

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА»

Д. Е. Румянцев

**ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ЛЕСОВОДСТВЕННОЙ
ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ**

Монография



Москва

Издательство Московского государственного университета леса
2010

УДК 630*561.24

Р86

Рецензенты: доктор биологических наук, академик Н. В. Ловелиус, вице-президент Петровской академии наук и искусств, ведущий научный сотрудник Института озераведения РАН;
доктор географических наук О. Н. Соломина, зам. директора по науке Института географии РАН, член-корреспондент РАН

Румянцев, Д. Е.

Р86 История и методология лесоводственной дендрохронологии : монография. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. – 109 с.

ISBN 978-5-8135-0503-4

В монографии излагается история развития дендрохронологии и зарождения внутри нее отдельного самостоятельного направления – лесоводственно ориентированной дендрохронологии. Обсуждаются вопросы формирования адаптированной к потребностям лесного хозяйства методологии дендрохронологических исследований. Книга представляет интерес для дендрологов, дендрохронологов, специалистов лесного хозяйства и озеленения.

УДК 630+712

ISBN 978-5-8135-0503-4

© Д. Е. Румянцев, 2010

© ГОУ ВПО МГУЛ, 2010

«...большинство исследователей, за немногими исключениями, преследовали чисто лесоводственные цели, т.е. стремились выяснить влияние различных элементов погоды на размер прироста; противоположного вопроса, можно ли на основании анализа прироста или хода роста деревьев установить состояние погоды за соответствующее истекшее время касаются, по-видимому, только исследования Дугласа ... и Ф.Шведова».

А.П. Тольский, 1936 г.

« ... все еще не ясно, насколько данные о толщине годичных колец в многолетнем стволе могут интерпретироваться как показатель напряженности того или иного метеорологического агента (в основном осадков) в прошлом. Многочисленные работы, проведенные в этом направлении.... в США Мак-Дуголлом и его учениками, своей поверхностной методикой и поспешными и мало обоснованными выводами скорее запутали, чем разъяснили этот вопрос».

А.А. Яценко-Хмелевский, 1954 г.

«В основном дендрохронологические и дендроклиматические исследования вели климатологи и частично археологи. Лесоводы и ботаники ... в большинстве случаев использовали дендроклиматические методы несистематично, от случая к случаю, применяли ограниченные материалы, что суживало получаемые результаты».

Т.Т. Битвинкас, 1974 г.

«Необходимо усилить внимание лесоводов к вопросам дендроклиматологии и, с другой стороны, к более широкому использованию лесоводственного опыта в дендроклиматологии».

И.С. Мелехов, 1979 г.

«... перспективным и быстро развивающимся методом оценки сиюминутного и будущего состояния деревьев и насаждений является хорошо известный в лесоводственных исследованиях дендрохронологический метод».

Е.Г. Мозолевская, 2001 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ	6
1.1 Используемая система определений	6
1.2 Первые сведения об изменчивости годовичных колец	6
1.3 Зарождение классической дендрохронологии	13
1.4 Развитие представлений о физиологических основах изменчивости годовичных колец	16
ГЛАВА 2. ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСОВОДСТВЕННОЙ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ В КАЧЕСТВЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ	23
2.1 Очерк истории дендрохронологии в СССР и в постсоветской России	23
2.2 Реконструктивистское направление лесоводственной дендрохронологии	25
2.3 Опыт использования дендрохронологических методов в сфере контроля за легальностью заготовки древесины	26
2.4 Оценка эффективности лесохозяйственных мероприятий на основе дендрохронологической информации	28
2.5 Дендрохронологические методы в лесозащите	29
2.6 Дендрохронологические методы в лесной генетике	41
ГЛАВА 3. ОБСУЖДЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	48
3.1 Отбор дендрохронологических образцов	48
3.2 Обработка дендрохронологических образцов	51
3.3 Распознавание границы ранней и поздней древесины	53
3.4 Перекрестная датировка дендрохронологических рядов	54
3.5 Индексация дендрохронологических рядов	54
3.6 Построение обобщенных хронологий	58
3.7 Определение сходства между дендрохронологическими рядами	59
3.8 Выявление климатической обусловленности колебаний прироста	61
3.9 Сопряженность в колебаниях прироста ранней и поздней древесины	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
Библиографический список	80
Приложение 1 Особенности строения годовичных колец у разных групп древесных растений	93
Приложение 2. Типичная и нетипичная структура годовичных колец хвойных	97
Приложение 3. Современное оборудование для дендрохронологических исследований (раздел написан в соавторстве с С.Б. Пальчиковым)	103

