесно-кольцевые хронологии помогают датировать узкие периферийные кольца у старых деревьев, где выпадение колец происходит наиболее часто.

Ложные кольца выявляются легче у большинства видов деревьев. Внешняя граница у них не такая резкая, как у настоящих колец, а ширина зоны клеток поздней древесины существенно изменяется (вплоть до исчезновения) по окружности кольца. Трудности распознавания таких колец возникают у образцов деревьев, которые произрастают в южных засушливых районах (например, можжевельники, саксаулы). У этих видов в один вегетационный период может образовываться несколько колец, которые по анатомической структуре ничем не отличаются от настоящих. Поскольку ложные кольца чаще всего формируются в молодом возрасте, когда прирост наибольший, то оптимальной процедурой в выявлении таких колец будет сопоставление кривых радиального прироста у старовозрастных деревьев и использование в качестве реперных колец, содержащих какие-либо патологии в анатомической структуре древесины (например, морозобойные кольца).

Положение одиночных выпавших и ложных колец в пределах индивидуальной хронологии определяется достаточно легко. Если же выпало несколько колец подряд или в течение короткого промежутка времени, то определить их точное положение не всегда удается. Такие случаи наблюдаются у образцов, у которых в течение длительного времени (от 5-7 лет и более) формируются очень узкие кольца и отмечается слабая погодичная изменчивость прироста. Если нет уверенности в том, что те или другие временные отрезки хронологии датированы правильно, то они в дальнейшем не используются для целей перекрестной датировки и построения обобщенной хронологии. Однако, если есть возможность правильно датировать такие интервалы, то нужно это сделать, несмотря за затраты времени, так как впоследствии при расчете индексов прироста гораздо легче будет подобрать возрастную кривую. Иногда приходится отбраковывать индивидуальную серию целиком, если возникают сомнения в правильности датировки колец. Отбраковываются также образцы, которые имеют значительные индивидуальные особенности в изменчивости прироста.

Для ускорения процедуры выявления выпавших и ложных колец у образцов, взятых с живых деревьев, полезно датировать, измерить и построить графики изменения ширины колец у 5-7 деревьев высокой энергии роста, у которых наличие таких колец наименее вероятно. Перекрестная датировка между этими хронологиями обычно позволяет выявить все или почти все выпавшие и ложные кольца. Датировка и маркировка других образцов производится с учетом этих индивидуальных хронологий, что впоследствии экономит много времени и сил в процессе обнаружения у них ложных и выпавших колец и при исправлении данных измерений и графиков.

После того как для всех образцов будут получены графики изменения радиального прироста, производится визуальная оценка синхронности между всеми ними и окончательная абсолютная или относительная датировка колец у каждой индивидуальной древесно-кольцевой хронологии.

При **втором подходе** сначала производится датировка древесных колец, а затем их измерение. Датировка основана на глазомерном изучении относительной изменчивости годичного прироста древесины непосредственно на образце, в частности, на использовании экстремальных величин прироста и таких патологических образований, как морозобойные, светлые и ложные кольца и др., в качестве реперных или указательных лет. Наиболее значимыми являются узкие кольца, которые формируются в неблагоприятные по климатическим условиям годы у большей части деревьев, произраставших в одно время и в однородном по климатическим условиям районе в пределах как одного, так и на разных участках.

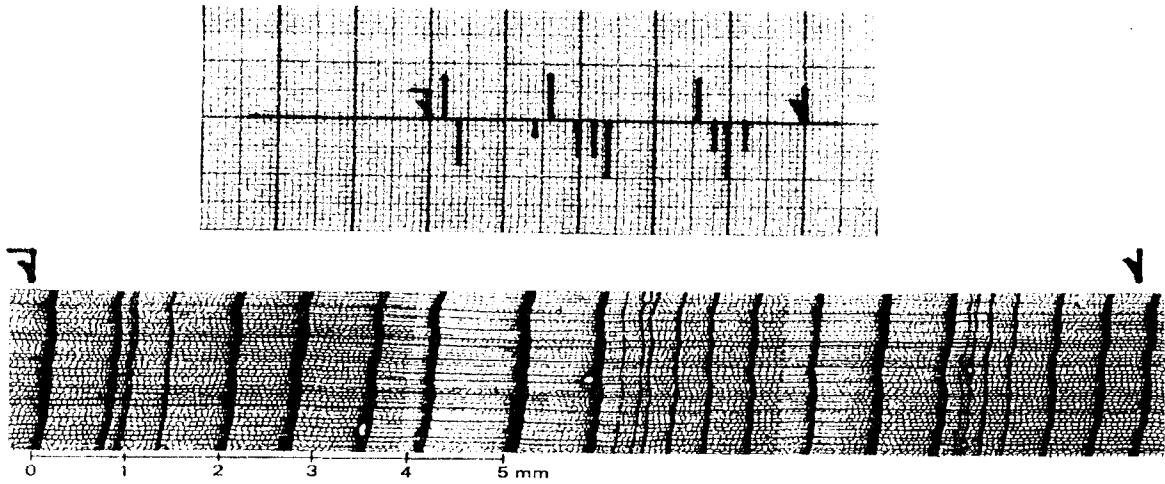


Рис. 4.3. Скелетный график (верхняя кривая), показывающий положение наиболее узких и широких колец для отрезка индивидуальной хронологии

Для целей перекрестной датировки на основе глазомерного сопоставления ширины соседних колец А.Е. Дугласом разработан оригинальный метод построения так называемых скелетных графиков (skeleton plots). Суть его состоит в том, что каждая маркированная серия колец рассматривается под увеличительным прибором и для нее на миллиметровой бумаге строится специальный график (рис. 4.3.). Каждая вертикальная линия на бумаге соответствует одному годичному кольцу. На графике отмечаются годы с минимальным (линия вниз) и максимальным (линия вверх) приростом по отношению к соседним кольцам. Экстремальные по ширине кольца обозначаются вертикальной линией длиной 2 см, а остальные кольца – линией меньшей длины, основываясь на глазомерной оценке их относительной ширины по отношению к экстремальным величинам. Средние по ширине кольца на графике не отмечаются. Для целей перекрестной датировки полезно специальными значками отмечать кольца, содержащие патологические структуры (ложные, морозобойные, светлые, пожарные и т.д.). Для датировки очень чувствительных хронологий можно ограничиться нанесением на график лишь самых узких колец (Stokes, Smiley, 1968).

Затем скелетные графики, построенные для каждого образца древесины, сравниваются между собой. При этом выявляют сдвиги в положении реперных колец, а также определяют местонахождение выпавших и ложных колец у индивидуальных хронологий. По индивидуальным хронологиям строится обобщенная (или усредненная) хронология на основе вычисления средней длины вертикальных линий за отдельные годы. Преимуществом скелетных графиков является то, что нет необходимости производить измерение величины прироста. Чаще всего они используются при датировке чувствительных к воздействию климатических факторов древесно-кольцевых хронологий. Этот метод широко использовался для датировки исторической и археологической древесины непосредственно на месте взятия образцов древесины. Исследователи, обладающие хорошей зрительной памятью, запоминают последовательность чередования реперных колец для данного района за многие сотни лет, что ускоряет проведение перекрестной датировки.

Точная датировка колец возможна лишь в случае сопоставления изменчивости показателей годичного прироста и времени формирования патологических структур у определенного числа образцов. В зависимости от района исследования, условий местообитания, вида древесного растения и ряда других факторов, минимальное число модельных деревьев, необходимое для выявления всех выпадающих и ложных колец, будет различным. Опыт выявления таких колец, накопленный дендрохронологами, показывает, что в большинстве случаев вполне достаточно сравнить хронологии у 7-10 деревьев одного вида, произрастающих в сходных условиях местообитания.

Осуществить перекрестную датировку иногда помогает использование промежуточных по рисунку индивидуальных хронологий. Например, хронология 1 неуверенно датируется с хронологией 2, но достаточно хорошо с хронологией 3. Последняя хронология, в свою очередь, хорошо датируется с хронологией 2. Это дает основание считать, что все три хронологии перекрестно датируются между собой.

При датировке слабочувствительных серий колец, у которых обычно наблюдается сильное изменение величины радиального прироста древесины с возрастом, глазомерное сравнение абсолютных величин прироста производить затруднительно. В этом случае полезно рассчитать для каждой индивидуальной хронологии относительные величины (или индексы прироста) и даже построить обобщенную индексированную хронологию на основе использования небольшого количества перекрестно датированных серий колец.

Для целей датировки большую пользу приносит сопоставление рассматриваемых хронологий с хронологиями, полученными ранее для исследуемого района как по данному виду древесного растения, так и по другим видам (как обобщенными, так и индивидуальными). Если один и тот же климатический фактор является ведущим для изменчивости прироста древесины у разных видов по крайней мере в экстремальные по климатическим условиям годы, то перекрестная датировка между такими хронологиями вполне осуществима.

Крайне желательно, чтобы правильность перекрестной датировки, выполненной одним исследователем, была проверена другим специалистом.

В настоящее время для проведения абсолютных и относительных датировок широко используются специальные компьютерные программы.

Разработано несколько программ, которые по шагово сдвигают индивидуальные хронологии относительно друг друга на один год и на основе расчета коэффициентов корреляции и синхронности делают заключение, в пределах какого отрезка сравниваемых кривых сходство между ними наибольшее и какова величина возможного сдвига. Наиболее известной и широко используемой из них является программа COFECHA, Version 6.02p (Holmes, 2000). Для выявления выпадающих и ложных колец очень удобна программа TSAP 3.6 (Rinn, 1999), которая позволяет рассматривать на экране кривые изменения показателей прироста у большого числа деревьев, сдвигать кривые на различное число лет, вставлять и удалять кольца.

4.3. Датировка древней древесины и продление древесно-кольцевых хронологий

Метод перекрестной датировки позволяет не только датировать кольца у ныне живущих деревьев, но и продлевать хронологии далеко в глубь веков, используя древесину давно усохших или срубленных деревьев, сохранившуюся до настоящего времени на земной поверхности в виде сухостоя, валежа, строительных бревен, деревянных изделий, и древесину, погребенную в торфяных, речных, озерных, морских отложениях, а также в культурных слоях археологических памятников. Длительные хронологии важны для датировки различных природных явлений и культурных памятников, а также для реконструкции динамики лесных экосистем и условий среды в далеком прошлом с высоким временным разрешением. Важнейшими условиями для продления хронологий за пределы возраста наиболее старых живых деревьев являются наличие не менее 5-7 образцов для каждого года и наличие перекрытия между сравниваемыми хронологиями длительностью не менее 50-70 лет. Чем больше временной интервал перекрытия и длительность индивидуальных хронологий и чем выше чувствительность серий колец, тем легче производить перекрестную датировку и продлевать хронологии в глубь веков. На рис. 4.4 показан пример построения древесно-кольцевой хронологии длительностью 1950 лет на основе использования образцов древесины, взятых с живого дерева (IND294, 1114-1998 гг.), и двух полуископаемых остатков деревьев этого вида (IND270 и IND288), отмерших в 1228 и 897 годах н.э. соответственно.

Для построения абсолютной непрерывной хронологии длительностью несколько тысяч лет требуется довольно много времени и сил. На первом этапе работы обычно строятся так называемые плавающие хронологии длительностью 300-500 лет и более. Каждая из них представлена некоторым количеством индивидуальных хронологий, которые датированы относительно друг друга, но не привязаны к календарной шкале. Плавающие хронологии с определенной временной ошибкой можно привязать к календарной шкале при помощи радиоуглеродного метода датирования. Это намного облегчает дальнейшую работу по датировке и целенаправленному поиску образцов древесины. На заключительном этапе работы производится продление как абсолютной, так и плавающих хронологий, их соединение друг с другом и построение длительной абсолютной хронологии. Важной задачей является также обеспечение достаточным числом повторностей (не менее чем 7-10 образцами) различных временных интервалов хронологии, что не всегда удается осуществить в связи с редкой встречаемостью остатков деревьев, росших в соответствующие

календарные интервалы времени. Длительные хронологии обладают значительно большей неоднородностью по сравнению с хронологиями, полученными по живым деревьям, в результате неодинаковой представленности образцами различных временных интервалов и использования остатков деревьев, которые росли в разных типах условий местообитания.

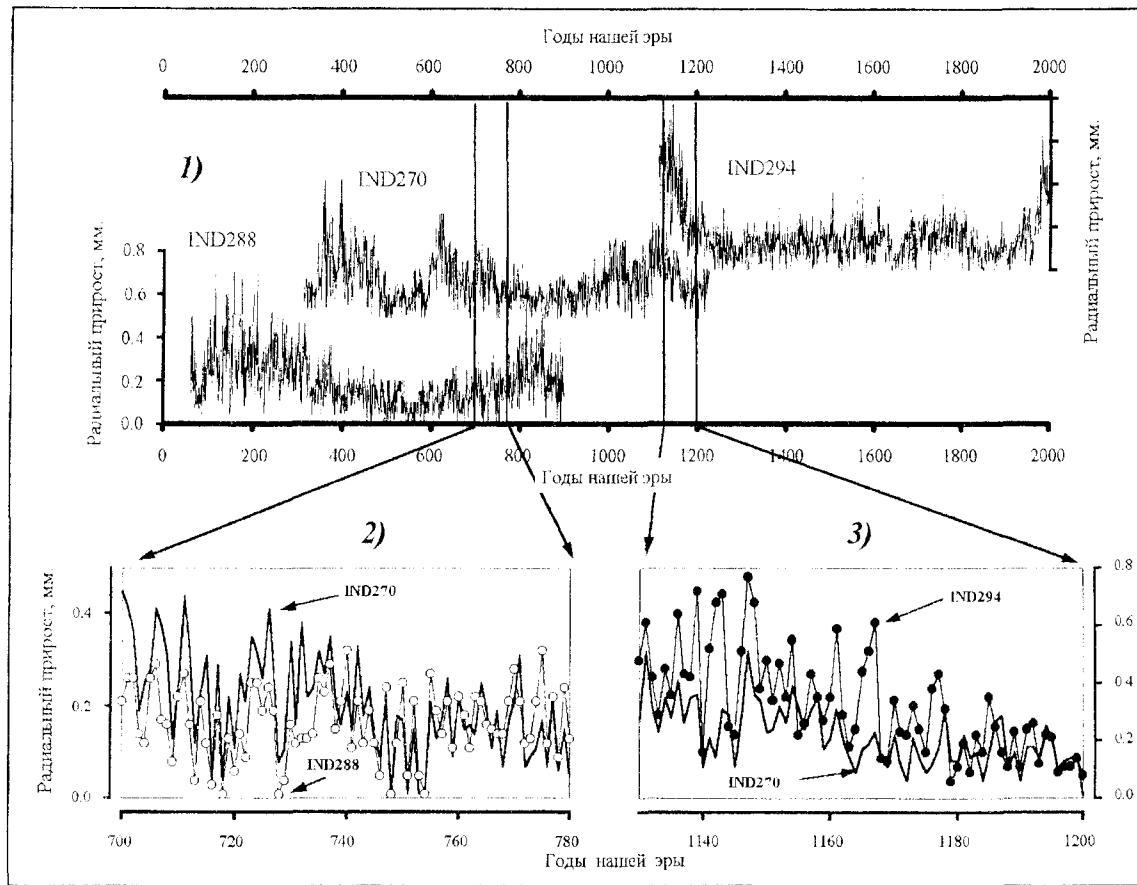


Рис.4.4. Пример перекрестной датировки трех индивидуальных серий колец лиственницы Каяндера и продления абсолютной хронологии за пределы возраста ныне живущих деревьев

При сборе образцов древесины и построении длительных хронологий важно учитывать то, что перекрестно можно датировать лишь местную древесину, которая взята с остатков деревьев, произраставших в пределах однородного климатического района. Тем не менее, размеры таких районов, где реакция древесных растений на изменчивость климатических факторов синхронна во времени, могут быть достаточно большими. Например, на северном пределе произрастания древесной растительности, где прирост определяется температурными условиями летнего периода, синхронное изменение радиального прироста древесины наблюдается на расстоянии до 600-800 км (Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996). В южных районах лесной зоны, где фактором, лимитирующим прирост деревьев, выступают осадки, размеры таких районов значительно меньше (до 100-300 км) (Андреев и др., 1999).

