

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт экологии и природопользования

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие

Казань – 2018

УДК 630+581.54

Печатается по решению методической комиссии
Института экологии и природопользования
протокол № 3 от 27 апреля 2018 г.

кафедры общей экологии
протокол № 2 от 12 апреля 2018 г.

Рецензент:
доктор биологических наук, доцент
М.Б. Фардеева

Авторы:

Д. В. Тишин, Н.А. Чижикова

Дендрохронология/ Д.В. Тишин, Н.А. Чижикова. – Казань: Казанский университет, 2018. – 34 с.

Данное учебно-методическое пособие предназначено для студентов бакалавров, обучающихся в КФУ по специальности «экология и природопользование». Может быть использовано при проведении курсов, посвященных изучению методов дендроэкологии, а также курсов продукционной и популяционной экологии, исследования лесных биоценозов. В пособии приведены рекомендации по выбору площадок и модельных деревьев для исследования, отбору образцов и их камеральной обработке. Также в работе освещены методы измерения и датировки годичных колец, построения хронологий прироста. Дается словарь терминов, часто употребляемых в дендроэкологии.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СТРОЕНИЕ ГОДИЧНОГО СЛОЯ ПРИРОСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕГО ВЕЛИЧИНУ	5
2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	7
2.1. Выбор пробных площадок и модельных деревьев	7
2.2. Отбор образцов древесины	7
2.3. Камеральная обработка образцов.....	9
2.4. Измерения ширины годичных колец и перекрестная датировка	10
2.5. Стандартизация индивидуальных рядов абсолютного прироста и построение обобщенных хронологий	12
2.6. Анализ древесно-кольцевых хронологий	15
3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ	22
Работа № 1. Сбор дендрохронологического материала.....	22
Работа № 2. Камеральная обработка дендрохронологического материала	22
Работа № 3. Измерения ширины годичных колец и перекрестная датировка образцов.....	23
Работа № 4. Стандартизация и построение хронологий	23
Работа № 5. Анализ обобщенных хронологий	24
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	25
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	29
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	34

ВВЕДЕНИЕ

Дендрохронология (древесно-кольцевой анализ) занимается изучением изменчивости годичного прироста древесины, выявлением факторов, которые определяют эту изменчивость, датировкой событий, влияющих на прирост древесных растений, реконструкцией условий внешней среды. Объектом исследований являются различные показатели годичного прироста в стволах, 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 и с высоким временным разрешением.

Благодаря корректному применению древесно-кольцевого анализа появляется возможность изучить естественную изменчивость природно-климатических факторов в прошлом и предсказать глобальные изменения природной среды в будущем.

С помощью дендрохронологического метода возможны реконструкции:

1. Климатических условий в прошлом (засухи, заморозки, долговременные похолодания и т.п.).
2. Лесных пожаров.
3. Нападений листогрызущих насекомых.
4. Колебаний уровня воды в озерах и реках.
5. Изменений границ ледников, а также лавины и сели.
6. Крупных извержений вулканов.
7. Вспышки на Солнце и появление Сверхновых звезд.

Дендрохронология широко используется в судебной экспертизе при установке дат и мест незаконной рубки леса.

1. СТРОЕНИЕ ГОДИЧНОГО СЛОЯ ПРИРОСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕГО ВЕЛИЧИНУ

В пределах зон умеренного и холодного климата, где выражена смена сезонов года, у древесных растений наблюдается периодическая активность камбиального слоя. В этих районах у деревьев, как правило, появляется один слой прироста за вегетационный период. На поперечных срезах эти слои хорошо заметны в виде колец.

У хвойных видов в начале периода роста формируются крупные и тонкостенные клетки, а у лиственных, кроме того, и крупные сосуды (см. Приложение). Этот слой клеток получил название «ранняя древесина». В конце периода роста образуются более мелкие и толстостенные клетки. Этот слой клеток с отсутствием или меньшим количеством сосудов хорошо отличается от предыдущего более темным цветом и называется «поздней древесиной» (рис. 1). В пределах каждого годичного кольца переход между клетками ранней и поздней древесины обычно постепенный, в то время как между соседними кольцами – резкий. Это позволяет довольно легко различать годичные кольца.

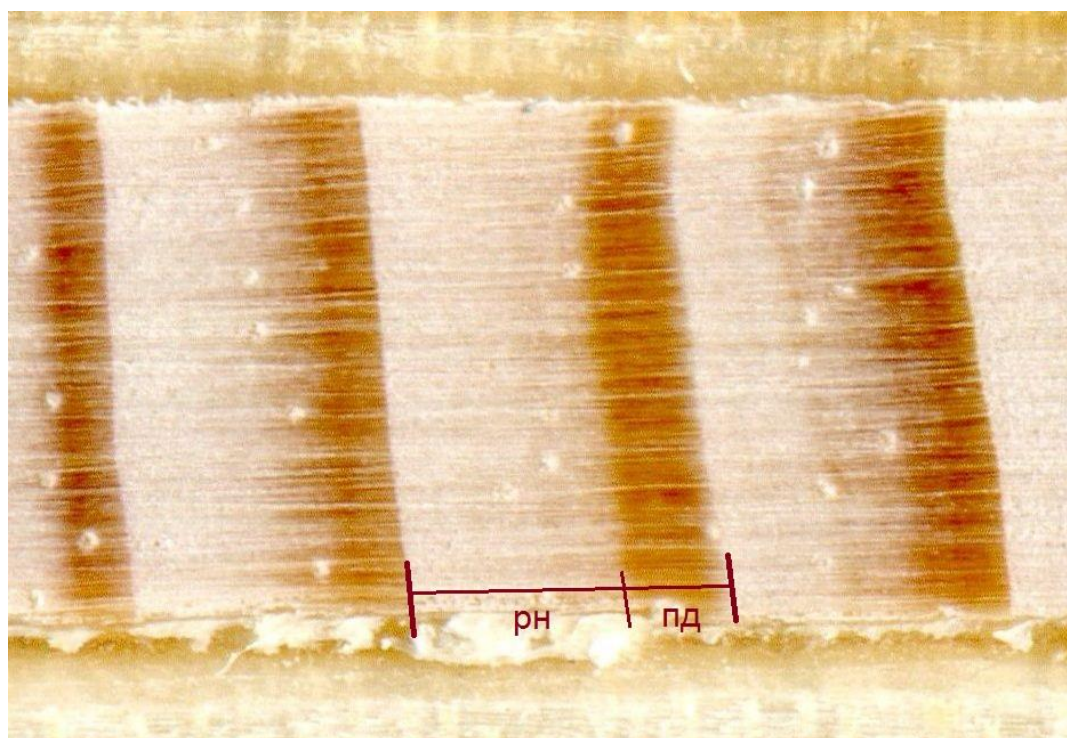


Рисунок. 1. Годичные кольца сосны обыкновенной, рн– «ранняя», пд – «поздняя» древесина.

На величину годичного прироста деревьев (или активность камбиальных клеток) оказывает влияние большое количество как внутренних, так и внешних комплексно действующих факторов. Из внутренних факторов наибольшее влияние оказывают порода дерева, наследственная индивидуальная изменчивость, возраст и плодоношение (Крамер, Козловский, 1983; Ваганов, Шашкин, 2000). Из внешних факторов на величину прироста влияют климатические и почвенно-грунтовые условия, фитоценотические взаимоотношения, разного рода катастрофы (пожары, буреломы, нападения насекомых вредителей), а также хозяйственная деятельность человека. Радиальный прирост деревьев (ширина годичного кольца) находится под контролем внутренних факторов и модифицируется внешними.