ВВЕДЕНИЕ

В 2007 году в издательстве Московского государственного университета леса вышла монография «Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях» (Дендрохронологическая информация..., 2007). В число ее соавторов входили сотрудники нескольких кафедр МГУЛ: ботаники и физиологии растений; экологии и защиты леса; лесоводства и подсоски леса; селекции, генетики и дендрологии; лесоустройства и охраны леса, а также сотрудники Главного ботанического сада РАН им Н.В. Цицина и Института лесоведения РАН. Работа послужила поводом для дискуссий, стимулировала интерес к проблеме вовлечения дендрохронологической информации в практику лесного хозяйства. Она обеспечила возможность осуществления первых практических шагов в этом направлении, и прежде всего — вовлечение дендрохронологической информации в сферу контроля за легальностью заготовки древесины (Пальчиков, Румянцев 2008; Пальчиков, Румянцев, 2009).

Данный труд представляет собой новый этап в развитии изложенных в указанной выше монографии положений. В нем, в отличие от предыдущего, нет акцента на раскрытие биологической и лесохозяйственной значимости результатов получаемых на основе использования дендрохронологической информации. Как показывает опыт обсуждения, эта задача уже в значительной степени решена предыдущим трудом.

Однако многие методические и методологические аспекты требуют дальнейшего обоснования и обсуждения. Поэтому основное внимание в работе уделено теоретическим основам анализа дендрохронологической информации, оценке возможностей разнообразных методических и методологических подходов в сфере лесоводственно-ориентированной дендрохронологии. Значительное место занимает материал, посвященный исторической части, сделана попытка рассмотреть не только историю формирования отдельного направления (лесоводственной дендрохронологии) в контексте общей истории дендрохронологии как науки, но и историю формирования разных методологических и методических подходов, используемых специалистами по изучению годичных колец растений.

Данная работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты 05-04-48614; 09-05-00982). Фотографии годичных колец выполнены на базе лаборатории дендрохронологии ООО «ЗДОРОВЫЙ ЛЕС».

Глава 1. ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

1.1 Используемая система определений

Считается, что впервые термин дендрохронология был использован С. Эрландссоном в 1936 году (Шиятов, 1973). Определения дендрохронологии как науки приводились неоднократно, и соответственно, они несколько различаются в разных работах. Для того чтобы четко провести границу между классическими лесоводственно – таксационными методами и лесоводственно ориентированной дендрохронологией в данной работе мы используем собственные определения. Наши определения не претендуют на универсальность, единственная цель их введения - это исключить последующие дискуссии, основанные на различном толковании терминов. В работе мы будем пользоваться следующими понятиями:

Дендрохронология – наука, изучающая изменчивость годовичных колец и факторы ее определяющие, при условии, что год формирования каждого годовичного кольца известен.

Дендрохронологическая информация – это информация, полученная в результате изучения изменчивости годовичных колец при условии знания года формирования каждого годовичного кольца.

Древесно-кольцевая информация – информация, полученная при анализе годовичных колец с необязательной привязкой к году формирования годовичного кольца. Дендрохронологическая информация, таким образом, – это часть древесно-кольцевой информации.

Дендроклиматическая информация – дендрохронологическая информация, полученная в связи с анализом влияния климата на изменчивость годовичных колец.