Занесенная из других районов древесина не может быть датирована при помощи местных хронологий. Наиболее часто такая древесина встречается по берегам рек и морей (плавник), а также в деревянных сооружениях и изделиях.

Это обстоятельство необходимо учитывать, чтобы не затрачивать значительные усилия на сбор и обработку инородного материала, если, конечно, не стоит специальная задача выявления путей поступления и транспортировки древесины в этот район.

Наиболее часто погребенная древесина встречается в аллювиальных, озерных, морских и торфяных отложениях голоценового возраста. Она еще сохранила основные физико-химические и анатомические характеристики, характерные для современной древесины, поэтому ее называют полуископаемой. Найденная в торфяных и озерных отложениях древесина обычно является местной, погребенная же в морских и речных отложениях древесина часто бывает инородной, принесенной текущими водами с территорий, удаленных от места ее захоронения на многие сотни и даже тысячи километров. При использовании древесины из аллювиальных отложений наиболее перспективны бассейны мелких и средних рек, куда занос древесины из удаленных районов исключен иливеден к минимуму. В некоторых районах погребенная древесина встречается в большом количестве, что позволяет строить древесно-кольцевые хронологии длительностью до 10-12 тыс. лет.

К настоящему времени построено несколько абсолютных непрерывных древесно-кольцевых хронологий длительностью от 5-7 до 10-12 тыс. лет. Первая длительная хронология (8700 лет) была построена по сосне остистой, произрастающей на верхней границе леса в горах Юго-Запада США. Она основана на использовании очень старых живых сосен, достигающих возраста 3500-4900 лет, а также сухостоя и валежа, который в условиях сухости воздуха и почвы, а также отсутствия пожаров сохраняется многие тысячи лет. Всего на Юго-Западе США построено около десятка хронологий длительностью более 3 тыс. лет, для которых кроме сосны остистой использовалась *Pinus balfouriana* и секвойядендрон. Имеются несколько длительных хронологий для Южного полушария (о. Тасмания и западная часть Южной Америки). Большое количество хорошо сохранившихся стволов древней древесины дуба встречается в торфяных и аллювиальных отложениях Западной Европы. На основе использования этой древесины построены длительные хронологии, самая длинная из них - для южных районов Германии (более 9900 лет), немного короче ряды для северных районов Германии (более 9200 лет) и Северной Ирландии (более 7300 лет). Особый интерес представляют сверхдлительные хронологии для субарктических районов, поскольку они содержат сильный климатический сигнал. Такие абсолютные хронологии построены для севера Скандинавии по сосне обыкновенной (2165 лет), а для субарктической зоны России известны четыре хронологии по лиственнице длительностью более 1000 лет: для Полярного Урала (1250 лет), полуострова Ямал (7000 лет), полуострова Таймыр (2600 лет) и низовьев р. Индигирки (2500 лет).

Длительные древесно-кольцевые хронологии широко используются для решения различных научных и практических задач, прежде всего для реконструкции изменений условий среды и динамики лесных экосистем, абсолютной датировки исторических и археологических памятников, а также новейших геологических отложений. Хронология по сосне остистой послужила основой для определения поправок в радиоуглеродные датировки из-за неодинаковой интенсивности образования радиоактивного углерода в атмосфере земли в различные интервалы времени. Точность радиоуглеродных датировок

значительно возросла в результате внесения таких поправок. Особое значение длительные хронологии имеют для датировки экстремальных природных событий в далеком прошлом, в частности таких, как крупные вулканические извержения.

4.4. Выявление патологических структур в древесине

Изучению повторяемости и интенсивности катастрофических факторов и их влияния на развитие отдельных видов растений, их сообществ и экосистем, а также пространственно-временной изменчивости условий внешней среды уделяется в настоящее время большое внимание. Помощь в датировке и реконструкции экстремальных и катастрофических событий за длительные интервалы времени оказывает изучение таких патологий в строении древесины, как морозобойные, светлые, частично выпадающие и ложные слои прироста, ложная заболонь, реактивная и раневая древесина, патологические смоляные ходы и др., которые образуются в результате кратковременного или долговременного воздействия экстремальных для роста и развития деревьев факторов, большей частью климатических.

Если в течение вегетационного периода происходит длительное ухудшение погодных условий (засуха, понижение температуры воздуха) или обедание листьев (хвои) насекомыми, то может сформироваться одно или несколько **ложных колец или потемнений**, которые представляют собой слои более мелких, более толстостенных и темноокрашенных клеток в пределах годичного кольца. Ложное кольцо отличается от истинного отсутствием резкой границы между слоями поздней и ранней древесины, а также тем, что оно обычно прослеживается не по всей окружности годичного слоя прироста. Такое кольцо достаточно легко устанавливается при рассматривании внешних границ потемнений при 20-30-кратном увеличении (рис. 4.5). Однако у некоторых видов древесных растений, произрастающих в районах субтропиков или полупустыни, в один год может сформироваться несколько ложных колец, которые ничем не отличаются от настоящих. В таких случаях определение границ между истинными годичными приростами затруднено, а порой и невозможно.

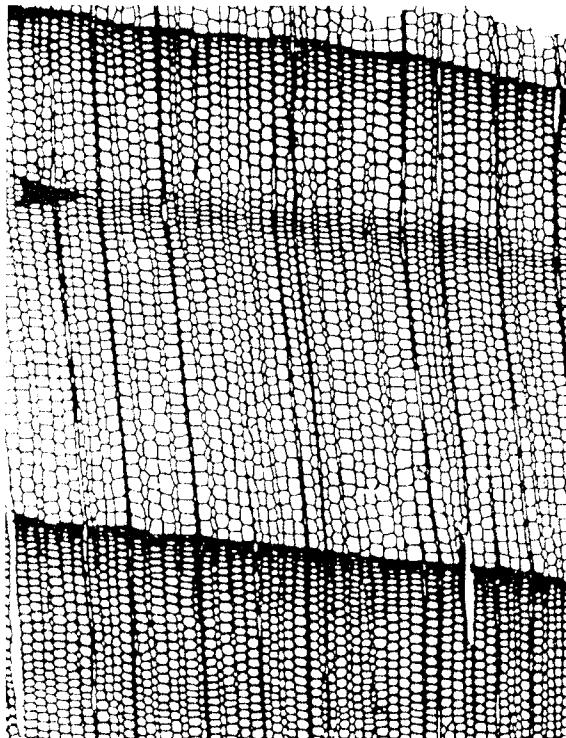


Рис. 4.5. Ложное кольцо в древесине хвойного дерева (Schweingruber, 1996)

В особо неблагоприятные вегетационные периоды на некоторых участках поверхности ствола, ветвей и корней деления клеток камбальной зоны не происходит, в результате чего новый слой древесины не откладывается. Если кольцо не просматривается лишь на некотором протяжении окружности спила, то оно называется **частично выпадающим кольцом**, а если кольцо не

просматривается по всей окружности спила, то оно называется **полностью выпадающим**.

Рис. 4.6. Выпадающие кольца в древесине хвойного (А) и лиственного (Б) дерева (Schweingruber, 1996)

Наиболее часто кольца выпадают в основании ствала, корнях и нижних ветвях, а также у старых и угнетенных деревьев. Иногда полностью выпадает несколько последовательных колец на отдельных радиальных направлениях. Выявление одиночных выпадающих колец и определение их местоположения в индивидуальной серии колец особых проблем не вызывает, если в распоряжении исследователя имеются образцы древесины с некоторого числа (обычно не менее 7-10 шт.) модельных деревьев.

Из часто встречающихся патологий в анатомическом строении годичных слоев прироста следует отметить формирование **эксцентричных слоев прироста**, характерной особенностью которых является сильная изменчивость ширины кольца, а часто и неоднородность в анатомических и физико-механических свойствах древесины по окружности ствола и ветви. У хвойных видов на креневой (сжимаемой) стороне ствола и нижней стороне ветви, а у лиственных видов (за исключением самшита) – на тяговой (растягиваемой) стороне ствола и верхней стороне ветви формируется **реактивная древесина**, состоящая из сильно лигнифицированных округлых клеток, имеющих более темную окраску. В пределах полусферы ствола и ветви, где развивается реактивная древесина, годичное кольцо имеет значительно большую ширину по сравнению с кольцом на противоположной стороне ствола и ветви. Эксцентричные кольца и реактивная древесина обычно формируются в ветвях и стволов наклоненных и опущенных деревьев, а также у прямостоящих деревьев, испытывающих сильную ветровую и снеговую нагрузку.

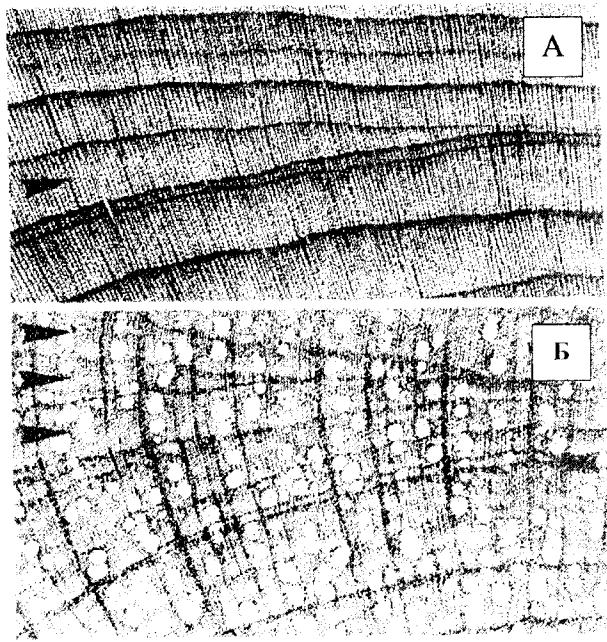
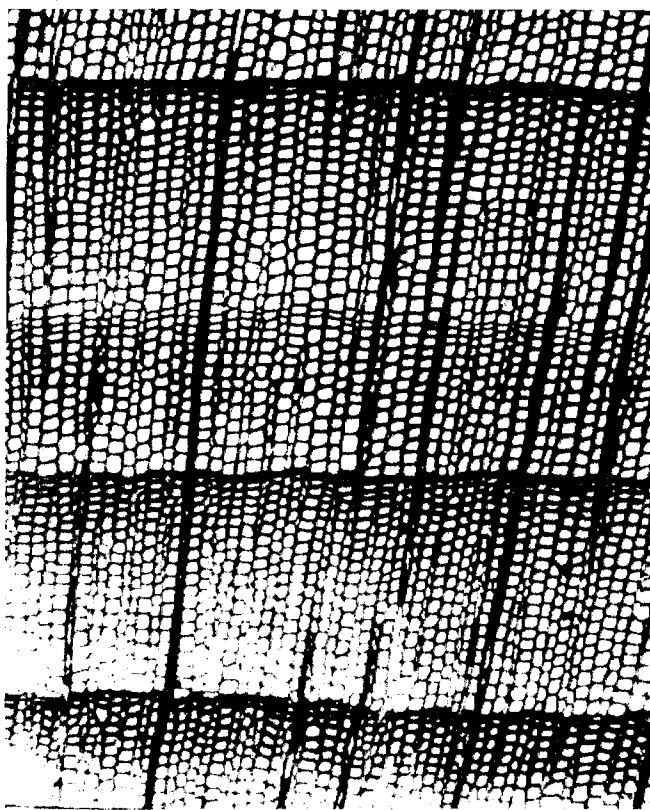


Рис. 4.7. Морозобойное кольцо 1783 года у можжевельника сибирского (Полярный Урал). Заморозок имел место в начале вегетационного периода

Нормально развитый годичный слой древесины у хвойных на поперечном срезе представляет собой совокупность радиальных рядов непрерывных последовательностей клеток. Однако такая структура иногда искажается в результате воздействия отрицательных температур, в частности поздних весенних и ранних осенних заморозков в период активного деления клеток камбия и растяжения клеток. Годичные кольца с наличием полосы поврежденных заморозком клеток называются **морозобойными** (рис. 4.7). У хвойных видов подобное повреждение обычно состоит из следующих трех зон: зоны деформированных трахеид, слоя аморфного вещества, состоящего из разрушенных клеток, и зоны ненормальных по форме и величине трахеид. Заморозки различной интенсивности могут привести у разных деревьев к образованию как типичного морозобойного кольца, так и слабовыраженного, состоящего только из одной первой зоны. Клетки камбия могут быть также повреждены сильными морозами в зимнее время. В этом случае наблюдается снижение прироста в последующие несколько лет и формирование у лиственных видов, например у дуба, **внутренней заболони**, т.е. появление в ядерной древесине более светлого, рыхлого и часто пораженного грибами слоя, включающего в себя одно или несколько годичных слоев и по внешнему виду сходного с заболонью.