К настоящему моменту опубликовано несколько монографий, где весьма подробно освещено влияние внешних факторов на изменчивость ширины годичных колец (Douglass, 1919; Schulman, 1956; Fritts, 1976; Шиятов, 1986; Ваганов и др., 1996). Широкое использование древесно-кольцевых хронологий в исследовании различных вопросов экологии и истории лесных экосистем способствовало разработке теоретических основ дендрохронологии и дендроэкологии в целом.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Выбор пробных площадок и модельных деревьев

Отбор пробных площадок (полигонов) для дендрохронологических исследований проводится с учетом ряда особенностей характерных для лесных массивов нашего региона:

1. Выбираются участки леса естественного или искусственного происхождения, находящиеся на водоразделах крупных и малых рек.
2. Особое внимание обращается на лесорастительные условия. У сосны обыкновенной возможен отбор модельных деревьев с привязкой к следующим типам местообитаний: сухие, свежие и заболоченные. Для ели, дуба и липы модельные деревья следует отбирать в местообитаниях с одинаковыми лесорастительными условиями.
3. Выбор модельных деревьев на конкретных участках осуществляется по общепринятой методике (Методы дендрохронологии, 2000).
4. Отбираются лишь такие модельные деревья, на прирост которых неклиматические факторы оказывают наименьшее влияние. Не должны рассматриваться деревья на тех участках где: (а) значительно выражено влияние фитоценологических факторов, (б) происходили существенные изменения почвенно-грунтовых условий.
5. Предпочтение отдается старовозрастным деревьям, для того чтобы получить более длительные древесно-кольцевые хронологии.

2.2. Отбор образцов древесины

В настоящее время для взятия образцов древесины, особенно с живых деревьев, используются возрастной бур Пресслера (Haglof, Suunto), при помощи которых высверливаются радиальные керны древесины диаметром 4-5 мм и длиной до 50 см. Образцы древесины отбираются перпендикулярно продольной оси ствола дерева на высоте 0,5-1,3 м от поверхности земли (рис. 2). Обычно с дерева отбирается по два керна с разных сторон окружности ствола. Для

построения одной обобщенной хронологии отбирают образцы древесины с 10-20 деревьев одного вида.



Рисунок 2. Отбор кернов возрастным буром Пресслера

Высверленные керны могут быть помещены в бумажные контейнеры или в пластиковые коктейльные трубочки Sötvatten (Икеа), в которых образцы удобно транспортировать, сушить и хранить до проведения работ по датировке и измерению колец.

С остатков отмерших деревьев (сухостой, валеж) можно отбирать не только керны, но и поперечные спилы. Для отбора кернов сухой древесины можно применять бур DENDRO00004 (Schneidwerkzeugmechanik, Германия).

Каждому образцу древесины должен быть присвоен код, этот код записывается на поверхности образца или контейнера. Наиболее широко используется кодировка, состоящая из шести символов. Первые три символа

представляют собой сочетание букв латинского алфавита, которые обозначают код местообитания (например, IZH – река Иж). Следующие два цифровых символа (от 01 до 99) обозначают номер модельного дерева, а последний цифровой символ (от 1 до 9) обозначает номер радиуса. Кроме того, на образце или контейнере указываются вид дерева, дата взятия, фамилия коллектора и т. д. Для каждой пробной площади проводится описание условий произрастания, растительности, модельных деревьев и взятых образцов древесины. Методика отбора микрокернов для изучения сезонного роста клеток ксилемы, описана в работе (Тишин и др., 2016).

2.3. Камеральная обработка образцов

Дальнейшая работа с образцами древесины проводится в лабораторных условиях. Керны наклеиваются на специальную деревянную подложку (рейка прямоугольной формы), а затем их поверхность тщательно зачищают остро режущим инструментом (бритвой, скальпелем). Для увеличения контрастности колец в зачищенную поверхность керна втирается мелко размолотый зубной порошок (Фильрозе, Гладушко, 1986). Перед измерениями качество поверхности образца должно быть таким, чтобы под микроскопом при большом увеличении была четко видна клеточная структура древесины. Качество зачистки гарантирует обнаружение чрезвычайно узких колец, часто имеющих всего один или два ряда клеток. Когда годовые кольца большие, то образец древесины можно зачищать на шлифовальном станке.

Затем проводится предварительная датировка и маркировка колец. Зная точное календарное время взятия образца и формирования на нем подкорového кольца прироста, методом обратного отсчета определяются календарные даты образования всех колец этой серии, кольцо каждого десятилетия (к примеру, 1980, 1990, 2000 гг. и т. д.) маркируется особой меткой карандашом или уколом тонкой иглы. Одна точечная отметка указывает на десятилетие, две – на пятидесятилетие и три – на столетие (рис. 3).

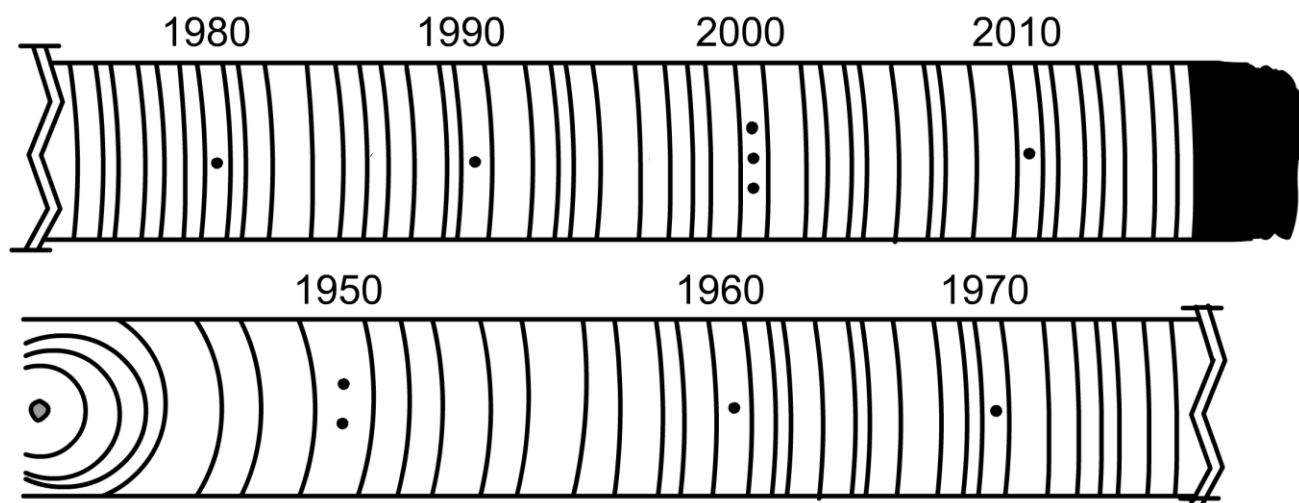


Рисунок 3. Схема маркировки годовичных колец на буровом образце, внешнее кольцо - 2017 года.

2.4. Измерения ширины годовичных колец и перекрестная датировка

Ширина годовичных колец может быть измерена под бинокулярным микроскопом МБС с переводом числа делений измерительной шкалы в миллиметры или на полуавтоматической установке Lintab (рис. 4) с программой TsapWin (Rinn, 2011). В настоящее время существуют программы, которые позволяют измерять ширину годовичных колец на цифровых изображениях (фотографиях) кернов (Windendro, Coorecorder CDendro и др.).

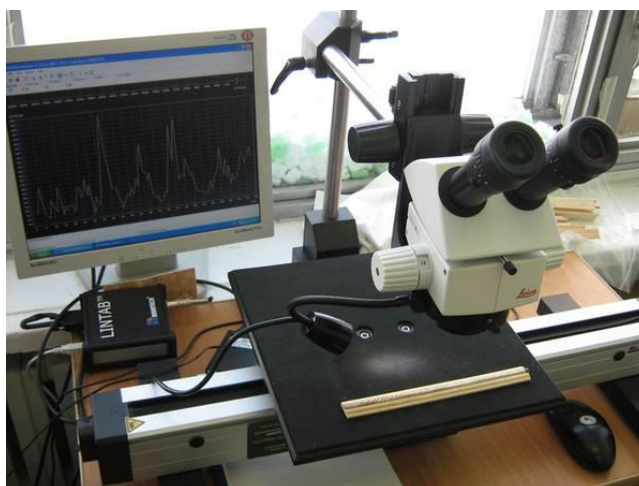


Рисунок 4. Полуавтоматическая измерительная система Lintab-6

По данным измерений строятся графики абсолютного радиального прироста для каждого радиуса (рис. 5), которые используются для точной

датировки годовичных колец при помощи метода перекрестной датировки. Перекрестная датировка – это сравнение сходных графиков колец у разных деревьев и выбор точного места, где соответствие между ними максимально (Douglass, 1919). Метод перекрестной датировки позволяет производить относительную и абсолютную датировку времени формирования слоев прироста древесины. Относительная датировка позволяет определить возраст анализируемых образцов относительно друг друга, для которых календарная дата не определена. Абсолютная датировка включает в себя точное определение календарной даты всех годовичных колец у исследуемых образцов. Она может быть осуществлена только в том случае, если известна календарная дата взятия образца древесины хотя бы у одного дерева.