1.2 Первые сведения об изменчивости годовичных колец

Сложно сказать, когда впервые человек обратил внимание на годовичные кольца деревьев. Вероятно, первую возможность заметить их дал ему каменный топор. С течением времени культура производства совершенствовалась, и вот, трудом неведомых изобретателей был создан бронзовый топор. Рубить деревья стало на много легче, сам инструмент стал долговечнее, проще для изготовления и видимо дешевле. Стали совершенствоваться знания в области использования древесины как материала для срубных построек. Так, например, при раскопках одного из древнейших поселений индоевропейцев, города Аркаим (Южный Урал), покинутого его жителями примерно в XVII в. до н.э. археологи отметили, что, несмотря на близость каменных россыпей, жители не использовали камень для возведения своих поселений (Разоренов, 2003). Одним из основных строитель-

ных материалов им служило дерево: сосна обыкновенная, сосна кедровая сибирская, виды березы. Стволы деревьев скреплялись ими такими же способами, как и использовавшиеся русскими крестьянами в XIX веке: «в обол», «в лапу», «в перевязку». Кажется вероятным, что и другие основные приемы плотников-строителей, известные русским крестьянам в XIX веке были известны и их предшественникам, жившим около четырех тысяч лет назад.

В частности известно, что русские крестьяне предпочитали для построек древесину сосны с узкими годичными кольцами и значительным процентом поздней древесины в годичном кольце. Д.Н. Кайгородов (2004) описывает эти народные представления следующим образом: «Самую ценную древесину дает сосна, выросшая на так называемых боровых, т.е. свежих, песчаных, возвышенных местах, а также на возвышенностях с каменистой почвой. На таких местах она образует обыкновенно чистые сосновые леса без примеси других древесных пород (за исключением можжевельника) и имеет древесину мелкослойную, плотную, смолистую, крепкую, прочную и желто-красного цвета, которая у свежесрубленных и смоченных дождем деревьев является почти огненно-красной. Такая сосна носит в различных местностях России названия рудовой, кандовой, лутичной, жаровой и др.

Сосна же, растущая на местах низменных, сырых, в смеси обыкновенно с елью, березой, осиной и др., имеет древесину крупнослойную, рыхлую, менее крепкую и далеко не столь прочную как рудовая. Такая сосна носит название мяндовой, мяндочной, мочежинной, молодяковой, серяковой, пресной и др.».

Очевидно, что до возникновения письменности многие народы уже могли обладать некоторой передававшейся изустно информацией о связи между типом леса, особенностями строения годичных колец и качеством древесины.

Помимо того, что древесина была ценным строительным материалом, древесные растения часто были священными объектами в системе языческих верований самых разных народов. Например, как отмечает Дж. Фрезер (1983), древнейшими храмами у всех европейских народов были участки естественных лесов. Жрецы-смотрители таких храмов естественно должны были обладать некоторыми познаниями в области физиологии древесных растений. Так Фрезер рассказывает о весьма показательном обычае языческих жрецов у древних германцев. Человека содравшего кору с дерева священной рощи ждало жестокое наказание: преступнику вырезали пупок и пригвозждали его к той части дерева, которую он ободрал; затем его вертели вокруг дерева до тех пор, пока кишки полностью не наматывались на ствол.

В основе этого обычая просматривается наличие каких то объективных представлений о камбии и его роли в росте деревьев, перемешанных с мистическими представлениями. Ничего более конкретного о знаниях той поры сказать уже нельзя, даже эти косвенные намеки, уцелели для нас, вероятно, только потому, что обычай был шокирующим и надолго запомнился услышавшим о его существовании.

Можно допустить, что годичные кольца также издавна использовались для определения возраста деревьев.

Первые письменные упоминания о годичных кольцах древесины содержат труды «отца ботаники», эллинского мыслителя Феофраста (Феофраста), ученика Аристотеля, жившего в 372–287гг. до нашей эры. В своем капитальном труде «Исследование о растениях» (Феофраст, 2005) он дает сводку ботанических и растениеводческих знаний своего времени. В числе прочего он упоминает и о существовании годичных колец у деревьев. Так он отмечает: «Пихта многослойна, вроде луковицы, под видимым слоем всегда есть еще другой – они и составляют целое дерево». Отмечается им это и в других местах, например: «Плотники говорят, что ядро есть в каждом дереве, виднее же всего оно у пихты: оно состоит у нее из круговых слоев наподобие коры». По-видимому, знал он и о существовании возрастного тренда в изменчивости годичных колец, о разной структуре их у разных видов деревьев. Более уверенно говорить об этом нельзя - как отмечает автор использованного нами перевода К.Б. Шишкин, перевод Феофраста сложен – труден язык, манера изложения, не всегда последовательна терминология...