В холодные вегетационные периоды и при раннем наступлении холода в конце лета клетки поздней древесины не успевают одревеснеть, в результате чего формируются **светлые кольца**, у которых слой поздней древесины состоит из тонкостенных и слабо лигнифицированных клеток и по цвету почти не отличается от слоя ранней древесины (рис. 4.8). Такие кольца чаще всего встречаются у деревьев и кустарников, которые произрастают на верхнем и полярном пределах произрастания древесной растительности.

Рис. 4.8. Светлое кольцо у можжевельника сибирского (Полярный Урал)

В древесине многих хвойных видов (представители родов *Pinus*, *Larix*, *Picea* и др.) имеются вертикальные и горизонтальные смоляные ходы, которые представляют собой длинные межклеточные каналы, окруженные секреторной тканью (паренхимой) и заполненные смолой. При различного рода повреждениях живых деревьев формируется значительно большее число смоляных ходов, имеющих часто и больший диаметр, которые называются **патологическими смоляными ходами** (рис. 4.9).

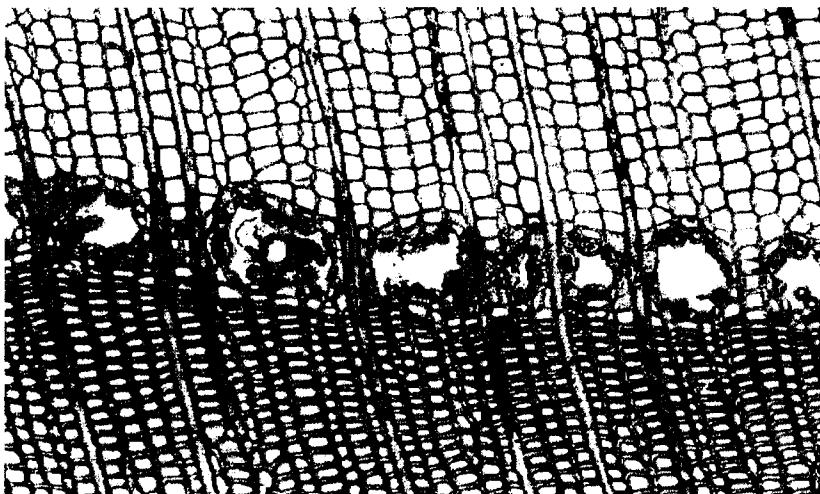


Рис. 4.9. Патологические смоляные ходы в древесине хвойного дерева
(Schweingruber, 1990)

Они образуются даже в древесине тех хвойных видов (например, у представителей рода *Abies*), у которых в норме смоляные ходы отсутствуют. Особенно

много патологических смоляных ходов возникает в непосредственной близости от механических и огневых повреждений ствола (затески, обидры, подновки, подсушиньи), где они образуют непрерывный ряд или цепочку, простирающуюся преимущественно в тангенциальном направлении. Возможной причиной формирования таких цепочек может быть также сильная ветровая нагрузка на ствол, корни и ветви в период вегетации. У ряда хвойных патологические смоляные ходы образуются в ответ на повреждение хвои и живых тканей ствола насекомыми.

4.5. Измерение характеристик годичных слоев древесины

В дендрохронологическом анализе используются различные характеристики радиального прироста древесины (размерные, плотностные, площадные).

Чаще всего применяют такие размерные характеристики, как ширина годичных колец, ширина зон ранней и поздней древесины, размеры клеток, клеточных стенок и просветов. Измерение размерных характеристик можно производить на любом увеличительном приборе (измерительной лупе, микроскопе), содержащем измерительную линейку и позволяющем увеличивать изображение до 20-60 раз. Наиболее удобны для этих целей бинокулярные микроскопы, обеспечивающие объемное видение. Недостатком микроскопов является то, что запись результатов измерений производится вручную или при помощи магнитофона, а полученные данные необходимо вводить в компьютер и переводить значения замеров из относительных величин (число делений измерительной шкалы) в абсолютные (миллиметры). Точность измерений колеблется от 0.01 до 0.05 мм.

В настоящее время для измерения количественных характеристик годичных слоев древесины широко используются специально сконструированные полуавтоматические комплексы, которые состоят из бинокулярного микроскопа,двигающегося столика, приспособления, преобразующего электронный сигнал в цифровой, прерывателя сигнала и компьютера со специальным программным обеспечением (рис. 4.10). При этом образец древесины устанавливается на столик таким образом, чтобы направление измерения (кратчайшее расстояние между границами смежных колец) совпадало с направлением движения столика. Чтобы соблюсти это условие, необходимо постоянно поворачивать образец. Особенno часто

приходится это делать при измерении центральных колец у тех буровых образцов, при взятии которых бур прошел на некотором расстоянии от сердцевинного кольца. Чтобы измерить ширину кольца, вертикальную линию на измерительной линейке окуляра микроскопа совмещают с границей кольца или горизонтальную линию оптического прицела совмещают с направлением рядов трахеид, а затем при помощи поворота рукоятки смещают столик с образцом древесины до границы следующего кольца и вводят данные замера в компьютер. На рис.4.10 показан измерительный комплекс LINTAB 3, на котором можно производить измерение характеристик прироста как на спилах, так и на буровых кернах. К этому прибору прилагается компьютерная программа TSAP 3.5, которая позволяет вводить данные измерений в компьютер, исправлять и анализировать полученные данные, представлять их в табличной и графической форме.

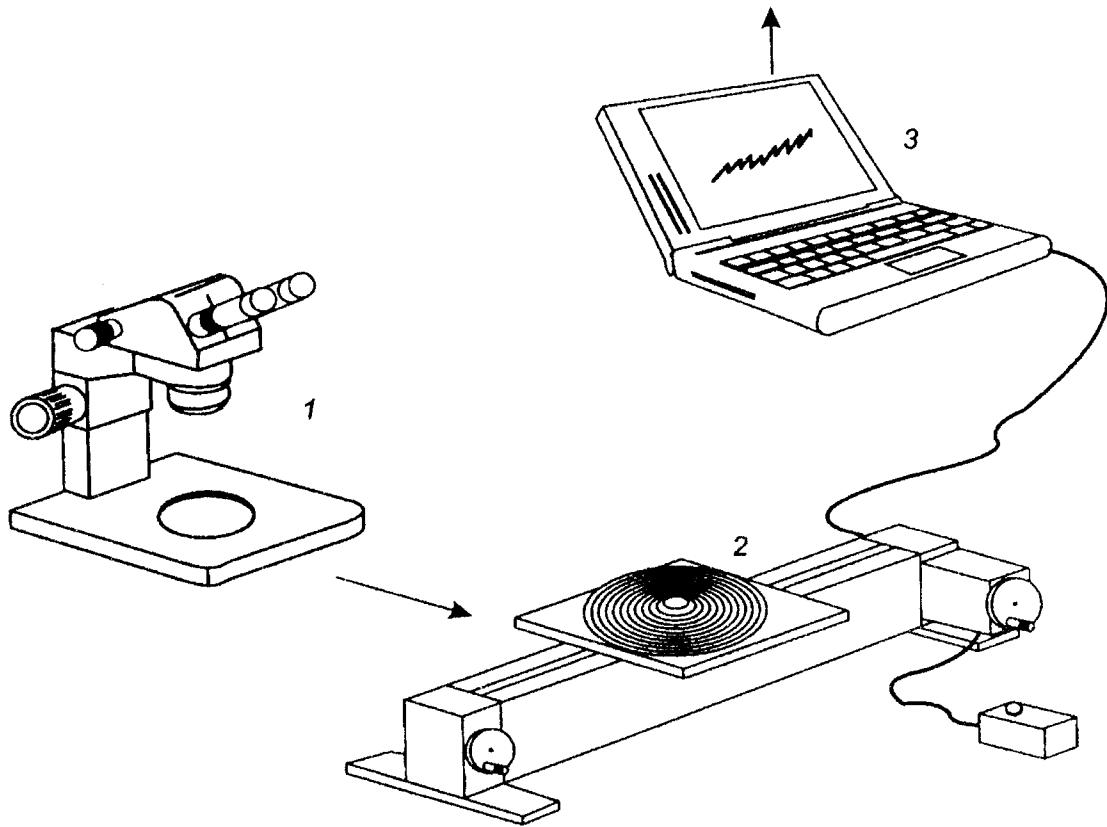


Рис. 4.10. Полуавтоматическая установка для измерения ширины годичных колец:
1 – стереомикроскоп; 2 – скамья с прецизионной подачей, обеспечивающей линейное
перемещение образца с точностью 0,01 мм; 3 – компьютер для накопления данных измерений

Предпринимаются попытки убыстрить и автоматизировать процесс измерения количественных характеристик на основе использования современной техники. В частности, если отсканировать хорошо отполированный образец, то при помощи специально разработанных программ можно за считанные секунды произвести измерение ширины колец, зон ранней и поздней древесины, размеров клеток и клеточных стенок вдоль выбранного направления. Такие приборы пока не получили широкого применения из-за необходимости

очень тщательной обработки торцевой поверхности образца. Кроме того, при сканировании мелких колец и колец, содержащих узкий слой клеток поздней древесины, плохо выявляются границы между ними.

Неоднократно предлагалось вместо ширины годичных колец использовать площадь поперечного сечения годичного слоя прироста, мотивируя это тем, что в последнем показателе слабее выражен возрастной тренд роста дерева и легче подбирать кривую при расчете индексов прироста. С этим вполне можно было бы согласиться, если бы площадь сечения слоя прироста определялась непосредственно на поперечном спиле, скажем, при помощи сканирования поверхности спила и использования соответствующих компьютерных программ. Трудности в определении фактической площади сечения возникают в связи с необходимостью столь тщательной полировки поверхности крупного образца (спила), чтобы границы годичных слоев у компьютерного изображения были четкими и без разрывов. Для образцов, содержащих узкие кольца и слабо выраженную зону поздней древесины, пока не удается получить удовлетворительного компьютерного изображения. Вычисление же площади сечения на основе радиальных замеров ширины колец и геометрических формул, как это производилось до настоящего времени, приводит к большим ошибкам в расчетах в связи с неодинаковой шириной слоев прироста по окружности ствола. При этом ошибка возрастает по мере удаления слоя от сердцевины ствола.

Разработано несколько сложных и дорогостоящих комплексов, при помощи которых можно одновременно измерить линейные, площадные и плотностные характеристики в пределах разных частей годичного слоя древесины. В настоящее время широко используются денситометры (например, "DENDRO 2003"), позволяющие определять плотность древесины и размерные характеристики радиального прироста на основе просвечивания рентгеновскими лучами тонких сухих пластинок, выпиленных из буровых кернов или спилов, и экспонирования на пленку совместно с калибровочным эталоном. Оптическая плотность рентгеновской пленки измеряется микроденситометром и математически переводится в показатели плотности древесины. Размерные характеристики определяются на графиках изменения плотности древесины. Теоретическая основа метода денситометрии состоит в том, что для стандартных по толщине образцов древесины и подобранных величин мягкого рентгеновского излучения плотность "засветки" рентгеновской пленки линейно связана с плотностью древесины (Polge, 1966). Важнейшим требованием является получение тонких поперечных пластинок древесины толщиной 1,2-2,0 мм, которое производится на специальной двухфрезерной установке. Особое значение имеет строгая перпендикулярность поверхности вышлифа к направлению волокон (трахеид) в образце древесины. Если древесина содержит большое количество смолистых веществ (например, ядровая древесина лиственницы), то для получения корректных результатов эти вещества удаляют экстракцией в спирте или смеси спирто-толуола. Остальные вещества удаляются кипячением в воде. Перед съемкой в рентгеновских лучах образцы высушиваются до воздушно-сухого состояния, чтобы уменьшить содержание в них воды до 9-10 % и тем самым исключить возможные искажения в результатах измерений. Получение снимков древесных образцов в рентгеновских лучах осуществляется в специально оборудованной комнате при значительном расстоянии источника излучения от объектов (не менее 2 м) (рис. 4.11). При таком расстоянии

образцы облучаются практически параллельным пучком (без параллакса), что обеспечивает четкость изображения границ годичных колец на снимке. Для облучения используется мягкое рентгеновское излучение, которое позволяет достичь наилучшего контраста на рентгеновском снимке между наименее и наиболее плотными участками.

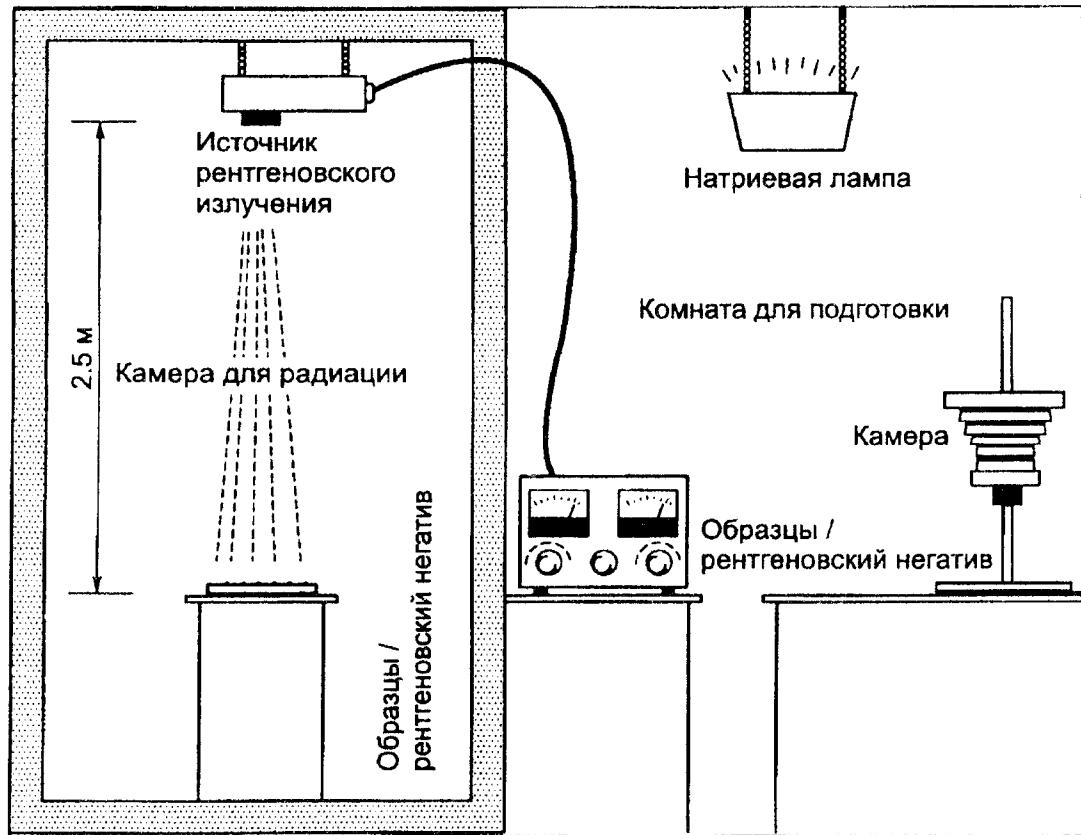


Рис. 4.11. Устройство комнат для подготовки и облучения древесных образцов мягким рентгеновским излучением (Schweingruber, 1988)

При съемке каждой серии образцов используется ступенчатый эталон, снимок которого обеспечивает градуировку почернения рентгеновского негатива в единицах плотности. Заключительный этап получения детальных профилей изменения плотности древесины в пределах каждого годичного слоя и всего древесного образца осуществляется при помощи денситометра, соединенного с компьютером для выбора направления сканирования, правильной ориентации светового зонда и автоматического считывания значений плотности. Измеренные профили плотности выводятся на экран компьютера и записываются в его память в формате, пригодном для их дальнейшей обработки и анализа. Специальные методические работы показали, что измеренная рентгенографическим способом плотность древесины хорошо совпадает с таковой, измеренной обычным гравиметрическим способом (Schweingruber, 1988). На рис. 4.12А показаны результаты измерения плотностных и размерных характеристик пяти последовательных годичных слоев древесины ели сибирской. Высокочастотные изменения, которые наиболее четко

прослеживаются в области с низкими значениями плотности (в зоне ранней древесины), связаны с неоднородностью клеточного строения древесины (клеточные стенки и просветы), а регистрирующиеся сенсоры денситометра имеют величину, сравнимую с радиальными размерами клеток. Профиль плотности внутри годичного слоя имеет как регулярные составляющие (возрастание значений плотности при переходе от ранней древесины к поздней), так и особенности для каждого года (высота подъема кривой, толщина более высокой части денситограммы и т.д.).