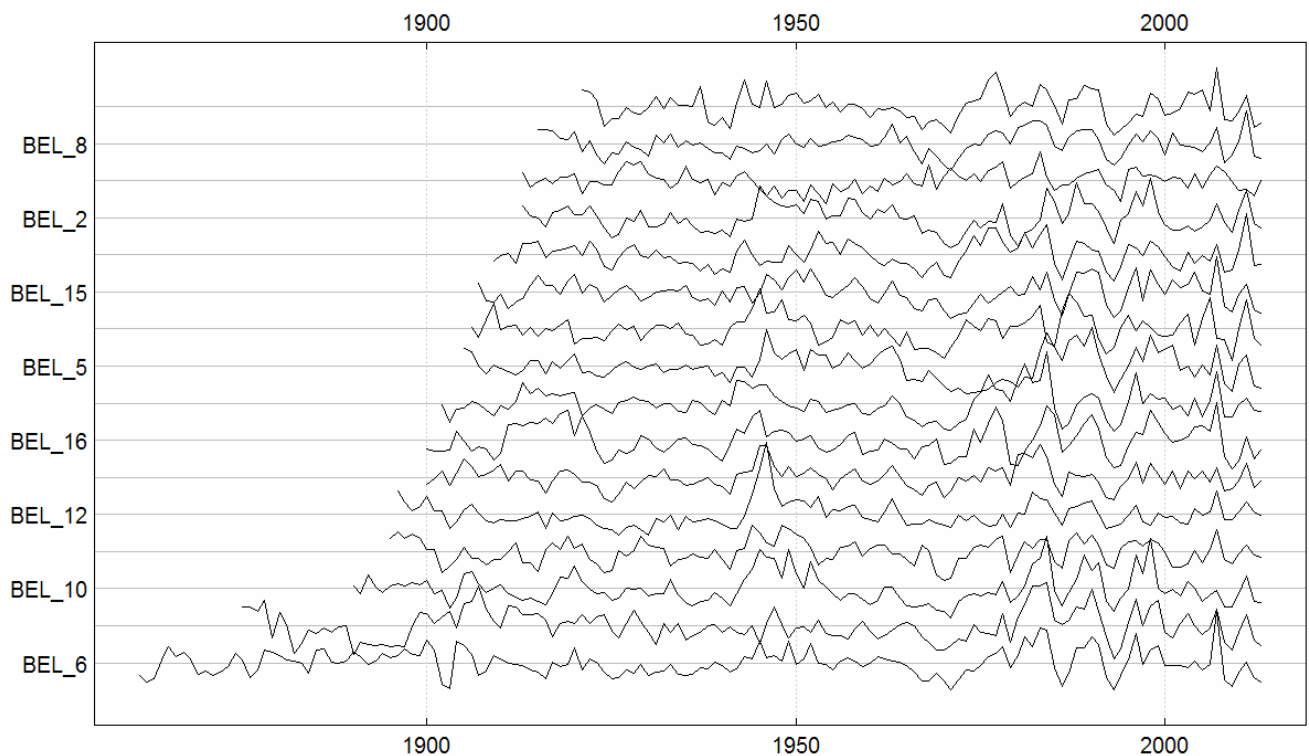


Рисунок 5. Абсолютные значения радиального прироста 16 модельных деревьев дуба черешчатого пробной площадки BEL (Чувашская республика).

При проведении перекрестной датировки экстремальные величины прироста, а также кольца, содержащие патологические структуры (морозобойные, светлые и ложные кольца и др.) используются в качестве характерных лет (point years), позволяющих проверять правильность перекрестной датировки (Schweingruber et al., 1990). Наиболее значимыми

являются узкие кольца, которые формируются в неблагоприятные по климатическим условиям годы у большей части деревьев, произрастающих в одно время и в однородном по климатическим условиям районе.

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.

Ложное кольцо или флуктуация плотности древесины отличается от истинного кольца отсутствием границы между слоями поздней и ранней древесины, а также тем, что оно обычно прослеживается не по всей окружности годичного слоя прироста, поэтому с дерева всегда лучше брать два и более кернов. Такое кольцо достаточно легко устанавливается при рассмотрении внешних границ потемнений при 20 кратном увеличении.

В особо неблагоприятные для жизнедеятельности деревьев годы происходит значительное снижение деятельности камбия в основании стволов. В таких случаях говорят об отсутствии кольца в определенном месте ствола – это «выпавшее кольцо». Особенно это выражено у деревьев, растущих в экстремальных местообитаниях. Наличие ложных и выпадающих колец может быть выявлено с помощью программы TSAPWin, которая позволяет рассматривать на экране кривые изменения показателей прироста у большого числа деревьев, сдвигать кривые на различное число лет, вставлять и удалять кольца. Качество датировки можно оценить с помощью программы Cofecha (Holmes, 1995), пакета dplR (Bunn, 2008).

2.5. Стандартизация индивидуальных рядов абсолютного прироста и построение обобщенных хронологий

После того как годичные кольца измерены и датированы, приступают к стандартизации значений их показателей. Поскольку в рядах изменчивости абсолютных величин прироста деревьев содержатся самые различные неклиматические сигналы: возрастные изменения, влияние почвенно-грунтовых условий, конкурентные взаимоотношения, воздействие различных

катастрофических факторов (рис. 6 А), то в дендрохронологии разработана специальная методика, позволяющая исключать, или, по крайней мере, сильно снижать их влияние при помощи вычисления *индексов прироста*.

Индексы (ring width index, RWI) – относительные величины, показывающие отклонение абсолютного прироста от многолетней тенденции, вычисляются путем деления толщины годичного слоя каждого года на его среднее значение для данного биологического возраста, тем самым убирается возрастная тренд и тренд в дисперсиях (рис. 6 Б). Среднее значение ширины годичного кольца, характерное для биологического возраста может быть вычислено несколькими способами. Наиболее популярными способами оценки тренда ширины колец, зависящего от возраста дерева, являются: метод подгонки обратной экспоненциальной модели к временному ряду ширин колец, оценка модели биологического роста с помощью сплайна или скользящего среднего.

Индексация ширины годичных колец с помощью указанных методов реализована в программе Trend (Rimer, 1991), ARSTAN (Cook, 1985), в пакете dplR (Bunn, 2008). Значения прироста за каждый год выражают в процентах, что дает возможность их сравнивать и усреднять. Полученные ряды имеют одинаковые средние и статистически равные дисперсии. У каждого такого ряда в значительной степени исключены индивидуальные особенности радиального роста дерева и сохранена общая для данной совокупности деревьев изменчивость (сигнал).

Оценка биологической составляющей радиального прироста обычно производится по временному ряду дерева, для которого вычисляется индекс прироста. Также существует подход по вычислению региональных кривых роста (regional growth curves; Briffa, Melvin, 2010), которые отражают внутренние закономерности роста деревьев, связанные с биологическими и возрастными особенностями вида, свойственными для рассматриваемой территории. Для вычисления региональной кривой используются временные серии радиальных приростов нескольких деревьев, характеризующих регион.