Труды Леонардо да Винчи оказали малое влияние на течение научной мысли того времени, так как общество было не готово для их восприятия, но изложенные в трудах Леонардо наблюдения во многом предвосхитили свое время. В «Трактате о живописи» (Леонардо да Винчи, 1955), составленном из записей Леонардо да Винчи в XVI веке содержится следующий отрывок: «Круги древесных ветвей показывают число их лет и то, какие были более влажными и более сухими, смотря по большей и меньшей их толщине. И так показывают они страны света, смотря по тому, куда они обращены, потому что более толстые обращены более к северу, чем к югу и, таким образом, центр дерева по этой причине ближе к его южной, чем к северной коре. И хотя это живописи ни к чему, все же я об этом напишу, дабы опустить возможно меньше из того, что известно мне о деревьях».

Вероятно, что первые наблюдения работы камбии древесных растений принадлежат Неемии Грю, английскому натуралисту, коллеге открывателя растительной клетки Роберта Гука. В своей книге «Анатомия растений» вышедшей в 1682 году он изложил следующие наблюдения (цит. по Серебряков, 1941): «...Каждый год, – говорит он, кора дерева разделяется

на две части и распределяется по двум противоположным путям. Наружная часть откладывается по направлению к коре и со временем становится сама корой. Внутренняя же часть коры ежегодно разрастается и присоединяется к древесине... Так, кольцо проводящих лимфу каналов коры на следующий год будет кольцом древесины, затем то же повторяется с другим кольцом каналов и древесины и так далее из года в год». Несмотря на то, что у Грю еще отсутствовали четкие представления о камбии как самостоятельной ткани, механизм его работы он уже представлял верно.

Представления о камбии как самостоятельном слое, занимающем промежуточное положение между корой и древесиной, были сформулированы французским лесоводом Духамелем (1700–1781) (Серебряков, 1941).

Отец современной биологической систематики Карл Линней также уделил некоторое внимание изменчивости годичных колец. В своем труде, опубликованном в 1747 г. (Линней, 1989) он отмечал что: «Возраст большинства деревьев исчисляется по смоляным, или внутренним кольцам», а также что: «Летопись более суровых и легких зим определяется по внутренним кольцам у большинства деревьев, особенно у дуба».

Первой российской работой, в которой уделяется внимание закономерностям изменчивости годичных колец, по видимому был вышедший на немецком языке труд сотрудника Петербургского ботанического сада Александра Ивановича Шренка «Путешествие к северо-востоку Европейской России через тундры самоедов к северным Уральским горам, предпринятое в 1837г. Александром Шренком». Второй том этого труда вышел в 1854г., и, в частности, содержит сведения о том, что с южной стороны ствола дерева формируются более широкие годичные кольца, благодаря чему ствол дерева приобретает эксцентричность (Иванов, 2009). С этим мнением полемизирует академик А.Ф. Миддендорф в своем труде «Путешествие на Север и Восток Сибири: Растительность Сибири» вышедшем в 1867 году, утверждая, что в области его исследований подобной закономерности не наблюдается (Иванов, 2009).

Тема исследования изменчивости годичных колец развивается в книге А.Н. Бекетова «О влиянии климата на возрастание сосны и ели», опубликованной в 1868 году (Бекетов, 1868). Ширина годичного кольца интересовала его в первую очередь как индикатор механических свойств древесины. Им в частности отмечалось, что для полноценного изучения влияния климата на ширину годичного кольца необходимо учесть еще и влияние почвы, от качества которой ширина кольца также зависит. Бекетов интересовала изменчивость годичных колец практически всех основных лесобразующих пород, но в своей статье он ограничился лишь хвойными: сосной, елью, лиственницей и сосной сибирской. Он отмечает, что породы различно реагируют на один и тот же экологический фактор. Например, он пишет: «Сырая почва способствует напр. утолщению слоя елей, производя