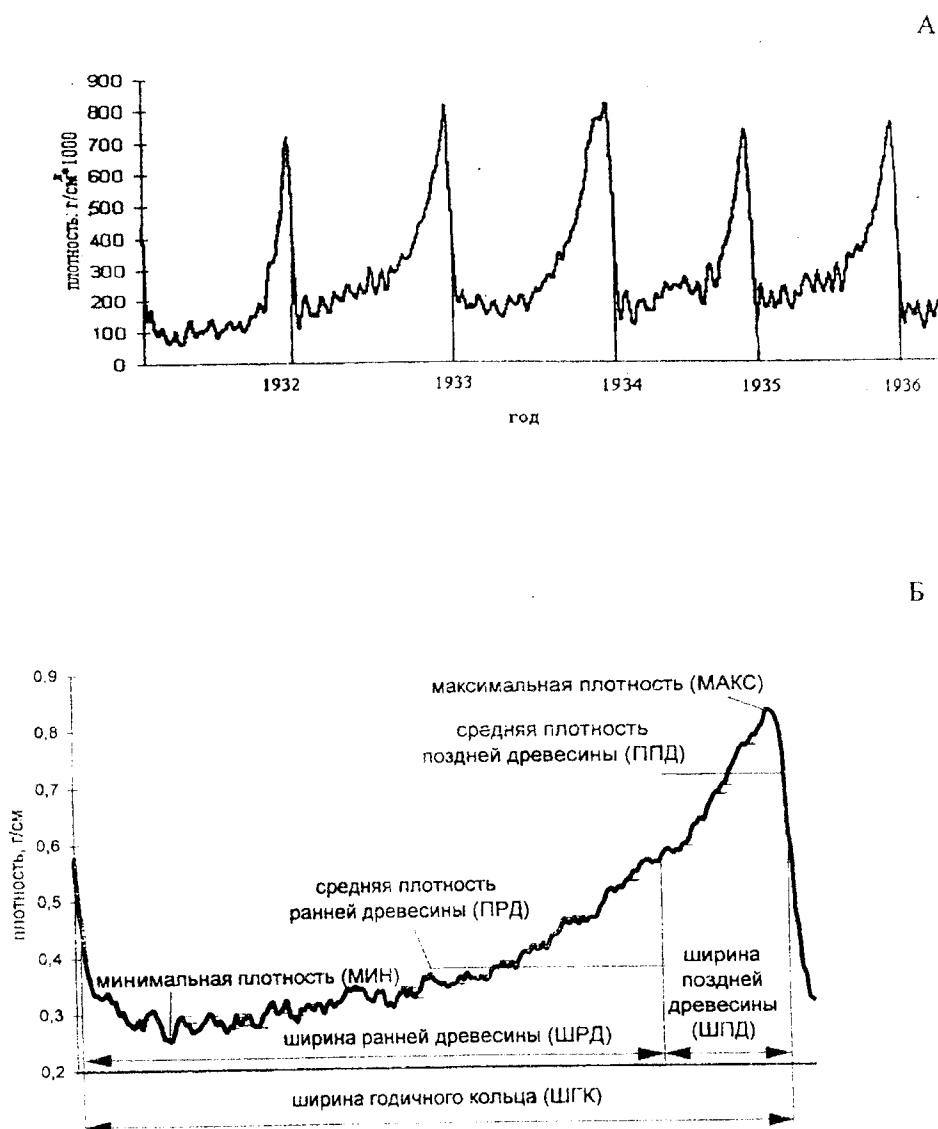


Рис. 4.12. Профили плотности годичных колец ели для пяти лет роста (А) и пример измерения количественных показателей профиля плотности (Б)

Программа работы с денситометрическими данными устроена так, что граница между зонами ранней и поздней древесины может быть получена двумя способами. По первому способу рассчитывается среднее значение между минимальной и максимальной плотностью и все значения, которые меньше этого уровня, относятся к ранней древесине, а которые выше этого уровня – к поздней древесине. По второму способу задаются пороговые значения

плотности, что позволяет в автоматическом режиме рассчитывать ширину этих зон с высокой точностью. Второй способ более приемлем при проведении дендроклиматических и дендроэкологических исследований. Таким образом, для каждого слоя определяются следующие количественные параметры: максимальная, минимальная и средняя плотность древесины, средняя плотность ранней и поздней древесины, ширина годичного кольца, ширина ранней и поздней древесины, доля поздней древесины (рис. 4.12Б). Наибольшей информативностью обладает максимальная и минимальная плотность древесины, в результате чего эти параметры наиболее часто используются для реконструкции условий среды, в частности климатических условий. Денситометрический анализ в дендрохронологии используется, как правило, при анализе древесины хвойных видов.

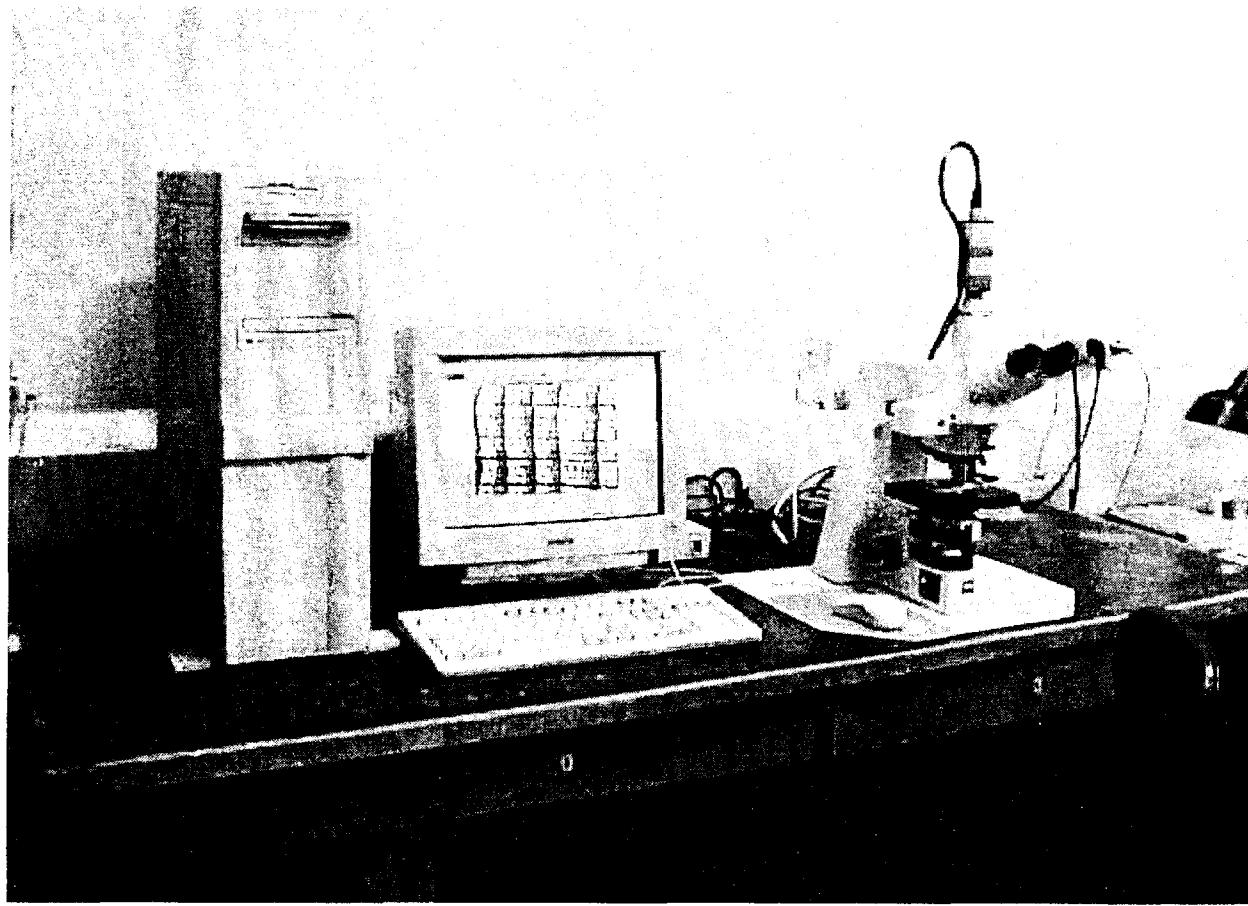


Рис. 4.13. Система для измерения различных характеристик клеточных структур годичных колец

В лаборатории дендрохронологии Института леса СО РАН для хвойных видов разработан метод построения клеточных хронологий (Vaganov, 1990; Ваганов, Шашкин, 2000), который на современном уровне реализуется с помощью системы анализа изображений (Image System). Она позволяет определять размеры и площади клеточных структур и просветов в разных частях годичного кольца в автоматическом режиме по изображению поперечного среза древесины (рис.4.13). Ряды трахеид в пределах годичного кольца представляют собой регулярные изменения размеров клеток и толщины их клеточных

стенок (рис.4.14). Их изменчивость отражает влияние внутренних и внешних факторов на рост древесных растений. Ряды трахеид в пределах одного годичного кольца, равно как и в разных годичных кольцах, содержат разное число клеток в радиальном направлении.

Поперечный срез древесины лиственницы

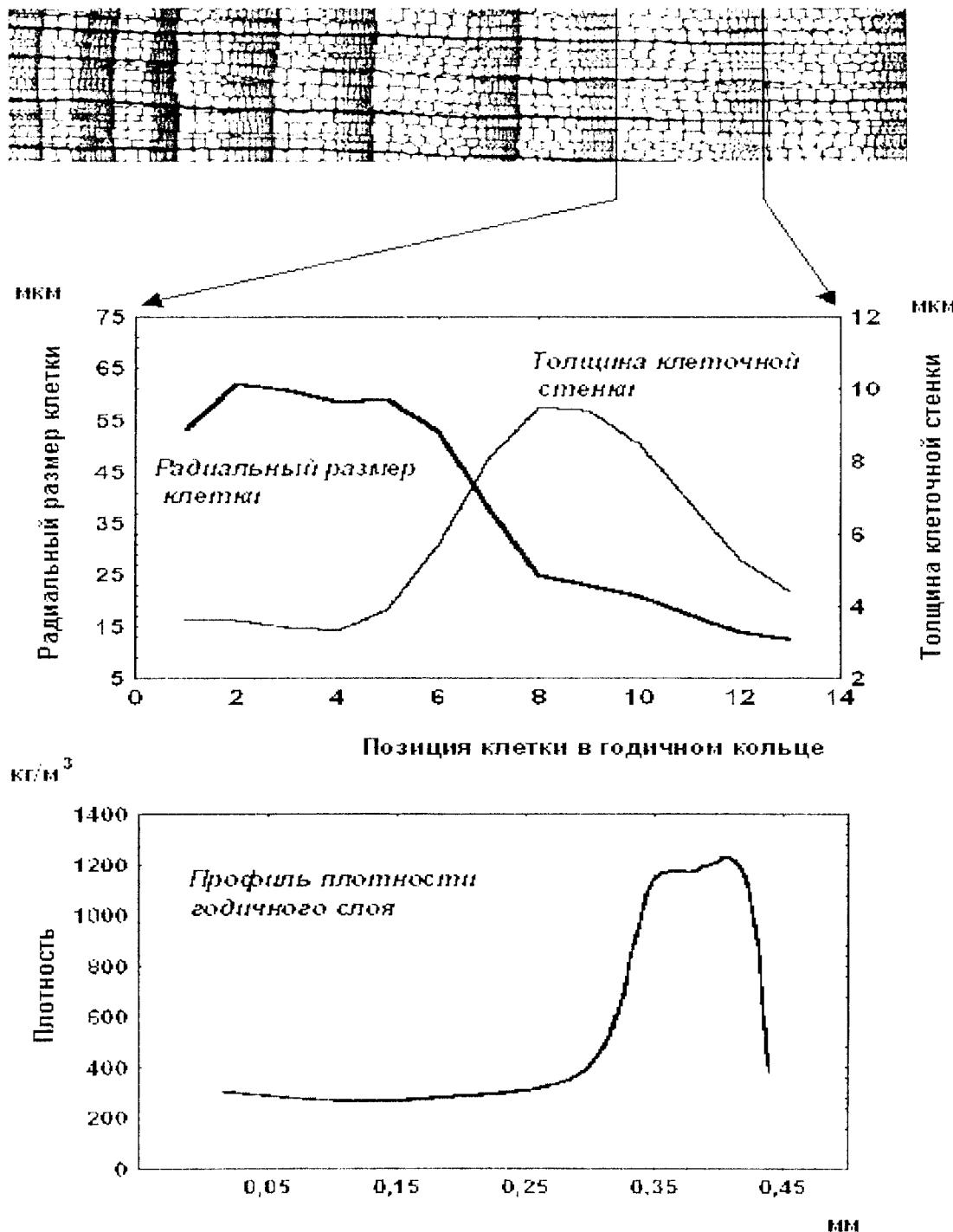


Рис.4.14. Пример изменения радиальных размеров клеток, толщины клеточной стенки и плотности древесины внутри годичного кольца лиственницы, измеренных с помощью системы анализа изображений (фотография поперечного среза древесины приведена в верхней части рисунка)

В связи с этим существует проблема сравнительного анализа особенностей клеточной структуры в годичных кольцах. Эта проблема решается нормированием числа клеток в измеренном ряде к некоторому стандартному числу (15 или 30 клеткам). Процедура нормирования производится таким образом, чтобы не исказить кривую изменчивости размеров клеток в пределах ряда клеток или внутри годичного кольца. Нормирование "сжимает" или "растягивает" исходную кривую радиальных размеров трахеид по абсциссе (числу клеток), оставляя без изменения размеров клеток (по ординате). Это достигается тем, что в измеренной последовательности D_i , где $i = 1, 2, \dots, N$ каждая клетка повторяется K раз (K – число клеток стандартной трахеидограммы), а затем в полученной новой последовательности размеры клеток для K -блоков усредняются. По нормированным кривым рассчитывается среднее значение для каждого годичного кольца по данным измерений разных рядов (как правило, по 5 рядам). Усредненные кривые используются для сравнения особенностей клеточной структуры годичных колец, содержащих разное число клеток. Для характеристики особенностей трахеидограмм используются следующие параметры клеточной структуры: размеры 4-5-й и 12-13-й клеток стандартизованных кривых как наиболее характерных для ранней и поздней древесины. На этой основе получают данные о погодических изменениях этих параметров или клеточных хронологий (рис. 4.15).