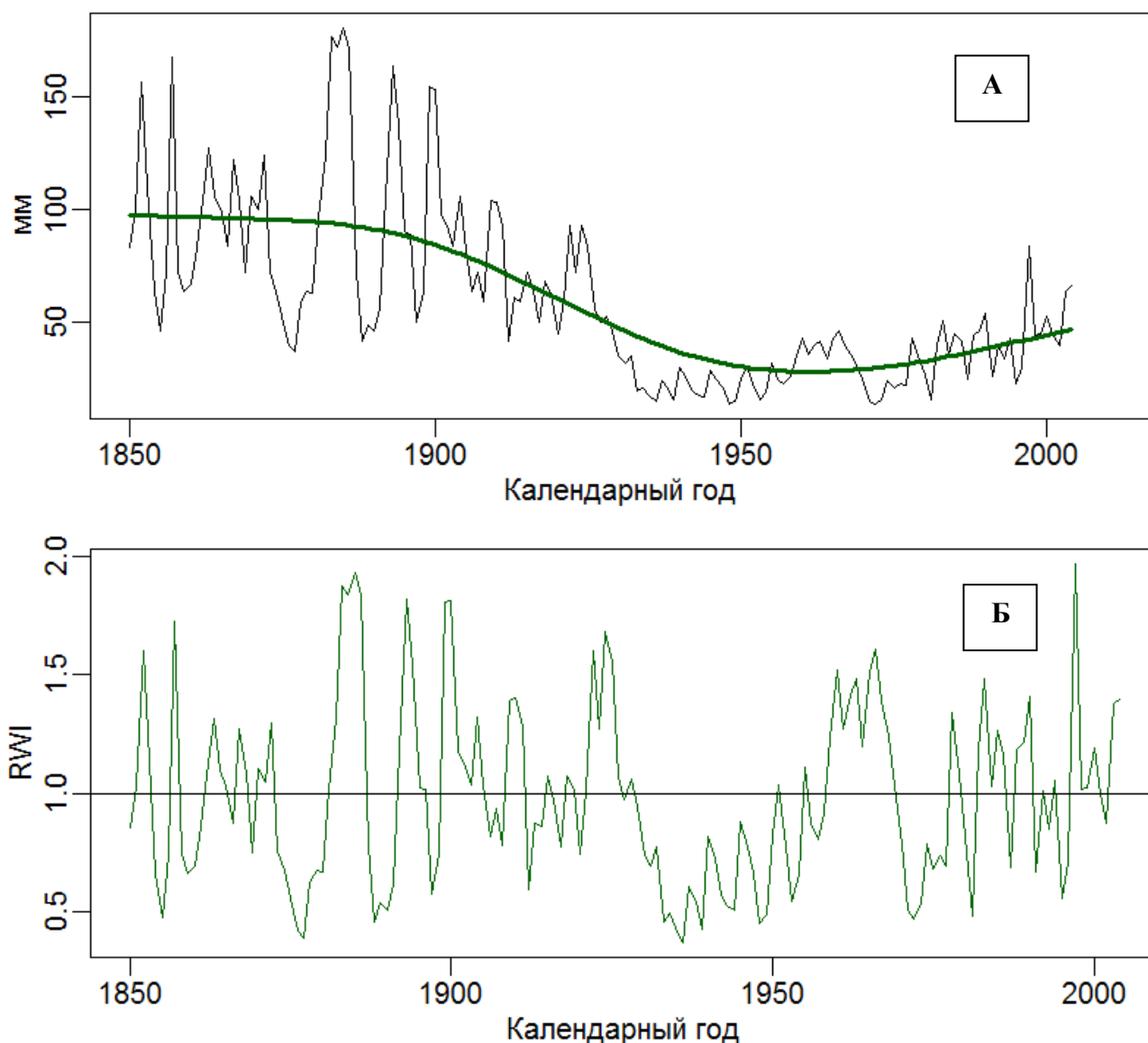


Рисунок 6. Иллюстрация процедуры стандартизации ширины годичного прироста (вычисления индекса прироста). А: абсолютные значения прироста сосны модельного дерева. Сглаженная кривая показывает возрастной тренд. Б: индексы прироста сосны модельного дерева.

В дендрохронологии принята линейно-агрегированная модель, отражающая формирование ширины годичного кольца: $R_t = A_t + C_t + D1_t + D2_t + E_t$, где: A – тенденция роста, вызванная нормальным процессом старения, C – воздействие климатических факторов, $D1$ – эндогенные воздействия, например, плодоношение, $D2$ – экзогенные воздействия, например, воздействия вредителей, загрязнение и т. д., E – случайная составляющая. Формула иллюстрирует, что общий сигнал в каждый год t может быть разделён на влияние ряда естественных и антропогенных факторов, воздействующих на дерево. Все они могут влиять на прирост как положительно, так и отрицательно.

Из анализа этой формулы становится ясна основная задача проведения экологических исследований – выделить «след», оставленный интересующим нас фактором, с помощью разделения вкладов компонент радиального роста в измеренных ширинах годовых колец R_t . В соответствии с этой моделью индекс прироста соответствует сумме компонент $C_t + D1_t + D2_t + E_t$.

Несколько индексов прироста могут быть использованы для построения обобщенного ряда, характеризующего основные черты изменчивости прироста в некотором регионе. Обобщенный ряд может быть построен путем расчета взвешенных средних в программе ARSTAN (Cook, 1985). С целью нивелирования локальных воздействий и лучшего выявления влияния климата обобщенные хронологии могут быть объединены в генерализованные хронологии.

Все упомянутые в пособии электронные программы находятся в свободном доступе на сайте Dendrochronology Program Library, точка доступа: <http://www.ltr.arizona.edu/software.html>. Пакет dplR также находится в свободном доступе и может быть скачан с любого репозитория для установки пакетов и приложения системы статистического анализа R (R development core team, 2018). Головной сайт системы R: <https://www.r-project.org/>.

2.6. Анализ древесно-кольцевых хронологий

Для оценки изменчивости индексов прироста используются традиционные статистические характеристики: стандартное отклонение, коэффициент чувствительности (Шиятов, 1986) и отношение “сигнала к шуму” (Wigley et al., 1984) и др. Под коэффициентом чувствительности понимается относительная величина межгодовой изменчивости прироста в сериях годовых колец индивидуальных хронологий. Он вычисляется путем нахождения абсолютного значения разности соседних значений ширины колец, деленной на их среднюю величину по формуле:

$$K_s = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{(x_{t+1} + x_t)},$$

где x_t - ширина годовичного кольца, или индекс прироста в год t , n - длительность ряда (число лет). Этот коэффициент является одним из наиболее важных показателей, т.к. с его помощью можно отбирать виды древесных растений и местообитания, наиболее пригодные для дендрохронологического анализа. Чем выше коэффициент чувствительности, тем более сильный климатический сигнал содержится в древесно-кольцевых хронологиях. Серия колец считается чувствительной, когда средний коэффициент чувствительности больше 0.3 (Ferguson, 1969).

В природе трудно встретить два участка леса одинаковых по истории возникновения и формирования, характеру роста и развития, поэтому при кажущейся идентичной реакции сообществ растений на изменение природной среды, реакция в каждом конкретном случае всегда имеет свои индивидуальные черты.

Отношение сигнала к шуму, т. е. показатель взаимокорреляции индивидуальных хронологий, использовавшихся для построения обобщенной серии, вычисляется по следующей формуле:

$$SNR = \frac{N \cdot r}{1 - r}, \text{ где}$$

r – средний коэффициент корреляции между индивидуальными рядами индексов прироста для данного участка, N – количество рядов.

Для оценки связей между хронологиями также может быть вычислен коэффициент синхронности S , в программе Simula, разработанной В. С. Мазепой. Коэффициент синхронности S оценивает число однонаправленных изменений от года к году между двумя хронологиями и рассчитывается по следующей формуле:

$$S = \frac{n^+}{n - 1} 100\%$$

где n^+ - количество совпавших по направлению годовичных отрезков двух хронологий, n – длительность интервала времени сравниваемых хронологий.

Для оценки уровня синхронности между хронологиями используется шкала (Шиятов, 1986), которая разбита на пять классов (табл. 1).

Шкала коэффициентов синхронности и уровни синхронности между хронологиями

Значения коэффициента синхронности, %	Уровни синхронности между хронологиями
45-56	Отсутствует
57-67	Низкая
68-78	Средняя
79-89	Высокая
90-100	Очень высокая

Сравнительно низкая синхронность изменения величины радиального прироста указывает на наличие интенсивного разделения деревьев в пределах отдельных рангов доминирования. Максимальный уровень дифференциации и изменчивости наблюдается в годы с оптимальным сочетанием факторов среды. Тем самым подтверждается положение о том, что с улучшением условий произрастания возрастает уровень конкуренции, приводящий к усилению расслоения популяции древесных растений на ценотически неоднородные группы (Сукачев, 1953).