обратное явление у сосны. Кроме того, самая плотность древесины не у всех деревьев определяется толщиной годичных слоев нарастания. Хвойные вообще становятся более плотными с уменьшением толщины слоев, лиственные часто наоборот». Помимо влияния климата, почвы и вида древесного растения Бекетов отметил роль фактора возраста: «Известно, что в начале сосна растет быстрее, образуя более широкие годичные кольца». Отмечен им факт, что деревья, растущие на просторе, дают годичные слои более широкие, чем деревья, растущие в сомкнутом насаждении. Был также поставлен вопрос о необходимости исследовать факторы, влияющие на соотношение ранней и поздней древесины в годичном кольце.

Исследование Бекетова не было собственно дендрохронологическим. Бекетов не изучал колебания годичного кольца от года к году, не рассматривал влияние погодных условий разных лет на ширину кольца. Влияние климата на ширину годичного кольца им было рассмотрено в географическом аспекте, и, в итоге, он пришел к выводу, что чем севернее, чем холоднее лето в данной местности, тем уже годичные кольца.

Во многом аналогичным по методологии исследованию Бекетова, было исследование Д.И. Менделеева опубликованное в 1899 г. (Менделеев, 1954). Занимаясь вопросами оптимизации объемов вырубki древесины для нужд железоплавильной промышленности, Менделеев провел исследования роста хвойных и лиственных пород, используя для этого спилы, собранные в разных географических точках. Проблему влияния абиотических факторов на прирост он излагает следующим образом: «На севере сумма света, получаемого ежегодно деревом в течение растительного периода, уменьшается, а потому можно ждать и уменьшаемого прироста. Когда представим себе десятину равномерно сплошного леса данной породы на разных широтах, то невольно рождается сравнение между актинометром, принимающим солнечный свет, и лесом, с тем существенным различием, что на физическом приборе отметится момент, а тут вся сумма моментов выражается в приросте. Сложность дела очевидна уже по одному тому, что прирост зависит от породы, от влажности, от почвы, от перемен погоды и особенно от осадков (дождей) во время роста и просто от индивидуальностей, свойственных органическим особям. Тем не менее, возбужденный интерес заставил меня начать собирание данных, сюда относящихся». В своей работе Менделеев ссылается на более раннюю публикацию – вышедшую в 1892 году работу русского профессора Ф.Н. Шведова (1972), которая считается первой дендрохронологической работой в России. Зная о работе Шведова, влияние погодных условий на толщину годичных колец сам Менделеев старался исключить, и поэтому оперировал такими показателями как средняя ширина годичного кольца за десять и за двадцать лет.

Многие идеи в области использования древесно-кольцевой информации в лесоводственных исследованиях не были Д.И. Менделеевым реализованы в полной мере, он лишь обозначил их как перспективные направления исследований. Так, им предложено рассчитывать и использовать в исследованиях показатель суммарного прироста деревьев на определенной площади. Им же высказана мысль о том, что прирост деревьев стремится к определенному пределу – дряхлости, когда наступает от случайностей смерть или засыхание. На основании изменчивости прироста им делались предположения об истории фитоценоза - о том, что ранее на участке, где было срублено модельное дерево, располагалось болото, затем осушенное.

Следует отметить, что хотя русские исследователи внесли существенный вклад в развитие методик дендрохронологического анализа, но иногда заслуги в этой сфере исследований им приписываются без веских на то оснований. В частности в работе Ю.В. Полюшкина и Л.В. Попова (Полюшкин, Попов, 1979) к числу методически близких к дендрохронологическому направлению работ отнесена публикация С.Конардова (1888), посвященная влиянию на лесные насаждения разливов реки Волга. Действительно, Конардовым были разработаны приемы реконструкции на местности тех уровней, до которых поднимаются полые воды, что имело большое значение с точки зрения рациональной организации лесопользования и лесокультурных работ. Однако древесно-кольцевая информация им никак при этом не использовалась. Годичные кольца в данной публикации практически не упоминаются (кроме фразы «Ведь не скрипки же в самом деле делать из ветлы, чтобы гнаться за мелкослойностью»). Примечательно, что в списке литературы ссылки на статью Конардова приведены неверно (с.978-984, тогда как на самом деле с. 854-872). В итоге, следует считать, что с отнесением работы Конардова к методологически близким к дендрохронологии можно согласиться лишь с большой натяжкой.