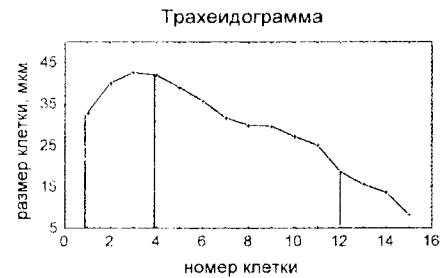
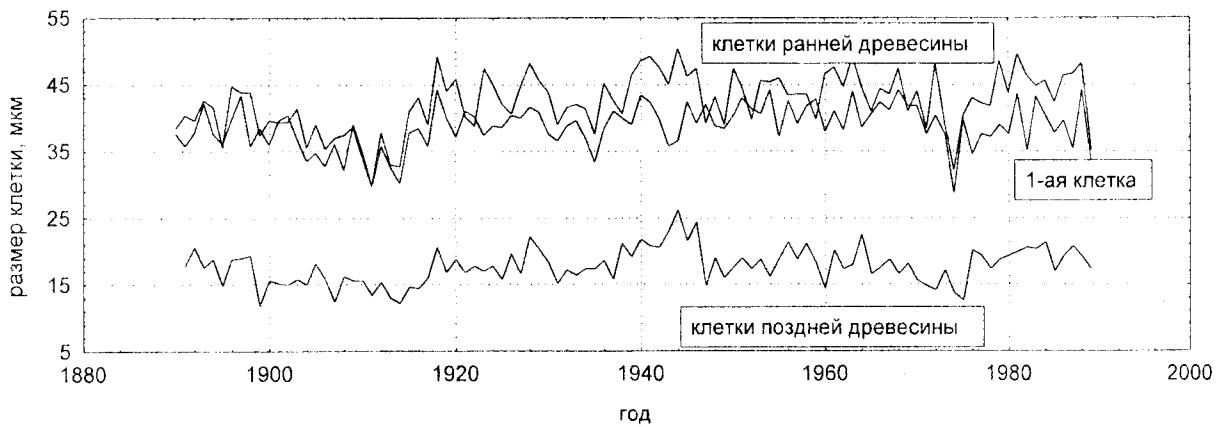


Рис. 4.15. Типичная для деревьев, произрастающих в зоне прилесовых лесов, трахеидограмма и пример клеточных хронологий



В табл. 4.1, 4.2 приведены характеристики "клеточных" хронологий в сравнении с данными для хронологий по другим параметрам годичного прироста, полученными для лиственницы, произрастающей на полярном пределе леса в Средней Сибири.

Таблица 4.1. Статистические параметры обобщенных хронологий характеристик профиля плотности годичных колец лиственницы, произрастающей на северном пределе леса

Пара-метр	Коэф. кор. со средней	Средн. значение параметра	Средн. коэф. вариации, %	Средн. коэф. чувств.	Коэф. вариации, %	Коэф. чувств.	Автокор. 1-го порядка
ПРД	0,529	0,37г/см ³	10	0,072	6	0,052	0,26
ППД	0,840	0,68г/см ³	15	0,160	13	0,142	0,06
МИН	0,390	0,31г/см ³	12	0,085	7	0,063	0,18
МАКС	0,843	0,77г/см ³	16	0,162	13	0,144	0,09
ШРД	0,781	0,32 мм	58	0,485	45	0,498	-0,08
ШПД	0,648	0,14 мм	64	0,441	40	0,452	-0,13
ШГК	0,797	0,46 мм	55	0,429	38	0,430	-0,01

ПРД – плотность ранней древесины годичного кольца, ППД – плотность поздней древесины, МИН – минимальная плотность, МАКС – максимальная плотность, ШРД – ширина ранней древесины годичного кольца, ШПД – ширина поздней древесины, ШГК – ширина годичного кольца

Таблица 4.2. Статистические характеристики клеточных хронологий лиственницы

Зона кольца	Средний размер клетки, мкм	Средне-квадратичное отклонение	Коэф. вариации, %	Коэф. чувств.	Асимметрия	Эксцесс
Клетки ранней древесины	42,5	4,31	10,1	0,107	-0,486	-0,058
Клетки поздней древесины	17,8	2,70	15,1	0,176	0,206	0,230

Важным разделом работ является оценка качества измерений и устранение ошибок измерений, допущенных как человеком, так и сбоями в измерительной системе прибора (наличие люфта при передвижении столика, сбои в переводе электронного сигнала в цифровой и др.). Для надежного выявления ошибок измерений необходимо, чтобы оно было проведено двумя независимыми операторами. Сравнение этих измерений позволяет выявить существенные различия в характеристиках отдельных колец, выяснить причину расхождений и внести соответствующие поправки. Однако повторное измерение не всегда осуществимо и, как правило, не проводится. Грубые ошибки измерений (например, необычно широкое или узкое кольцо у одной из сравниваемых серий колец) обычно обнаружаются при глазомерном сравнении графиков изменчивости показателей прироста между индивидуальными хронологиями. Для выявления менее значительных ошибок измерений используется следующая процедура. На образце древесины под бинокулярным микроскопом просматривается изменчивость прироста от года к году, которая сравнивается с изменчивостью прироста, изображенной на графике для этого же образца. При

этом особое внимание обращается на относительные различия в размерах соседних колец. Если на каком-то отрезке хронологии синхронность между фактическими и измеренными величинами прироста нарушается, то производятся контрольные замеры их ширины и вносятся соответствующие поправки в измеренные ранее значения. Наибольшее число поправок вносится в отрезки хронологий, которые представлены узкими кольцами. На таких отрезках относительные различия в приросте столь незначительны, что соизмеримы с разрешающей способностью прибора. Довольно часто производится повторное измерение колец одного и того же десятилетия. Такая ошибка легко устраняется при сравнении фактических приростов с их графическим изображением. После проведения работы по устранению ошибок измерений синхронность между сравниваемыми индивидуальными хронологиями повышается, а значит, облегчается перекрестная датировка и улучшается качество получаемых обобщенных хронологий.

4.6. Определение химического и изотопного состава древесины

A. Определение элементного состава древесины

В связи с ростом антропогенного воздействия часто возникает необходимость восстановить историю загрязнения территорий с разным пространственным масштабом. В этом может помочь анализ элементного состава годичных колец деревьев. Как правило, для этих целей используют содержание потенциально токсичных металлов (алюминий и тяжелые металлы). Подготовка образцов для такого анализа и сам анализ более трудоемкие и дорогостоящие, чем для других рассмотренных выше характеристик годичных колец. Однако с его помощью можно получить информацию, которую невозможно извлечь, используя описанные измерения. Процесс подготовки образцов зависит от метода, которым предполагается анализировать содержание элементов. Для этого, как правило, сначала необходимо расщепить образец на отдельные предварительно сдатированные кольца (или группы по 5-10 колец). Затем, опять же в зависимости от метода анализа, проводят озоление - сухое (в муфельной печи) или мокрое (в смеси кислот). Для определения металлов используются различные методы, чаще всего атомно-абсорбционная спектроскопия (AAS), эмиссионный спектральный анализ с индуктивно связанной плазмой (ICP), нейтронно-активационный анализ (NAA), рентгенофлуоресцентная спектрометрия, индуцированная протонами рентгеновская эмиссия (PIXE) и другие. Однако, как и в случае использования ширины годичного кольца, нельзя использовать первичные данные по распределению элементов в годичных колцах, поскольку это распределение отражает не только изменения в окружающей среде, но и физиологические особенности различных участков ксилемы (Cutter, Guyette, 1993; Хантемиров, 1996). Например, в заболони происходят активные процессы, связанные с переносом минеральных веществ, что, как правило, отражается в повышенной концентрации токсичных металлов. Некоторые элементы скапливаются на границе заболонной и ядерной древесины, что связано с процессами образования в этой зоне ядерных веществ (рис. 4.16). Из сказанного ясно, что не все виды деревьев и не все металлы одинаково пригодны для такого рода реконструкций. Поэтому, наряду с отбором районов и местообитаний, следует особое внимание уделить подбору вида

дерева и анализируемых элементов. Подходящими являются долгоживущие и с широкой экологической амплитудой виды древесных растений, которые имеют небольшое число колец в заболони, низкую влажность и низкую проводимость в ядровой древесине. Наиболее надежные реконструкции содержания химических

элементов можно получить, используя элементы с низкой подвижностью в ксилеме, такие как медь, свинец, алюминий, кадмий. Кроме того, для снижения возможных помех желательно отбирать образцы в сезон низкой физиологической активности дерева, лучше зимой. Даже при учете всех этих требований бывает необходимо вводить поправки. Отметим, что к настоящему времени слабо разработаны методики, которые позволяли бы избавиться от влияния внутренних процессов в ксилеме на распределение химических элементов в годичных кольцах деревьев.

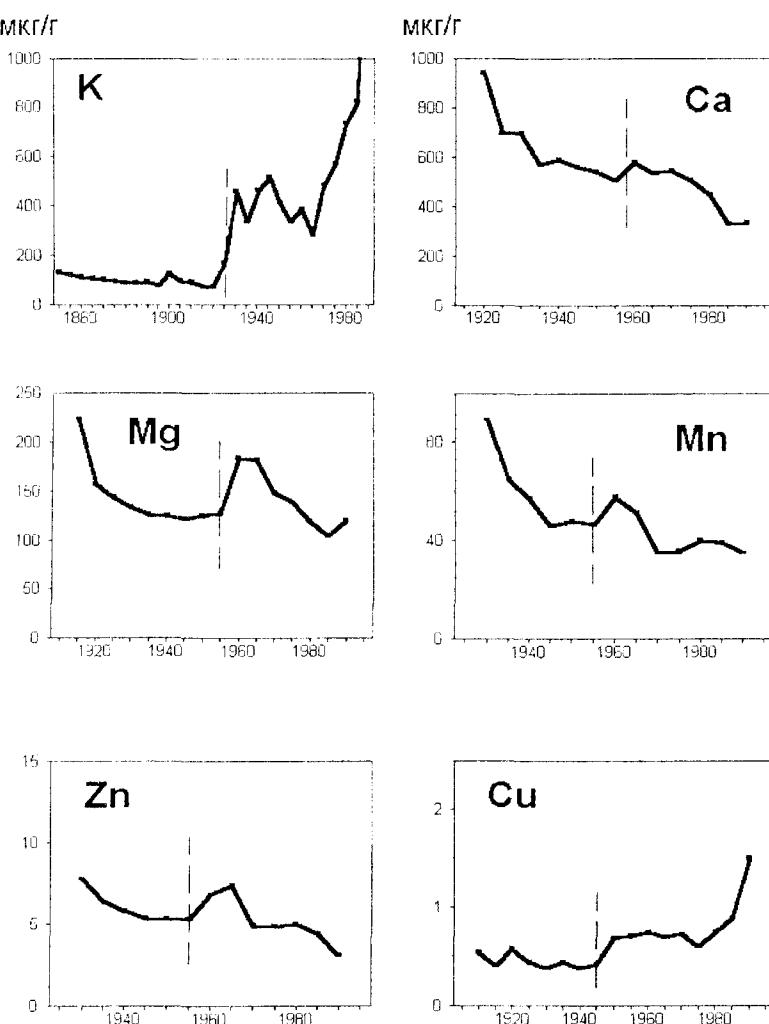


Рис. 4.16. Типичные примеры распределения химических элементов в слоях прироста сосны обыкновенной (вертикальной линией отмечена граница заболонной и ядровой древесины)

В. Определение изотопного состава годичных слоев древесины

Стабильные изотопы

Наибольший интерес из стабильных изотопов в годичных кольцах представляют те, которые входят в состав клеточных стенок. Это ^{13}C , ^2H и ^{18}O (Switsur, Waterhouse, 1998). Их определение, после многоступенчатой процедуры расщепления сдатированных слоев прироста по отдельным годам и выделения чистой целлюлозы, проводят с помощью масс-спектрометров. Полученные результаты выражают не в абсолютных значениях, а в виде отношения к некоему стандарту. В случае водорода и кислорода это “стандартная средняя океанической воды”, а для углерода - ископаемый карбонат Pee Dee Belemnite (PDB). Например, изотопные данные приводятся в виде, отражающем

соотношение их в пробе растительного материала, $R_p = (^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2)_p$, по отношению к стандарту, $R_{ref} = (^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2)_{ref}$ и выражаются в ‰: $\delta^{13}\text{C}_p = (R_p - R_{ref})/R_{ref} \times 10^3$

^2H (или дейтерий), точнее показатель $\delta^2\text{H}$ (или δD), содержит информацию о температуре воздуха. При высокой температуре соотношение дейтерия к водороду в испаряющейся воде (а значит, и в осадках) выше. Однако практика показала, что при анализе δD в годичных кольцах результаты не всегда оказываются однозначными.