Критерием оценки надежности хронологии является расчет выраженного сигнала популяции EPS (expressed population signal), значение которого показывает, в какой степени реальная хронология отражает гипотетическую, представленную бесконечным количеством деревьев (Wigley et al., 1984):

$$EPS = \frac{t r_{bt}}{t r_{bt} + (1 - r_{bt})},$$

где t – количество деревьев; r_{bt} - среднее значение коэффициента корреляции между отдельными сериями.

При значениях $EPS \geq 0.85$ хронология считается достаточно представительной (Briffa, Jones, 1990).

Для установления циклических компонент изменчивости прироста деревьев используются программа Spectr (Mazepa, 1990), где спектральное разложение на ряд гармоник идет за счет метода максимальной энтропии через специально подобранные фильтры. Как известно, в древесно-кольцевых

хронологиях вековые колебания (от 60 до 120 лет) выражены слабо или их вообще невозможно выявить из-за недостаточной длительности жизни дерева и исключения низкочастотных компонент при стандартизации прироста и получении обобщенных рядов (Briffa et al., 1996). Поэтому при установлении вековой цикличности привлекают индивидуальные хронологии максимальной длительности и используют метод среднего сглаживания с периодом осреднения меньшим, чем предполагаемая длина основного цикла. Наличие цикличности считается доказанным только в том случае, когда выявлено не менее трех циклов (Брукс, Краузерс, 1963).

Не оценив роль климатических факторов в изменении прироста деревьев, нельзя правильно определить влияние на прирост и состояние лесных экосистем самых разнообразных антропогенных, биологических и катастрофических факторов (лесных пожаров, массового размножения насекомых вредителей и др.) (Комин, 1990). Как было сказано выше, при стандартизации в хронологиях в первую очередь убирается возрастной тренд, тем самым усиливается климатический сигнал. В результате чего остается общая ответная реакция деревьев на постоянно меняющиеся условия среды. При проведении дендроклиматических исследований наиболее пригодны обобщенные хронологии второго порядка, когда используют модельные деревья одного вида, произрастающие на близко расположенных участках (на расстоянии не более, чем 5 км), с одинаковым типом условий. В этом случае дополнительно гасятся различного рода сигналы, в том числе микроклиматические.

Анализ климатического отклика обобщенных хронологий проводится с помощью расчета коэффициентов корреляций (R_s) между индексами прироста и ежемесячными значениями осадков и температуры воздуха за период, в течение которого возможно влияние климатических факторов на годичный радиальный прирост древесины. Это особенно важно в тех случаях, когда отсутствуют какие-либо предположения о возможном влиянии климатических факторов на рост древесных растений в конкретных условиях. Обычно в анализе используются месячные значения климатических переменных с января по август

текущего года и с сентября по декабрь предыдущего года близлежащих метеостанций.

Метеоданные для нужных координат различных стран можно скачать на сайте Королевского метеорологического института Голландии (<https://climexp.knmi.nl>). Метеоданные, характеризующие территорию России и некоторых стран СНГ, также находятся в свободном доступе на нескольких сайтах: www.rp5.ru, сайт Российского исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (описание данных: <http://meteo.ru/data>; точка доступа к данным: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>; Razuvaev et al., 1993; Булыгина и др., 2014).

Так, в условиях Среднего Поволжья (СП) ведущим фактором определяющим величину годичного прироста большинства деревьев, является количество осадков и распределение их в течение вегетационного периода (табл. 2).

Таблица 2

Частные коэффициенты корреляции обобщенной хронологии с месячной температурой и количеством осадков (Тишин, 2006)

метеопараметры	Предыдущий год роста				Текущий год роста							
	Сен	Окт	Ноя	Дек	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг
температура	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	-0.12	-0.16	0.25*	-0.10	-0.42*	-0.19*	-0.05
осадки	0.05	0.02	0.03	0.05	0.02	-0.01	-0.13	-0.16	0.31*	0.50*	0.34*	0.05

Примеч. * – значения коэффициентов корреляции достоверны при 0.05 уровне значимости

Значительную роль в лесных биогеоценозах СП приобретают фитоценотические факторы, которые уменьшают влияние климатических условий на прирост деревьев. Поэтому в динамике радиального прироста деревьев не только отражается многолетняя изменчивость показателей климата, но и фиксируются результаты внутри- и межвидовой конкуренции, а также другие сложные процессы, протекающие в лесных сообществах, такие как, например, возрастные или восстановительные смены. Все это ведет к следствиям методического характера: при проведении дендроклиматических исследований в полидоминантных разновозрастных, многоярусных лесных

фитоценозах СП необходимо тщательно учитывать положение деревьев в структуре древостоя, а также внутривидовые взаимодействия.

Хотя ширина годичного кольца не является точным мерилем отдельных показателей годового климата, она дает полезную основу для понимания длительности рядов климатических изменений. При этом каждый вид дерева обладает индивидуальной реакцией на изменения окружающей среды. Все это надо учитывать при создании древесно-кольцевых хронологий, с помощью которых производятся массовые и точные датировки многих природных явлений и процессов.

Важным лесообразующим фактором, определяющим состояние и динамику лесов, являются лесные пожары. Оценка календарных лет прошлых пожаров, основанная на обратном счете годичных колец от подкорового кольца, когда год образования его точно известен, до пожарного шрама, имеет достаточно широкое распространение. С ее помощью определяются сроки, повторяемость и распространение пожаров, а иногда и климатические условия лет с наиболее сильными пожарами. Наиболее сильные пожары наблюдаются в основном в засушливые фазы различных по продолжительности климатических циклов. Лесоводственные приемы определения пожарных лет дают надежные результаты только в тех случаях роста деревьев, когда не наблюдается выпадения или появления ложных годичных колец прироста. Иногда датировка лесных пожаров усложняется тем, что пожарные шрамы на стволах сохранившихся деревьев распространены локально как на высоте, так и по окружности ствола (Мелехов, 1948). Поэтому для полного выявления пожаров, определения их интенсивности и последствий лучше всего использовать поперечные срезы на разных высотах стволов деревьев (рис. 7). Анализ буровых образцов, наиболее часто используемый в дендрохронологических исследованиях для датировки лесных пожаров, менее надежен, так как приводит к пропуску следов пожаров и к существенной потере информации об их воздействии. Так же следует учитывать тот факт, что интенсивные пожары вызывают значительное изреживание древостоев, когда в первую очередь

выпадают наиболее пострадавшие от пожара деревья. Кроме того, пожары, особенно низовые, существенно изменяют распределение прироста по высоте ствола. В нижней части дерева послепожарный прирост по диаметру откладывается более интенсивно, чем вверх по стволу.

В последнее время дендрохронологическая информация широко используется в экологическом прогнозировании. Прогнозы, основанные на данных древесного прироста, выделяются в особый класс экологических прогнозов – дендрохронологических. Причем ряды индексов прироста вместе с другими гелио- и геофизическими данными используются для прогнозирования климата, урожаев сельскохозяйственных культур, экологической обстановки и других природных процессов.

В лесном хозяйстве такие прогнозы необходимы при планировании охраны лесов от пожаров и защиты от вредителей и болезней, лесовосстановительных работ, рубок ухода за лесом и других видов лесохозяйственной деятельности.