Изложенные выше факты позволяют сделать вывод, что к моменту зарождения классической дендрохронологии мировая наука обладала уже значительным объемом знаний касающихся изменчивости годичных колец. Представления об этом объеме можно получить, например, ознакомившись с трудом немецкого ботаника М.Бюсгена, опубликованном в 1897 году и почти сразу же переведенном и изданном в России (Бюсген, 1906). По характеристике Г.Ф. Морозова, высказанной им в предисловии к русскому изданию книги, М. Бюсген – это « талантливый и чуткий к лесоводственным запросам автор», который « принял во внимание лесоводственную литературу и проявил высокую избирательную способность в обильном и разнообразном материале которым он пользовался». В данной книге отдельная глава так и называется «Годичное кольцо». С точки зрения дендрохронологии кажется важным обратить внимание на то, что Бюсгену

было уже известно существование выпадающих и ложных годичных колец, также как и факторы, вызывающие их формирование. Им были подробно рассмотрены закономерности изменчивости годичных колец в связи с фактором возраста и их положением в дереве. Много внимания было уделено процессу дифференциации древесины в годичном кольце на раннюю и позднюю.

Но особенно интересны в контексте нашей темы его наблюдения над влиянием внешних условий на ширину годичных колец. Он отмечает, что «Зависимость ширины годичных колец, т.е. прироста в толщину от внешних условий еще недостаточно изучена. На основании чисто эмпирических данных мы знаем, что условия местопроизрастания могут иметь решающее влияние на величину прироста. Кроме того, известно, что результатом слишком сильного стеснения кроны и корней бывает уменьшение ширины годичного слоя. Последнее обстоятельство нередко позволяет судить о том, росло ли данное дерево при условии сильной конкуренции соседей, или же на свободе. Мало того, ширина годичных колец может говорить о годах неблагоприятного роста. По подсчету узких годичных колец, сменявших широкие слои дуба, Нердлингеру удавалось проследить периодичность летных годов майского жука, восходящую до прошлого столетия... Уменьшения годичных колец могут быть вызваны, однако, не одними внешними, случайными повреждениями, узкие слои нередко являются результатом обильного плодоношения в так называемые временные годы... нельзя точно установить прямой связи между метеорологическими колебаниями различных лет и шириной соответствующих годичных слоев... Световой прирост замечается иногда уже на первом году при осветлении деревьев с хорошо развитой кроной или же при осветлении насаждения в молодом возрасте. В большинстве случаев, однако, увеличение прироста наступает лишь на второй, третий или даже четвертый год после осветления... Недавние исследования Нейгера показали, что новым фактором прироста является ветер... Годичные кольца на различных сторонах ствола обнаруживают нередко различную ширину. Неравномерное утолщение годичных колец у некоторых пород передается по наследству (граб и тисс), в других же случаях это явление вызывается только внешними факторами разного рода... Во многих случаях констатировано, что положение относительно стран света также влияет на эксцентричность древесных стволов. Однако, в этом случае эксцентричность стволов здесь обусловливается не столько направлением солнечных лучей, сколько господствующим воздушным течением».

Можно видеть, что к началу XX века работами ботаников и лесоводов были накоплены довольно разносторонние знания о факторах изменчивости годичных колец и классическая дендрохронология начала развиваться уже далеко не на пустом месте. В литературном обзоре мирового

опыта дендроклиматических исследований, выполненном в начале XX века А.П. Тольским (Тольский, 1936) отмечалось, что «большинство исследователей, за немногими исключениями, преследовали чисто лесоводственные цели, т.е. стремились выяснить влияние различных элементов погоды на размер прироста; противоположного же вопроса, можно ли на основании анализа прироста или хода роста деревьев установить состояние погоды за соответствующее истекшее время касаются по видимому только исследования Дугласа... и Ф. Шведова».