$\delta^{18}\text{O}$ в годичных кольцах, как считается, содержит информацию о средних годовых температурах воздуха. Но поскольку использование вышеупомянутых изотопов не выявило пока преимущества перед традиционными и более дешевыми методами, их использование не получило широкого распространения.

Работы по изучению $\delta^{13}\text{C}$ в годичных кольцах представлены шире. Несмотря на некоторые слабые места в изучении механизмов поступления $\delta^{13}\text{C}$ в состав целлюлозы клеточных стенок (Francey, Farquhar, 1982), получены хорошие связи этого показателя с климатическими и гидрологическими факторами среды. В некоторых районах $\delta^{13}\text{C}$ является самым информативным показателем, поэтому число подобных работ увеличивается.

Радиоактивные изотопы

Среди радиоактивных изотопов наибольшую пользу принесло изучение содержания ^{14}C в годичных кольцах деревьев. Этот изотоп, как известно, широко используется для датировки органического материала возрастом до 40 тыс. лет. С помощью годичных колец сосны остистой была проведена калибровка радиоуглеродных дат. Оказалось, что содержание ^{14}C в атмосфере Земли за последние 9700 лет менялось в довольно широких пределах, в то время как при радиоуглеродных датировках исходили из предположения, что содержание ^{14}C в атмосфере постоянно (рис. 4.17). Как выяснилось, из-за этого ошибки в определении дат доходила до 1000 лет (в сторону омоложения). К настоящему времени с помощью данных о содержании ^{14}C в годичных кольцах удалось провести реконструкцию изменения магнитного поля Земли, солнечной активности, глобального влияния взрывов водородных бомб на изотопный состав атмосферы, темпов сжигания ископаемого топлива.

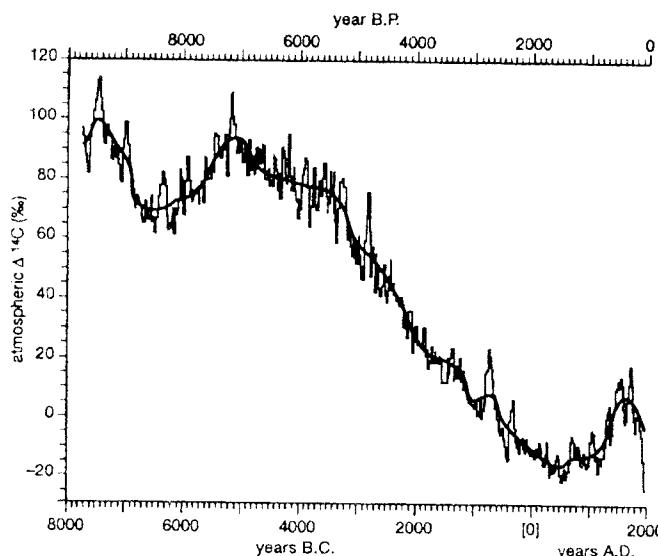


Рис. 4.17. Изменение содержания радиоактивного ^{14}C в атмосфере за последние 9700 лет, определенное по годичным слоям древесины (Stuiver, Braziunas, 1989)

Определение соотношения $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ может проводиться двумя методами. Первый из них заключается в подсчете числа распадов в единицу времени у образца, переведенного в газообразное состояние (CO_2 , метан или бензол). Чем меньше распадов, тем старее образец.

Второй метод подразумевает использование масс-спектрометра для подсчета относительного числа атомов каждого изотопа. Этим методом можно определить концентрацию радиоактивного углерода в навеске, содержащей менее одного миллиграмма чистого углерода.

Среди прочих радиоактивных элементов большое значение в качестве потенциально опасных для живых организмов являются ^{90}Sr и ^{137}Cs . Для их определения предварительно расщепленные на отдельные кольца образцы озоляют сухим методом. Затем, при определении ^{90}Sr , радиохимическим методом выделяют изотоп и подсчитывают число импульсов (β -распад) на единицу времени. Определение ^{137}Cs проводят методом гамма-спектрометрии. Закономерности распределения этих изотопов в древесине и ограничения для применения при реконструкции уровня радиоактивности в прошлом те же, что были рассмотрены в разделе об использовании химических элементов в годичных кольцах. Согласно этим ограничениям, ^{137}Cs не может быть использован в таких исследованиях, поскольку обладает очень низкой силой связи с клеточными стенками трахеид и сосудов. ^{90}Sr же в подобного рода исследованиях используется довольно широко. Единственное отличие в данном случае от реконструкций на основе стабильных изотопов металлов заключается в необходимости вводить поправку на радиоактивный распад элемента.

ГЛАВА 5

БАНКИ ДАННЫХ, ФОРМАТЫ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Огромный массив дендрохронологической информации, накопленный до начала массового использования персональных компьютеров, в настоящее время интенсивно переводится в электронную форму. Кроме того, ежегодно накапливается большой объем измерений характеристик годичных слоев древесины в электронном виде, полученный при помощи современных измерительных комплексов. Вся эта информация должна надлежащим образом записываться и храниться в банках данных, быть легко доступной и, в случае необходимости, быть заново проанализированной другими исследователями.

Каждый исследователь, получающий или использующий древеснокольцевую информацию, создает свою базу данных, которая хранится в распечатанном виде в папках и на различного рода магнитных и оптических носителях. Такую информацию желательно хранить на разных носителях, чтобы исключить ее потерю в результате сбоев в работе компьютера (например, в результате внедрения вирусов или выхода из строя твердого диска). Одним из наиболее надежных способов является ее хранение для каждой обобщенной хронологии в специальной папке. В этой папке можно хранить не только исходные данные, но и данные анализов в виде распечаток, таблиц, графиков, описаний участка и модельных деревьев, фотографий, рентгеновских снимков и т.д. Более того, если образцы древесины занимают небольшой объем (например, буровые керны), то их можно хранить в этой же папке, что облегчает поиск всей необходимой для данной хронологии информации.

Кодировка и формат хранения информации зависит от аппаратных средств, использующихся исследователем, и программных продуктов обработки данных. В качестве аппаратных средств в подавляющем большинстве случаев используется персональный компьютер типа IBM или Macintosh. Совместимость форматов этих систем достигается наличием специальных конвертеров и не представляет большого труда. Разнообразие программных средств намного шире. Их использование зависит от задач исследования. Это могут быть статистическая обработка первичных данных замеров характеристик прироста и получение надежных обобщенных хронологий, сопоставление характеристик прироста с факторами внешней среды, моделирование процессов роста, изучение пространственного распределения характеристик прироста и визуализация результатов анализа.

Для решения этих задач одни исследователи предпочитают использовать широко распространенные статистические пакеты (SAS, MatLab, SyStat, STATISTICA и пр.), различного рода электронные таблицы (QUATTRO, LOTUS, Excel и пр.) и геоинформационные системы (ESRI ARC/INFO, ArcView, Mapinfo, AutoCAD Map и пр.) с форматами различных баз данных (Microsoft Access, Oracle, dBASE, FoxPro и пр.). Другие исследователи работают со специализированными программами, созданными дендрохронологами (ITRDBLIB, DPL, TSAP и пр.). В любом случае исследователю приходится

преобразовывать форматы. У одних программных продуктов осуществляется внутренняя поддержка различных форматов данных, у других эта поддержка достигается при помощи специальных программ. Кроме этого, независимо от формата, необходимо иметь удобную структуру данных. Применение процедур оперирования с массивами данных требует определенного навыка в работе с персональным компьютером.

В конце 1970-х годов с целью сбора и хранения древесно-кольцевой информации создан Международный банк данных древесных колец - МБДДК (International Tree-Ring Data Bank - ITRDB). Руководством этого банка разработаны требования к представлению не только древесно-кольцевой информации, но также сведения об участке сбора образцов древесины, модельных деревьях, характере полученной информации и персоналиях, ответственных за сбор, измерение и получение древесно-кольцевой хронологии (табл. 5.1).

Для внесения данных в МБДДК должны быть выполнены следующие требования: 1) принимаются данные абсолютных измерений для каждого радиуса, которые должны быть перекрестно и абсолютно датированы; 2) для каждого местообитания должны быть данные не менее чем с 10 деревьев, а длительность хронологий не менее чем 100 лет; 3) желательно передать стандартизированную обобщенную хронологию, если она построена. При этом вкладчик банка указывает, требуется ли его согласие на использование этой хронологии другими лицами.

Для представления данных по приросту в электронной форме в МБДДК используется ASCII кодировка и так называемый тусоновский формат (Laboratory of Tree-Ring Research, Tucson, Arizona), фрагмент образца которых показан в табл. 5.2. Этот же формат используется для обработки и анализа рядов прироста в программе DPL, который может быть легко преобразован в другой формат при работе с другими специализированными программными пакетами. Каждое радиальное направление образца имеет свой шестизначный код (первая колонка табл. 5.2). На эту колонку выделяется 8 позиций. Первые три символа обозначают код местообитания, присваиваемый исследуемой хронологией. Ими могут быть буквы, цифры и их сочетания. В приведенном примере это CHN. Четвертый и пятый символы – цифры, которые обозначают номер модельного дерева. В табл. 5.2 приведены фрагменты данных по ширине годичных колец для двух деревьев (номера: 01 и 02). Последняя цифра – номер радиуса (1 – первый радиус, 2 – второй радиус, 3 – третий радиус и т.д.). В табл. 5.2 приведены данные для радиуса 1.

Таблица 5.1. Сведения об участке сбора образцов древесины, модельных деревьях, характере полученной информации и персоналиях, ответственных за сбор, измерение и получение древесно-кольцевой хронологии

Site Information Sheet
INTERNATIONAL TREE-RING DATA BANK
Laboratory of Tree-Ring Research
University of Arizona
Tucson, Arizona 85721, USA

DO NOT WRITE HERE:
Data Classification:
ITRDB only
Permission only
ITRDB No.: DB

БАНКИ ДАННЫХ, ФОРМАТЫ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

<i>Site name</i>				Date collected	/	/
<i>Species name</i>	Common			Scientific		
<i>Location</i>	Genus/Species code			State/Province		
	Country					
	Country or other					
	Latitude (deg)	(min)	(sec)	N or S (circle)		
	Longitude (deg)	(min)	(sec)	N or S (circle)		
	Elevation	feet or		Meters		
<i>Sample</i>	Source of collection (check all applicable):			Living trees		
	Remnants	Archaeol/Historical			Other	
	<i>Number</i>	Total sample	Total trees measured			
		Total radii measured				
	Types of measurement:			Total ring width (AA)		
	Earlywood width (AB)			Latewood width (AC)		
	Minimum density (BD)			Maximum density (BE)		
	Other (specify)					
	Unit of measurement:			100 th mm	Other	
	Site ID	X X X				
	Date RWLIST run			/	/	
<i>Personal</i>	Collector:			Name and Institution		
	Dater:			Name and Institution		
	Measurer:			Name and Institution		
	Principal investigator:			Name and Institution		
<i>Submittor's classification of data</i>				1) Available to all Data Bank users.		
				2) Available by permission of submitter only		

I acknowledge that all materials within the site do cross-date and that actual measurements have been submitted*

Signature of submitter *Date*

*Averaged indices of the final chronologies are requested but cannot be accepted without the original dated ring width measurements.

Таблица 5.2. Пример представления данных по ширине годичных колец в МБДДК

CHN011	1631	22	15	1	14	13	6	10	13		
CHN011	1640	13	14		7	10	4	15	13	2	10
<hr/>											
CHN011	1980	5	13	1	19	5	12	23	21	1	13
CHN011	1990	21	13	99							
CHN021	1694	67	20	3	57	11	18				
CHN021	1700	14	16	1	36	42	32	30	43	3	24
<hr/>											

CHN021	1980	1	7	8	4	3	9	18	14	8	4
CHN021	1990	9	6	999							

Вторая колонка данных обозначает календарную дату десятилетия, для которого приведены данные по приросту в последующих колонках. На эту колонку выделяется 4 позиции. В последующие 10 колонок заносятся данные о приросте (ширина годичного кольца, ширина ранней и поздней древесины; минимальная или максимальная плотность древесины годичного слоя). Единицами измерения для линейных размерных характеристик являются сотые доли миллиметра, а для характеристик плотности – г/см³. На каждую из этих колонок отводится 6 позиций. Значение о приросте последнего года для каждого образца заканчивается 999.

Детальная характеристика структуры данных в файле приведена для примера. Создавать такой файл вручную при помощи редактора не нужно. Существуют специальные программы (ITRDBLIB, DPL), создающие этот формат из первичных данных при измерении характеристик прироста.

В МБДДК обязательно должны представляться абсолютные величины прироста для каждого измеренного радиуса. Если для хронологии уже рассчитаны индексы прироста и получена обобщенная хронология и на ее основе произведена реконструкция какой-либо климатической характеристики, то такие данные также можно поместить в банк. Однако обобщенная хронология в банк не принимается, если не представлены первичные данные измерений для каждого радиуса. Образец фрагмента структуры данных стандартизированной обобщенной хронологии приведен в табл. 5.3. В заголовке указываются следующие базовые сведения о хронологии: место сбора образцов и вид древесного растения в кодах (первая строка); страна, латинское название вида, высота над уровнем моря, координаты участка (широта и долгота), протяженность хронологии в календарных годах (вторая строка); имя автора – вкладчика в банк данных (третья строка). Далее записывается информация о календарных годах, индексах прироста обобщенной хронологии и количестве использованных модельных деревьев. В последней строке файла данных указывается продолжительность хронологии, автокорреляция первого порядка, стандартное отклонение, коэффициент чувствительности, среднее значение, квадрат суммы и сумма квадратов индексов прироста.