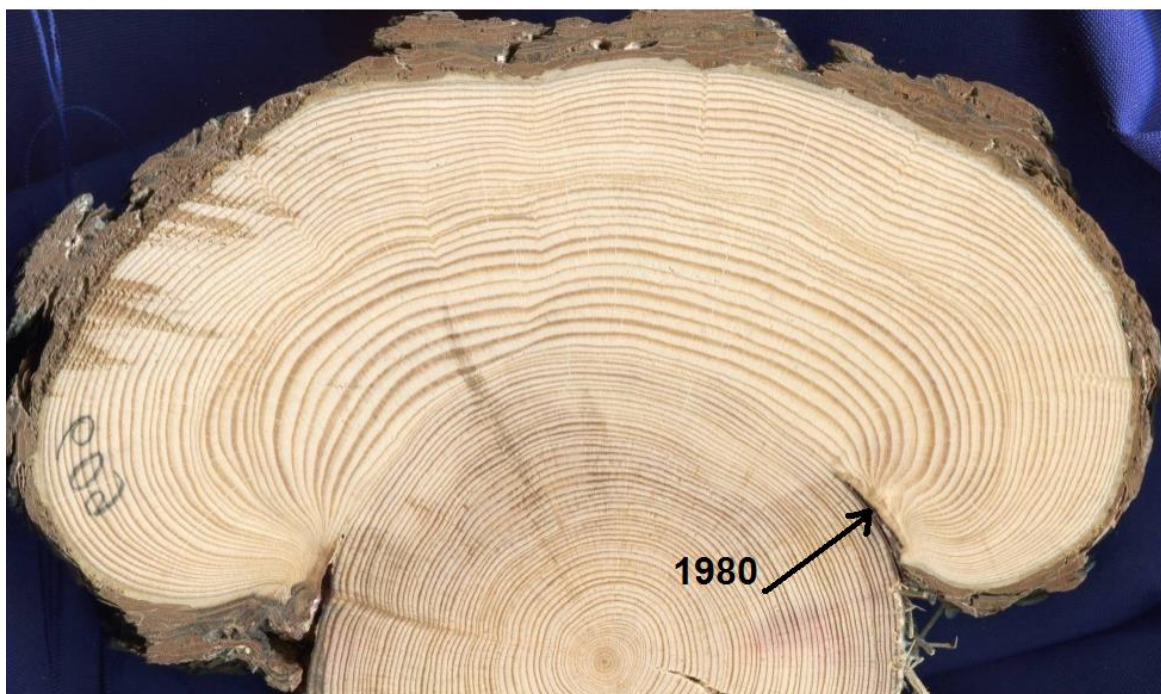


Рисунок 7. Спил сосны обыкновенной со следами огневого повреждения 1980 года.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Работа № 1. Сбор дендрохронологического материала

Цель: знакомство с процедурой отбора образцов древесины.

Задание: используя возрастную бур отобрать 10 образцов древесины с деревьев хвойных и лиственных пород. Упаковать их согласно рекомендации для транспортировки.

Оборудование и материалы: возрастной бур и контейнеры.

Методические указания: необходимо соблюдать последовательность действий, приведенную в разделе 2.2 Отбор образцов древесины.

Контрольные вопросы:

1. Какие условия необходимо соблюдать при отборе образцов древесины?
2. Укажите основные требования к кодировке образцов.
3. Какое количество образцов достаточно для построения обобщенного дендрохронологического ряда?

Работа № 2. Камеральная обработка дендрохронологического материала

Цель: знакомство с процедурой камеральной обработки образцов древесины.

Задание: высушить, провести камеральную обработку кернов к процедуре измерения.

Оборудование и материалы: буровые образцы деревьев хвойных и лиственных пород, бритвы, микроскоп.

Методические указания: необходимо соблюдать последовательность действий, приведенную в разделе 2.3 Камеральная обработка образцов.

Контрольные вопросы:

4. Перечислите способы зачистки торцевой поверхности керна.
5. Для чего делают контрастирование образцов?
6. Какие существуют приемы предварительной датировки и маркировки годовичных колец?

Работа № 3. Измерения ширины годичных колец и перекрестная датировка образцов

Цель: знакомство с процедурами датировки и измерения образцов на полуавтоматическом измерительном комплексе Lintab.

Задание:

7. В программе TSAP-Win измерить ширину годичных колец, подготовленных при выполнении работы № 2.
8. Провести перекрестную датировку с использованием пакета программ DPL.

Оборудование и материалы: образцы древесины, микроскоп, компьютер, пакет программ DPL.

Методические указания: необходимо соблюдать последовательность действий, приведенную в разделе 2.4 Измерения ширины годичных колец и перекрестная датировка.

Контрольные вопросы:

9. Каковы основные принципы перекрестной датировки?
10. В чем различие относительной и абсолютной датировки?
11. Какова точность измерения ширины годичных колец?
12. Что такое «ложное» и «выпавшее» кольцо?

Работа № 4. Стандартизация и построение хронологий

Цель: знакомство с процедурой индексирования индивидуальных хронологий с построением обобщенных дендрохронологических рядов.

Задание:

13. Вычислить индексы прироста в программе TREND.
14. Создать обобщенную хронологию в программе ARSTAN.
15. Построить график хронологии.

Оборудование и материалы: компьютер, пакет программ DPL.

Методические указания: необходимо соблюдать последовательность действий, приведенную в разделе 2.5 Стандартизация индивидуальных рядов абсолютного прироста и построение обобщенных хронологий.

Контрольные вопросы:

16. Что такое индекс прироста?
17. Каковы основные способы индексирования прироста?
18. В чем отличия обобщенной хронологии первого и второго порядка?

Работа № 5. Анализ обобщенных хронологий

Цель: знакомство с процедурой анализа обобщенных дендрохронологических рядов и поиска климатического сигнала.

Задание:

19. Найти основные статистические характеристики хронологии, полученной в работе № 4.
20. Выявить основные годы минимального и максимального прироста.
21. Рассчитать и проанализировать корреляцию индексов прироста с основными климатическими переменными близлежащей метеостанции.

Оборудование и материалы: компьютер, пакет программ DPL.

Методические указания: необходимо соблюдать указанную последовательность действий.

Контрольные вопросы:

22. Что такое лимитирующий фактор?
23. Для чего нужен расчет EPS?
24. Что такое функция отклика и климатический сигнал?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брукс К., Краузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. – Л.: Гидромеоиздат, 1963. – 416 с.
2. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Специализированные массивы данных для климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2014. Вып. 177. С. 518.
3. Ваганов Е. А., Шашкин А. В. Рост и структура годичных колец хвойных. – Новосибирск: Наука, 2000. – 214 с.
4. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало–Сибирской Субарктике. – Новосибирск: Наука, 1996. – 246 с.
5. Комин Г.Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 3–11.
6. Крамер П.Д. Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. – М.: Лесная промышленность. – 1983. – 464 с.
7. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. – М. – 1948. – 125 с.
8. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно–кольцевой информации: Учебно–методическое пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
9. Сукачев В.Н. О внутривидовых и межвидовых взаимоотношениях среди растений // Бот. журн., 1953, – т. 38, – № 1. – С. 57–96.
10. Тишин Д.В. Влияние природно–климатических факторов на радиальный прирост основных видов деревьев Среднего Поволжья. – Диссер... канд. биол. наук. – Казань, 2006. – 142 с.
11. Тишин Д.В., Чижикова Н.А., Журавлева И.В., Чугунов Р.Г. Ксилогенез сосны (*Pinus sylvestris* L.) северных островных экосистем// Лесотехнический журнал. - Выпуск 4. - 2016. - с. 89-97.

12. Фильрозе Е. М., Гладушко Г. М. Способ проявления границ и структуры годовичных слоев // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск, 1986. – С. 68–71.
13. Шиятов С. Г., Мазепа В.С. Цикличность радиального прироста деревьев в высокогорьях Урала // В кн.: Дендрохронология и дендроклиматология. – Н.: Наука, Сиб. отд–ние, 1986. – С. 134–160.
14. Брукс К., Краузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. – Л.: Гидромеоиздат, 1963. – 416 с.
15. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало–Сибирской Субарктике. – Новосибирск: Наука, 1996. – 246 с.
16. Ваганов Е. А., Шашкин А. В. Рост и структура годовичных колец хвойных. – Новосибирск: Наука, 2000. – 214 с.
17. Комин Г.Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 3–11.
18. Крамер П.Д. Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. – М.: Лесная промышленность. – 1983. – 464 с.
19. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. – М. – 1948. – 125 с.
20. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно–кольцевой информации: Учебно–методическое пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
21. Сукачев В.Н. О внутривидовых и межвидовых взаимоотношениях среди растений // Бот. журн., 1953, – т. 38, – № 1. – С. 57–96.
22. Тишин Д.В. Влияние природно–климатических факторов на радиальный прирост основных видов деревьев Среднего Поволжья. – Диссер... канд. биол. наук. – Казань, 2006. – 142 с.
23. Тишин Д.В., Чижикова Н.А., Журавлева И.В., Чугунов Р.Г. Ксилогенез сосны (*Pinus sylvestris* L.) северных островных экосистем// Лесотехнический журнал. - Выпуск 4. - 2016. - с. 89-97.