1.3 Зарождение классической дендрохронологии

Первыми собственно дендрохронологическими исследованиями считаются работы американца Д.Кюхлера (Kuechler, 1859), австрийского учителя гимназии Покорни (Pokorny, 1869), датского лесоведа Д. Кептейна (Kerpeyn, 1914) и русского климатолога Ф.Н. Шведова (1892) (Шиятов и др., 2000).

Русским метеорологом Ф.Н. Шведовым в опубликованной в 1892 году статье (Шведов, 1972) отмечалось влияние на ширину годичного кольца таких факторов, как гидрографические особенности местности, возраст деревьев, радиус исследуемого слоя (геометрические эффекты возраста), эксцентричность слоя, радиус слоя последнего года (подразумеваемая эффекты разного бонитета насаждений). Исследования Шведова выполнялись в г. Одесса на спилах акации, колебания ширины годичных колец которой от года к году зависели, по мнению автора, от «...количества питательного вещества, всасываемого из почвы корнями и отлагающегося в форме клеток между корою и стволом дерева в течение растительного сезона. А так как процесс всасывания обуславливается существенно влажностью почвы, и следовательно количеством атмосферных осадков, то отсюда следует, что перемежаемость толщины годичных слоев подсказывает существование некоторого порядка в чередовании сухих и влажных годов, и что этот порядок может быть раскрыт обстоятельным изучением годичных слоев многолетних растений».

Зная год, когда были спилены модельные деревья акации, Ф.Н. Шведов поставил ему в соответствие ближайший к коре годичный слой и далее датировал каждое годичное кольцо. Им также была осознана необходимость индексирования ширины годичных колец и предложен метод сглаживания направленный на удаление из временных рядов радиального прироста возрастного тренда. Им отмечалась синхронность индексированных индивидуальных хронологий, проводилось их осреднение с целью избавиться от эффектов индивидуальной variability прироста. Ф.Н. Шведовым отмечалось образование ложных годичных колец и дано указание для их правильного распознавания: «Но может случаться продолжительная

засуха среди лета, и тогда растительный процесс замедляется, появляются мелкие клетки, придающие средней части слоя уплотненный вид. Подобное же замедление роста ствола происходит вследствие потери листьев и ветвей. При таких условиях годичный слой распадается на два, а иногда и на большее число подразделений, которые при поверхностном рассмотрении могут быть приняты за самостоятельные годичные слои, что приведет к ошибке при определении возраста, как каждого последующего слоя, так и всего дерева. Чтобы избежать этой ошибки нужно заметить, что уплотнения, образующиеся среди лета вследствие случайных причин, имеют расплывчатый, неопределенный контур и не тянутся непрерывным поясом по всей окружности слоя. В виду сказанного, каждый слой должен быть прослежен с большим вниманием по всей периферии, и при том при помощи лупы».

Шведовым был обнаружен 9-летний цикл в изменчивости ширины годичных колец, который он связал с действием засух. В тоже время, на спилах сосны и ели, поступающих из района Полесья, он не обнаружил никакой периодичности. Данное наблюдение крайне важно с точки зрения лесной дендрохронологии, так как демонстрирует принципиальную разницу в закономерностях изменчивости прироста на границе ареала (в данном случае ареала всей лесной зоны) и в оптимальных, лесных условиях произрастания.

Своей работе Ф.Н. Шведов видел практическое приложение в возможности на основе изменчивости годичных колец выявить периодичность засух, а следовательно, и периодичность неурожая зерновых. Однако, как отмечает он сам: «Центр тяжести результатов этого исследования состоит в том, что толщина годичного слоя зависит функционально от количества годовых осадков, и что поэтому разрез дерева может заменить собою плювиометрические измерения там, где таковые не производились».