Таблица 5.3. Фрагмент данных стандартизированной обобщенной хронологии

CHNLCO	1	THE LOWER YGANNYA RIVER, NORTH-EAST OF SIBERIA												LACA							
CHNLCO	2	RUSSIA LARIX CAJANDERI												+7015+13810							
CHNLCO	3	STEPAN G. SHIYATOV												1540 1991							
CHNLCO	1540	880	1	1240	1	840	1	960	11120	1	510	2	620	2	1430	2	970	31550	5		
CHNLCO	1550	1524	6	1139	6	1410	6	846	61075	6	1037	6	669	6	498	6	886	6	416	6	
CHNLCO	1980	452	18	908	18	1037	18	1074	18	463	17	1042	18	1550	18	1142	18	1116	18	719	18
CHNLCO	1990	1240	18	940	17	9990	0	9990	0	9990	0	9990	0	9990	0	9990	0	9990	0	9990	0
CHNLCO	430	.32	.394	.407		1.0000						430.000		496.5962							

Как и в предыдущем случае, соответствующая структура данных такого файла создается автоматически при помощи специализированных дендрохронологических программ, упомянутых выше. Детальное описание структуры файлов данных приведено в инструкциях к этим программам. Программы можно свободно получить в одной из дендрохронологических лабораторий (например, в Екатеринбурге или Красноярске).

Видам деревянистых растений, по которым строятся хронологии, присваиваются коды. В табл. 5.3 приведены коды наиболее распространенных видов деревьев и кустарников, произрастающих на территориях стран СНГ, которые используются или могут быть использованы в дендрохронологических исследованиях.

Таблица 5.4. Двух- и четырехсимвольные коды деревьев и кустарников, произрастающих на территориях стран СНГ

Двух-символьный код	Четырехсимвольный код	Латинское название	Русское название
DB	ABSP	<i>Abies species</i>	Пихта
44	ABAL	<i>Abies alba</i> Mill.	Пихта белая
DC	ABGA	<i>Abies gracilis</i> Kom.	Пихта камчатская
DE	ABHO	<i>Abies holophylla</i> Maxim.	Пихта цельнолистная
DF	ABMY	<i>Abies mayriana</i> Miyabe et Kudo	Пихта Майра
DG	ABNE	<i>Abies nephrolepis</i> Maxim.	Пихта белокорая
DH	ABNO	<i>Abies nordmanniana</i> (Stev.) Spach	Пихта Нордманна
DI	ABSA	<i>Abies sachalinensis</i> Fr. Schm.	Пихта сахалинская
DJ	ABSE	<i>Abies semenovii</i> B. Fedtsch.	Пихта Семенова
DK	ABSI	<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	Пихта сибирская
CH	ACSP	<i>Acer species</i>	Клен
CK	ACCA	<i>Acer campestre</i> L.	Клен полевой
DL	ACGI	<i>Acer ginnala</i> Maxim.	Клен приречный
DM	ACHY	<i>Acer hyrcanum</i> Fisch. et May	Клен гирканский
DN	ACLA	<i>Acer laetum</i> C.A. May.	Клен светлый
DO	ACMA	<i>Acer manshuricum</i> Maxim.	Клен маньчжурский
DP	ACMO	<i>Acer mono</i> Maxim.	Клен мелколистный
CJ	ACPD	<i>Acer platanoides</i> L.	Клен остролистный
DQ	ACPS	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Клен ложноплатановый
DR	ACPU	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax.) Kom.	Клен ложнозибольдов
DS	ACSE	<i>Acer semenovii</i> Rgl. et Herd.	Клен Семенова
DT	ACTA	<i>Acer tataricum</i> L.	Клен татарский
DU	ACTE	<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.	Клен зеленокорый
DV	ACTR	<i>Acer trautvetteri</i> Medv.	Клен Траутфеттера
DW	ACTC	<i>Acer turcomanicum</i> Pojark.	Клен туркменский
DX	ACTU	<i>Acer turkestanicum</i> Pax	Клен туркестанский
DY	ACUK	<i>Acer ukurunduense</i> Trautv. et Mey	Клен желтый
DZ	ALSP	<i>Alnus species</i>	Ольха

EA	ALBA	<i>Alnus barbata</i> C. A. Mey.	Ольха бородатая
CS	ALGL	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Ольха черная
EB	ALHI	<i>Alnus hirsuta</i> (Spach) Turcz. ex Rupr.	Ольха пушистая
CT	ALIN	<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	Ольха серая
EC	ALKA	<i>Alnus kamtschatica</i> (Regel) Kom.	Ольха камчатская
ED	ALSI	<i>Alnus sibirica</i> (Spach) Turcz. ex Kom.	Ольха сибирская
CU	ALVI	<i>Alnus viridis</i> (Chaix) DC.	Ольха зеленая
CP	BESP	<i>Betula</i> species	Береза
EE	BECJ	<i>Betula cajanderi</i> Sukacz.	Береза Каяндра
FF	BECO	<i>Betula costata</i> Trautv.	Береза ребристая
EG	BEDA	<i>Betula dahurica</i> Pall.	Береза даурская
EH	BEER	<i>Betula ermanii</i> Cham.	Береза каменная
EI	BEEX	<i>Betula exilis</i> Sukacz.	Береза тощая
EJ	BEKR	<i>Betula krylovii</i> G. Kryl.	Береза Крылова
EK	BELA	<i>Betula lanata</i> (Regel) V. Vassil.	Береза шерстистая
EL	BELI	<i>Betula litwinowii</i> Doluch.	Береза Литвинова
EM	BEMA	<i>Betula mandshurica</i> (Regel.) Nakai	Береза маньчжурская
EN	BEME	<i>Betula medwedewii</i> Rgl.	Береза Медведева
EO	BEMI	<i>Betula middendorffii</i> Trautv. et Mey.	Береза Миддендорфа
EP	BENA	<i>Betula nana</i> L.	Береза карликовая
FQ	BEOFV	<i>Betula ovalifolia</i> Rupr.	Береза овальнолистная
CQ	BEPE	<i>Betula pendula</i> Roth.	Береза повислая
ER	BEPL	<i>Betula platyphylla</i> Sukacz.	Береза плосколистная
33	BEPU	<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	Береза пушистая
ES	BERO	<i>Betula rotundifolia</i> Spach.	Береза круглолистная
ET	BESC	<i>Betula schmidtii</i> Rgl.	Береза железная
EU	BETO	<i>Betula tortuosa</i> Ledeb.	Береза извилистая
EV	CSPSP	<i>Caprinus</i> species	Граб
CR	CPBE	<i>Carpinus betulus</i> L.	Граб обыкновенный
EW	CPCA	<i>Carpinus caucasica</i> Grossh.	Граб кавказский
EX	CPCO	<i>Carpinus cordata</i> Blume	Граб сердцелистный
EY	CPOR	<i>Carpinus orientalis</i> Mill.	Граб восточный
EZ	CIISP	<i>Chosenia</i> species	Чозения
FA	CHMA	<i>Chosenia macrolepis</i> (Turcz.) Kom.	Чозения крупночешуйная
FB	CSSP	<i>Corylus</i> species	Лещина
FC	CSAV	<i>Corylus avellana</i> L.	Лещина обыкновенная
FD	CSCO	<i>Corylus colchica</i> Albov	Лещина колхидская
FE	CSCL	<i>Corylus colurna</i> L.	Лещина древовидная
FF	CSHE	<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. ex Trautv.	Лещина разнолистная
FG	CSMA	<i>Corylus mandshurica</i> Maxim.	Лещина маньчжурская
FH	CRSP	<i>Crataegus</i> species	Боярышник
FI	CRLA	<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC	Боярышник гладкий
FJ	CRMA	<i>Crataegus maximowiczii</i> Schneid.	Боярышник Максимовича

FK	CRMO	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Боярышник однопестичный
FL	CRSA	<i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	Боярышник кроваво-красный
FM	DUSP	<i>Duschekia</i> species	Ольховник
FN	DUFR	<i>Duschekia fruticosa</i> (Rupr.) Pouzar	Ольховник кустарниковый
FO	EOSP	<i>Euonymus</i> species	Бересклет
FP	EOFU	<i>Euonymus europea</i> L.	Бересклет европейский
FQ	EOVE	<i>Euonymus verrucosa</i> Scop.	Бересклет бородавчатый
CM	FASP	<i>Fagus</i> species	Бук
FR	FAOR	<i>Fagus orientalis</i> Lipsky	Бук восточный
AC	FASY	<i>Fagus sylvatica</i> L.	Бук лесной
BZ	FRSP	<i>Fraxinus</i> species	Ясень
CA	FREX	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Ясень обыкновенный
FS	FRMA	<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	Ясень маньчжурский
FT	JGSP	<i>Juglans</i> species	Орех
FU	JGMA	<i>Juglans manshurica</i> Maxim.	Орех маньчжурский
FV	JGRE	<i>Juglans regia</i> L.	Орех грецкий
AO	JUSP	<i>Juniperus</i> species	Можжевельник
FW	JUCO	<i>Juniperus communis</i> L.	Можжевельник обыкновенный
FX	JUDA	<i>Juniperus dahurica</i> Pall.	Можжевельник даурский
FY	JUPS	<i>Juniperus pseudosabina</i> Fisch. et May.	Можжевельник ложноказацкий
FZ	JUSA	<i>Juniperus sabina</i> L.	Можжевельник казацкий
GA	JUSM	<i>Juniperus semiglobosa</i> Rgl.	Можжевельник полушаровидный
GB	JUSE	<i>Juniperus seravschanica</i> Kom.	Можжевельник зеравшанский
GC	JUSI	<i>Juniperus sibirica</i> Burgsd.	Можжевельник сибирский
AN	JUTU	<i>Juniperus turkestanica</i> Kom.	Можжевельник туркестанский
AM	LASP	<i>Larix</i> species	Лиственница
LC	LACA	<i>Larix cajanderi</i> Mayr	Лиственница Каяндра
GD	LACZ	<i>Larix czekanowskii</i> Szafer	Лиственница Чекановского
GE	LADE	<i>Larix decidua</i> Mill.	Лиственница европейская
AL	LAGM	<i>Larix gmelinii</i> (Rupr.) Rupr.	Лиственница Гмелина
GF	LAKU	<i>Larix kurilensis</i> Mayr	Лиственница Курильская
GG	LALU	<i>Larix lubarskii</i> Sukacz.	Лиственница Любарского
GH	LAMA	<i>Larix maritima</i> Kom.	Лиственница приморская
GI	LAOL	<i>Larix olgensis</i> Henry	Лиственница ольгинская
AK	LASI	<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	Лиственница сибирская
GJ	MASP	<i>Malus</i> species	Яблоня
GK	MABA	<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	Яблоня сибирская
GL	MAMA	<i>Malus mandshurica</i> (Maxim.) Kom.	Яблоня маньчжурская
GM	MAOR	<i>Malus orientalis</i> (Uglitz.) Juz.	Яблоня восточная
GN	MASI	<i>Malus sieversii</i> (Ledeb.) Roem.	Яблоня Сиверса
GO	MASY	<i>Malus sylvestris</i> Mill.	Яблоня лесная
GP	PASP	<i>Padus</i> species	Черемуха
GQ	PAAS	<i>Padus asiatica</i> Kom.	Черемуха азиатская

БАНКИ ДАННЫХ, ФОРМАТЫ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

GR	PAAV	<i>Padus avium</i> Mill.	Черемуха обыкновенная
GS	PAMA	<i>Padus maackii</i> (Rupr.) Kom.	Черемуха Маака
GT	PDSP	<i>Phelodendron</i> species	Бархат
GU	PDAM	<i>Phelodendron amurense</i> Rupr.	Бархат амурский
AJ	PCSP	<i>Picea</i> species	Ель
45	PCAB	<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	Ель европейская
GV	PCAJ	<i>Picea ajanensis</i> Fisch.	Ель аянская
GW	PCGN	<i>Picea glehnii</i> Mast.	Ель Глена
PO	PCOB	<i>Picea obovata</i> Ledeb.	Ель сибирская
CY	PCOR	<i>Picea orientalis</i> (L.) Link	Ель восточная
AP	PCSH	<i>Picea schrenkiana</i> Fisch. et Mey.	Ель Шренка
34	PISP	<i>Pinus</i> species	Сосна
76	PICE	<i>Pinus cembra</i> Pall.	Кедровая сосна европейская
GX	PILD	<i>Pinus eldarica</i> Medw.	Сосна эльдарская
GY	PIFU	<i>Pinus funebris</i> Kom.	Сосна погребальная
GZ	PJHM	<i>Pinus hamata</i> Sosn.	Сосна крючковатая
HA	PIKO	<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc.	Кедровая сосна корейская
AD	PIMN	<i>Pinus montana</i> (L.) Mill.	Сосна горная
HB	PIPL	<i>Pinus pallasiana</i> Lamb.	Сосна Палласа
IIC	PIPT	<i>Pinus pityusa</i> Stev.	Сосна пицундская
HD	PIPМ	<i>Pinus pumila</i> (Pallas) Regel	Кедровый стланик
PS	PISI	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	Кедровая сосна сибирская
HE	PISN	<i>Pinus stankewiczi</i> (Sukacz.) Fomin	Сосна Станкевича
77	PISY	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Сосна обыкновенная
BW	PPSP	<i>Populus</i> species	Тополь
HF	PPAF	<i>Populus afganica</i> (Aitch. & Hamsl.) Schneid.	Тополь афганский
BU	PPAL	<i>Populus alba</i> L.	Тополь белый
HG	PPLA	<i>Populus laurifolia</i> Ledeb.	Тополь лавролистный
HH	PPMA	<i>Populus maximowiczii</i> A. Henry	Тополь Максимовича
BV	PPNI	<i>Populus nigra</i> L.	Тополь черный
HI	PPSU	<i>Populus suaveolens</i> Fisch.	Тополь душистый
HJ	PPTE	<i>Populus tremula</i> L.	Осина
HK	PYSP	<i>Pyrus</i> species	Груша
HL	PYCA	<i>Pyrus caucasica</i> A. Fed.	Груша кавказская
HM	PYCO	<i>Pyrus communis</i> L.	Груша обыкновенная
HN	PYUS	<i>Pyrus ussuriensis</i> Maxim.	Груша уссурийская
37	QUSP	<i>Quercus</i> species	Дуб
HO	QUDE	<i>Quercus dentata</i> Maxim.	Дуб зубчатый
HP	QUIB	<i>Quercus iberica</i> Stev. ex M. B.	Дуб грузинский
HQ	QUMO	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	Дуб монгольский
HR	QUPD	<i>Quercus pedunculiflora</i> C. Koch	Дуб ножкоцветный
AE	QUPE	<i>Quercus petraea</i> Liebl.	Дуб скальный
AF	QURO	<i>Quercus robur</i> L.	Дуб черешчатый
HS	SASP	<i>Salix</i> species	Ива
BY	SAAL	<i>Salix alba</i> L.	Ива белая
HT	SAAB	<i>Salix arbuscula</i> L.	Ива деревцовая