24. Фильрозе Е. М., Гладушко Г. М. Способ проявления границ и структуры годовичных слоев // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск, 1986. – С. 68–71.
25. Шиятов С. Г., Мазепа В.С. Цикличность радиального прироста деревьев в высокогорьях Урала // В кн.: Дендрохронология и дендроклиматология. – Н.: Наука, Сиб. отд-ние, 1986. – С. 134–160.
26. Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H., Karlén W., Shiyatov S. G.. Tree-ring variables as proxy-climate indicators: Problems with low-frequency signals // In: Climate Change and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years (ed. P. D. Jones, R. S. Bradley & J. Jouzel), NATO ASI Series. – Berlin: Springer-Verlag, 1996. – Vol. 141. – P. 9–41.
27. Briffa K.R., Melvin T.M. A Closer look at regional curve standardization of tree-ring records: justification of the need, a warning of some pitfalls, and suggested improvements in its application // In: Hughes M., Swetnam T., Diaz H. (eds) Dendroclimatology. Developments in Paleoenvironmental Research, vol 11. Springer, Dordrecht P. 113-145.
28. Briffa, K. R., and Jones, P. D. 1990. Measuring the statistical quality of a chronology // In: Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences (Ed. by E. R. Cook and L. A. Kairiukstis). – Boston, Mass., USA: Kluwer Academic Publishers. – P. 137–152.
29. Bunn, A.G. A Dendrochronology Program Library in R (dplR). Dendrochronologia, 2008. – 26. – P. 115–124.
30. Cook E. R. A Time Series Analysis Approach to Tree-Ring Standardization: Ph. D. Dissertation. – Tucson, AZ: University of Arizona, 1985. – 171 p.
31. Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. – Washington: Carnegie Inst., 1919. – Vol. 1. – 127 p.
32. Ferguson C. W. A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California // Tree-Ring Bull. – 1969. – Vol. 29. – No. 3–4. – P. 3–29.

33. Fritts H. G. Tree-ring and climate. – New York: Academic Press, 1976. – 567 p.
34. Holmes, R. L. Dendrochronological Program Library [computer program]. – Laboratory of Tree-Ring Research. – Tucson, Arizona: The University of Arizona. – 1995. – [электронная версия].
35. Mazepa V. S. Spectral Approach and Narrow Band Filtering for Assessment of Cyclic Components and Ecological Prognoses. // Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. – IASA: Kluwer Academic Publishers – Dordrecht; Boston; London, 1990. – P. 302–308.
36. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. – R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. URL <https://www.R-project.org/>.
37. Razuvayev V.N., Apasova E.G., Martuganov R.A., Steurer P., Vose R. Daily Temperature and Precipitation Data for 223 U.S.S.R. Stations. – ORNL/CDIAC, Numerical data package – 040, Oak Ridge National laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 1993.
38. Riemer T. TREND. User's Guide for Personal Computers. – Gottingen, Germany: University of Gottingen, 1991. – 35 p.
39. Rinn, F. TSAPWin Time series analysis and presentation: dendrochronology and related applications. Version 4.64 – Heidelberg, Germany. – 2011. – 92 p.
40. Schulman E. Dendroclimatic changes in semiarid America. – Tucson, Arizona: University of Arizona Press, 1956. – 142 p.
41. Schweingruber, F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F. and Bräker O. U. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in Dendrochronology // Dendrochronologia. – 1990. – Vol. 8. – P. 9–39.
42. Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. On the average value of correlated time series, with applications in dendrochronology and hydrometeorology // J. of Climate and Applied Meteorology. – 1984. – Vol. 23. – P. 201–213.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ (Ваганов, Шашкин, 2000)

Абсолютная хронология – хронология, датированная в календарных временных единицах.

Внешнее (последнее) годичное кольцо – наиболее поздно сформировавшееся из всех видимых годичное кольцо на поверхности образца древесины.

Возрастной бур – инструмент, снабженный полым наконечником с режущей кромкой и экстрактором для извлечения возрастных кернов из ствола дерева.

Возрастной керна – цилиндрический образец древесины с осью, направленной по радиусу ствола, извлеченный из деревьев.

Выпадающее кольцо – кольцо прироста, которое в образце отсутствует в связи с нарушением камбиальной активности.

Годичное кольцо – слой клеток, образованный в течение года в ксилеме или флоэме.

Годичный прирост – увеличение объема размеров ствола дерева или запаса стволовой древесины в древостое за год.

Датировка – определение даты годичного кольца визуальным, а также графическим или статистическим методом.

Дендроклиматология – раздел дендроэкологии, который использует продатированные годичные кольца для реконструкции и изучения климата в прошлом и настоящем.

Дендрохронология – научная дисциплина о датировании годичных колец деревьев.

Дендроэкология – раздел дендрохронологии, включающий в себя дисциплины, использующие датированные годичные кольца для изучения экологических проблем и проблем окружающей среды, например для изучения климата (дендроклиматология), водных потоков (дендрогидрология) и т. п.

Древостой – сообщество деревьев, обладающее достаточной однородностью, чтобы быть отличимым от соседних.

Заболонь – внешние слои ксилемы, которые в растущем дереве содержат живые паренхимные клетки с запасом питательных веществ.

Индекс прироста – относительное значение ширины годичных колец, полученное путем деления ее на соответствующее ей значение на сглаженной кривой для выполнения операции стандартизации.

Каллюс – ткань, образованная паренхимными клетками вокруг поврежденного участка растения (поранения).

Камбиальная активность – интенсивность деления камбиальных клеток.

Камбий – тонкий слой образовательной ткани, расположенной между вторичной ксилемой и вторичной флоэмой. В результате клеточного деления камбия происходит нарастание вторичной ксилемы изнутри и вторичной флоэмы снаружи от камбия.

Кольцесосудистая древесина – древесина, в которой просветы сосудов в ранней древесине значительно крупнее, чем просветы в поздней древесине.

Кошачья морда – отметина большого размера на поверхности дерева, появившаяся в результате повреждения (поранения) пожаром, оползнями и др., когда заживление не привело к восстановлению нормального поперечного сечения ствола.

Ксилема – водопроводящая ткань, производная камбия, образованная клетками, дифференцированными по направлению к сердцевине изнутри от камбия.

Лигнин – химическое вещество, откладываемое между микрофибриллами в процессе развития клеточной стенки.

Ложное кольцо – добавочное, выглядящее как законченное, зона прироста с хорошо заметными границами, сформированная за один сезон роста.

Морозобойная трещина – радиальное расщепление ствола и веток дерева вдоль волокон в результате внутреннего стресса, связанного с воздействием очень низких температур.

Морозобойное кольцо – искаженная структура ксилемной ткани, поврежденной заморозком в сезон роста, когда формируются клетки ксилемы.

Отметина – рана на стволе, заросшая каллюсом. Может быть нанесена пожаром, лединой, снежной лавиной, каменным оползнем и др.

Отношение «сигнал-шум» - отношение объяснимых изменений, обусловленных климатом, к изменениям, вызванным случайными факторами.

Перекрестное датирование – процедура подбора похожих изменений ширины годичного кольца в нескольких сериях годичных колец. Позволяет идентифицировать точный год формирования каждого годичного кольца или географическое место, откуда взято дерево.

Плавающая хронология – серия ширины годичных колец неизвестного возраста, которая не была перекрестно датирована в определенных календарных датах.

Пожарная подсушина – заметная или невидная отметина на стволе, ветках или кроне древесных растений, образовавшаяся при их повреждении (поранении) в результате пожара.