HU	SACA	<i>Salix caprea</i> L.	Ива козья
HV	SADA	<i>Salix dasyclados</i> Wimm.	Ива шерстистопобеговая
HW	SAGL	<i>Salix glauca</i> L.	Ива сизая
HX	SAKR	<i>Salix krylovii</i> E. Wolf	Ива Крылова
HY	SALA	<i>Salix lanata</i> L.	Ива мохнатая
HZ	SALP	<i>Salix lapponum</i> L.	Ива лапландская
IA	SAPH	<i>Salix phylicifolia</i> L.	Ива филиколистная
IB	SARO	<i>Salix rossica</i> Nas.	Ива русская
IC	SASA	<i>Salix sachalinensis</i> F. Schmidt	Ива сахалинская
ID	SOSP	<i>Sorbus</i> species	Рябина
IE	SOAU	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Рябина обыкновенная
IF	SOSI	<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.	Рябина сибирская
CB	TISP	<i>Tilia</i> species	Липа
IG	TIAU	<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	Липа амурская
IH	TICA	<i>Tilia caucasica</i> Rupr.	Липа кавказская
CC	TICO	<i>Tilia cordata</i> Mill.	Липа мелколистная
II	TIMA	<i>Tilia mansjurica</i> Rupr.	Липа маньчжурская
IJ	TISI	<i>Tilia sibirica</i> Bayer	Липа сибирская
IK	TITA	<i>Tilia taqueti</i> C.K.	Липа Таке
CG	ULSP	<i>Ulmus</i> species	Ильм
CE	ULCA	<i>Ulmus carpinifolia</i> Rupp. ex Suckow	Вяз полевой
CF	ULGL	<i>Ulmus glabra</i> Huds.	Ильм шершавый
IL	ULLA	<i>Ulmus laciniata</i> (Trautv.) Mayr.	Ильм горный
IM	ULLV	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	Вяз гладкий
IN	ULPR	<i>Ulmus propinqua</i> Koidz.	Ильм долинный

В настоящее время в МБДДК хранятся данные о радиальном приросте более чем для 1000 обобщенных хронологий. Кроме того, более чем для 500 местообитаний имеются данные первичных измерений. На рис. 5.1 представлены основные хронологии, имеющиеся в МБДДК, а на рис. 5.2 – основные хронологии, имеющиеся в российских региональных базах данных лабораторий дендрохронологии в Красноярске и Екатеринбурге.

При проведении дендроклиматических исследований необходимо располагать данными метеорологических наблюдений на ближайших к району исследований метеостанциях. Такая информация может быть получена непосредственно на метеостанциях и в региональных управлениях метеослужбы, взята из опубликованных справочников и из банков данных, как мировых, так и национальных. В большинстве случаев климатическая информация представлена в виде средних месячных значений температуры воздуха и осадков.

Но существуют также базы данных, в которых имеются сведения о средних, максимальных и минимальных суточных величинах наиболее важных метеорологических показателей.

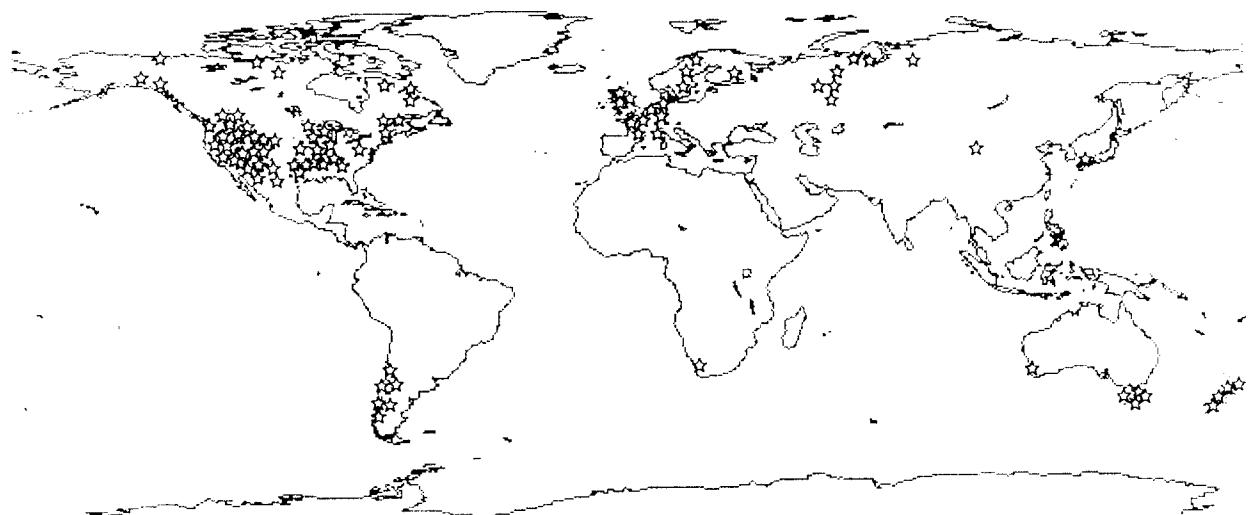


Рис. 5.1. Расположение мест сбора образцов, древесно-кольцевые хронологии по которым имеются в МБДДК

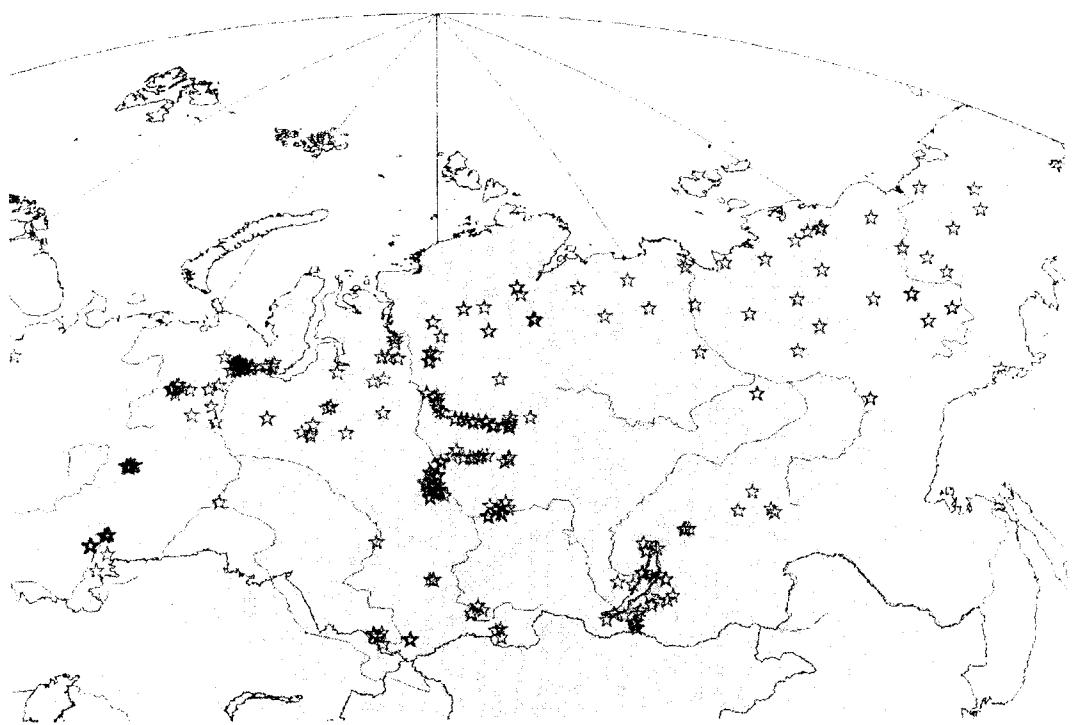


Рис. 5.2. Древесно-кольцевые хронологии, полученные для территории Урала и Сибири

Одним из центров накапливания и хранения метеорологических данных в России является Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, Калужская обл., Россия, http://www.meteo.ru/home_rus.htm). ВНИИГМИ-МЦД входит в систему геофизических центров данных Международного совета научных союзов, Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО и Всемирной метеорологической организаций и выполняет функции:

- Российского государственного фонда данных о состоянии природной среды;
- Мирового центра данных по дисциплинам: метеорология, океанография, вращение Земли, ракеты и спутники;
- Государственного водного кадастра (реки и каналы);
- Национального центра данных по метеорологии;
- Национального центра данных по океанографии;
- И др.

Другой мировой центр, накапливающий и хранящий, в частности, метеорологические данные по всему земному шару, – Центр анализа информации по углекислому газу - Carbon Dioxide Information Analysis Center - CDIAC (Оук Ридж, Теннесси, США, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>).

В первой части данного учебно-методического пособия рассмотрены теоретические основы дендрохронологии, а также приемы сбора, предварительной обработки и измерения количественных характеристик годичных колец. Этап сбора, подготовки образцов к измерениям и проведение измерений – это трудоемкий, но чрезвычайно важный этап исследований, на котором закладываются основы успешности дальнейшего получения экологически значимой информации об условиях произрастания древесных растений. Дендрохронология с начала ее развития, как раздела экологической науки имеет дело с измеряемыми величинами – характеристиками годичных колец. Существенный прогресс ее в последние десятилетия связан с использованием при анализе временной изменчивости годичных колец методов математической статистики и с получением статистических моделей связи радиального прироста деревьев и факторов внешней среды. Именно количественный подход обеспечил бурный рост приложений дендрохронологии в климатических и гидрологических исследованиях, экологии катастрофических изменений в лесных экосистемах (например, пожаров или вспышек массового размножения насекомых), в оценке лесохозяйственных мероприятий и индикации антропогенных воздействий на природные экосистемы. Большинство таких приложений будет рассмотрено в следующих разделах учебно-методического пособия, которые по насыщенности и разнообразию количественных подходов могут представлять интерес не только для тех кто изучает экологию леса, но и для студентов и аспирантов, специализирующихся в других науках: климатологии, палеоботанике, анатомии и физиологии растений, биоинформатике.

Рекомендуемая литература

- Александрова В.Д. Изучение смен растительного покрова // Полевая геоботаника. Т. III. М.-Л.: Наука, 1964. С. 300-447.
- Антанайтис В.В., Загреев В.В. Прирост леса. М.: Лесная промышленность, 1981. 181 с.
- Боровиков А.М., Уголев Б.И. Справочник по древесине. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.
- Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
- Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свидерская И.В. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука, 1985. 108 с.
- Ваганов С.Г., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996, 246 с.
- Горчаковский С.Г., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 208 с.
- Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1983. 464 с.
- Лир Х., Польстер Г., Физлер Г.И. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1974. 421 с.
- Мелехов И.С. Значение структуры годичных слоев и её динамики в лесоводстве и дендроклиматологии // Известия вузов. Лесной журнал. 1979. N 4, С. 6-14.
- Синнот Э. Морфогенез растений. М.: Мир, 1963. 603 с.
- Шиятов С.Г. Дендрохронология, ее принципы и методы // Записки Свердловского отд-ния ВГО. Свердловск, 1973. Вып.6. С.53-81.
- Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
- Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 337 с.
- Bradley R.S. Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary (Second Edition). International Geophysics Series, Vol. 64, 1999, 613 pp.
- Fritts H.C. Tree rings and climate. Acad. Press: London – New York – San Francisco. 1976, 576 pp.
- Kozlowski T.T., Pallardy S.G. Growth control in woody plants. Acad. Press: San Diego, 1997, 641 pp.
- Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences (eds. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis). Kluwer Acad. Publ.: Dordrecht – Boston – London, 1990, 394 pp.
- Schweingruber F.H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Reidel Publ.: Dordrecht, 1988, 276 pp.
- Schweingruber F.H. Trees and wood in dendrochronology. Springer-Verlag: Berlin – Heidelberg, 1993, 386 pp.
- Schweingruber F.H. Tree rings and environment. Dendroecology. Paul Haupt: Berne-Stuttgart-Vienna, 1996, 609 pp.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1 ОСНОВЫ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ	4
1.1. Прямые и косвенные источники информации	4
1.2. Понятие о регистрирующих структурах. Годичные слои прироста древесины как источник прямой и косвенной информации.....	6
1.3. Сезонный и годичный прирост деревьев, анатомическое строение древесины.....	7
1.4. Дендрохронология и ее место в экологии.....	15
1.5. Основные принципы дендрохронологии.....	17
1.6. Достоинства и недостатки дендрохронологических методов.....	19
1.7. Использование дендрохронологических методов в лесоведении и лесоводстве.....	21
1.8. Об истории развития дендрохронологии.....	22
Глава 2 ВЫБОР ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТБОР ОБРАЗЦОВ ДРЕВЕСИНЫ.....	25
2.1. Выбор районов и местообитаний.....	25
2.2. Выбор видов деревьев и кустарников.....	26
2.3. Выбор древостоев и модельных деревьев.....	27
2.4. Взятие, транспортировка и хранение образцов древесины.....	29
Глава 3 ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ ДРЕВЕСИНЫ.....	36
3.1. Выбор радиальных направлений для датировки и измерения колец.....	36
3.2. Устранение скручивания кернов.....	37
3.3. Наклейка кернов на деревянную основу.....	38
3.4. Полировка и зачистка торцевой поверхности.....	38
3.5. Получение тонких поперечных срезов.....	40
3.6. Увеличение контрастности колец и клеток.....	40
Глава 4 ДАТИРОВКА И ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОДИЧНЫХ СЛОЕВ ДРЕВЕСИНЫ.....	41
4.1. Предварительная датировка и маркировка колец.....	41
4.2. Окончательная датировка колец.....	42
4.3. Датировка древней древесины и продление древесно-кольцевых хронологий.....	48
4.4. Выявление патологических структур в древесине.....	51
4.5. Измерение характеристик годичных слоев древесины.....	54
4.6. Определение химического и изотонного состава древесины.....	63
Глава 5 БАНКИ ДАННЫХ, ФОРМАТЫ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	78
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	79

Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации.

Ответственные редакторы Евгений Александрович Ваганов,
Степан Григорьевич Шиятов

Редактор И.А. Вейсиг
Корректор Т.Е. Баstryгина

Лицензия ЛР № 0203072 от 29.01.1997

Подписано в печать 29.01.01.

Формат 60x84/8

Бумага тип.

Печать офсетная

Тираж 400 экз.

Уч.-изд. л. 6,8

Заказ № 6.

Цена договорная

8 с .

Издательский центр Красноярского государственного университета
660041 г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Отпечатано ИЦ КрасГУ, ООП биологического факультета.
660041 г. Красноярск, пр. Свободный, 79, офис 44-15. Тел: (3912) 44-67-40(3).