Поздняя древесина – плотная, часто темно окрашенная древесина годичного кольца, образованная в позднее время сезона роста; состоит из мелких толстостенных клеток у голосеменных и представляет собой зону с мелкими сосудами у покрытосеменных древесных растений.

Принцип инвариантности – физические и биологические процессы, обуславливающие изменение роста дерева под воздействием факторов окружающей среды в настоящее время, вызывающие те же изменения и в прошлом. Этот принцип является фундаментальным обоснованием использования дендрохронологии для реконструкции прошлых условий окружающей среды.

Прирост – увеличение окружности, диаметра, высоты и объема ствола, а также улучшение качества и ценности отдельных деревьев.

Пробная площадь – площадь, на которой отобрано дерево или группа деревьев для взятия образцов.

Ранняя древесина – часть годичного кольца, образованного клетками ксилемы в начале сезона роста, характеризуется большими тонкостенными трахеидами

в древесине голосеменных и многочисленными крупными сосудами в древесине покрытосеменных.

Рассеянно-сосудистая древесина – древесина, имеющая средние и мелкие сосуды, размер и распределение которых по годичному кольцу фактически одинаковы или меняются незначительно.

Реактивная древесина – ксилема аномального строения, обычно состоящая из клеток с более высокой оптической плотностью. В лиственных породах в основном образуется в растянутой зоне ствола или ветвей (тяговая древесина), а в хвойных всегда в сжатой зоне (крень).

Реперный год – совокупность перекрестно датированных особых лет (т. е. лет с резко выраженными особенностями), выделенных для группы деревьев.

Светлое кольцо – зона поздней древесины годичного кольца с заметно слабой лигнификацией; встречается преимущественно у деревьев на северной и высотной границах леса.

Сигнал – в широком смысле – фактор, определяющий ширину или другие характеристики годичного кольца: климатический сигнал, сигнал, несущий информацию об индивидуальных особенностях дерева и т. д.; в узком смысле – регистрируемое качество или картина значимой информации о климате, окружающей среде, биологических или других условиях, лимитирующих годичный прирост.

Синхронизация – поиск участков совпадения в двух хронологиях при наложении их друг на друга.

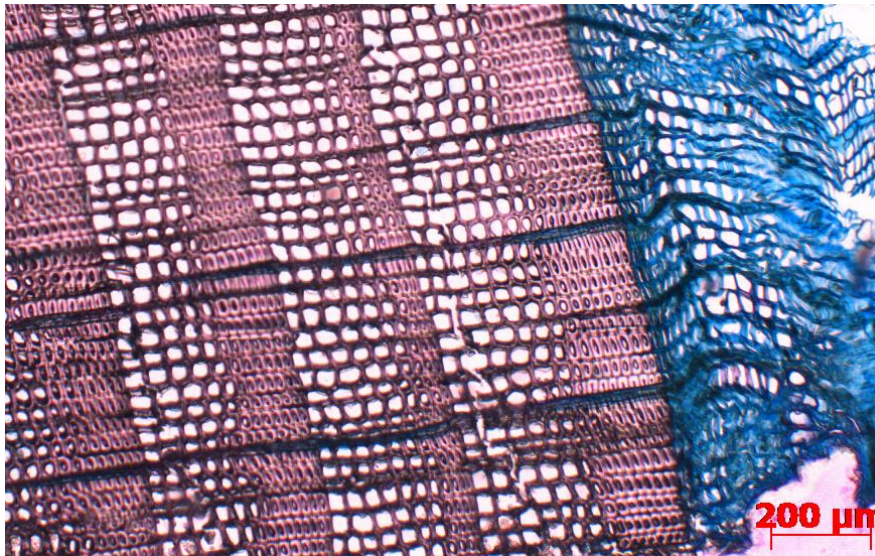
Смоляной канал – длинный межклеточный канал, окруженный паренхимой и заполненный смолой.

Средняя чувствительность – среднее изменение параметра каждого годичного кольца по сравнению со следующим годом.

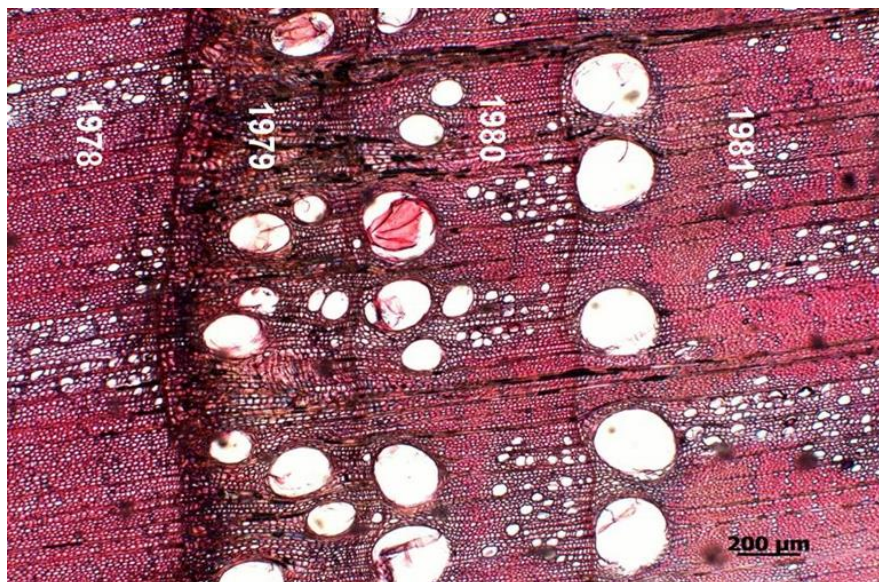
Флуктуация плотности древесины – слой клеток в пределах годичного кольца, который выделяется из соседних слоев по форме, размеру, а также форме и толщине клеточной стенки; легко определяется по диффузной границе годичного кольца в отличие от ложного кольца.

Функция отклика – метод множественной регрессии, использующий главные компоненты месячных климатических данных для оценки индексированных величин годового прироста, затем коэффициенты регрессии умножаются на главные компоненты климата для получения новой совокупности коэффициентов регрессии, которые связаны с исходными месячными климатическими переменными.

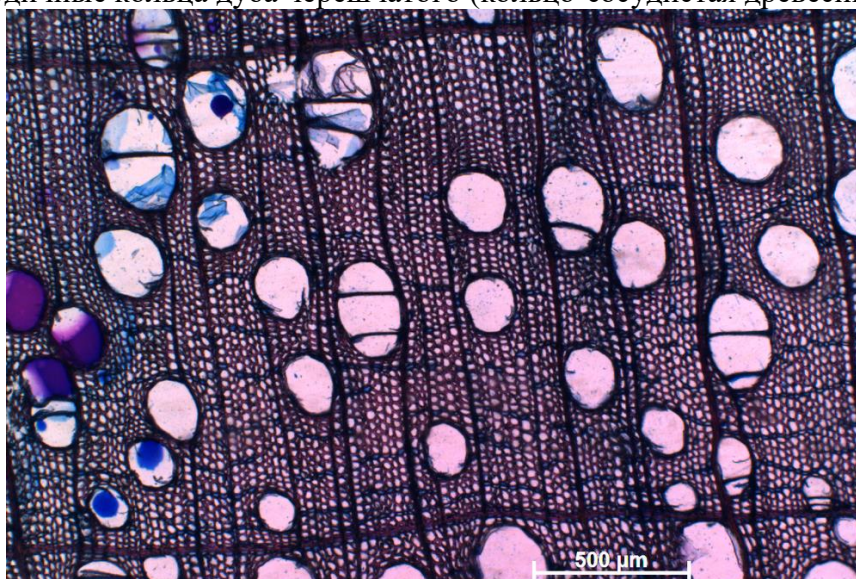
Ядровая древесина – внутренний, часто темно окрашенный слой ксилемы, расположенный вокруг сердцевины растущего дерева.



Годичные кольца сосны обыкновенной (трахеиды).



Годичные кольца дуба черешчатого (кольцо-сосудистая древесина).



Годичные кольца ореха маньчжурского (рассеяно-сосудистая древесина).