В целом исследование Ф.Н. Шведова содержало в себе все основные принципы, на которых в последствии развилась классическая дендрохронология. Однако часть приемов классической дендрохронологии им еще не были четко обозначены, например принцип перекрестной датировки для контроля за правильностью распознавания годичных колец и датировки древесины мертвых деревьев. Неизвестным осталось Ф.Н. Шведову существование выпавших годичных колец. Он не допускает мысли, что колебания прироста могут быть связаны с колебаниями температур, а исходит из того, что на приросте сказываются только осадки и потому в районах с хорошей влагообеспеченностью бессмысленно искать периодичность в колебаниях прироста.

Основателем классической дендрохронологии по праву считается американский астроном А.Е. Дуглас (Fritts, 1976; Nash, 1997). Считается, что свои работы в области исследования годичных колец он начал около

1901 года. На начальных этапах его интересовало наличие взаимосвязи между изменчивостью годовых колец, колебаниями климата и солнечной активностью. Открытый им принцип перекрестной датировки позволил строить длинные хронологии, включая в анализ в том числе и умершие деревья. Опубликованная в 1914 году статья Дугласа заинтересовала археолога Висслера и это положило начало использованию метода перекрестной датировки в археологии для датировки ископаемой древесины. Несмотря на то, что перекрестную датировку годовых колец деревьев использовали и до Дугласа, например в 1737 французские натуралисты, уже упоминавшийся выше Духамель (Duhamel) и Бюффон (Buffon), а позднее еще по меньшей мере трое исследователей, именно Дуглас положил этот принцип в основу широких исследований, из которых зародилось отдельное научное направление (Fritts, 1976). Основанное Дугласом научное направление получило название **дендрохронология**. Его качественное отличие от всех иных направлений, связанных с изучением годовых колец – это обязательное знание календарного года формирования каждого годового кольца. В 1937 году Дугласом в Аризоне была основана лаборатория «Исследования годового кольца». «Общество изучения годовых колец», организованное также Дугласом с 1934 начало издавать периодический «Бюллетень древесных колец» (Tree-Ring Bulletin), издание которого продолжается и по настоящее время. Первыми учениками Дугласа были геолог В.С. Глок, а так же астроном и климатолог Е. Шульман.

Подводя итог этой части обзора, мы можем только согласиться с выводами А.П. Тольского (1936). Характеризуя историю основного раздела дендрохронологии – дендроклиматологии к 1936 году, известный русский лесовод и физиолог растений А.П. Тольский (1936) отмечал, что «большинство исследователей, за немногими исключениями, преследовали чисто лесоводственные цели, т.е. стремились выяснить влияние различных элементов погоды на размер прироста; противоположного вопроса, можно ли на основании анализа прироста или хода роста деревьев установить состояние погоды за соответствующее истекшее время касаются по видимому только исследования Дугласа ... и Ф.Шведова». Однако, при этом, на современном этапе развития дендрохронологии уже ни в коей мере нельзя полностью согласиться с А.А. Яценко-Хмелевским (1954), утверждавшим, что «... все еще не ясно, насколько данные о толщине годовых колец в многолетнем стволе могут интерпретироваться как показатель напряженности того или иного метеорологического агента (в основном осадков) в прошлом. Многочисленные работы, проведенные в этом направлении.... в США Мак-Дуголлом и его учениками, своей поверхностной методикой и поспешными и мало обоснованными выводами скорее запутали, чем разъяснили этот вопрос». Безусловно, что сформулированная Дугласом методология была научно продуктивной и оказала огромное стимулирующее

влияние на развитие исследований в крайне важной для лесоводства области – сфере оценки вклада климатических факторов в формирование прироста древесины.

1.4 Развитие представлений о физиологических основах изменчивости годовых колец

Некоторые начальные этапы формирования представлений о функционировании камбия уже были рассмотрены нами в разделе 1.2. Здесь же добавим, что первым исследователем, всерьез заинтересовавшимся процессами дифференциации клеток годового кольца на раннюю и позднюю древесину был Юлиус Сакс. В 1868 году им было высказано предположение, что образование осенней древесины с ее толстыми оболочками и узкими полостями клеток является следствием нарастающего к осени механического давления коры на камбий и новообразующиеся из него молодые клетки древесины. Усиление давления коры казалось Саксу естественным следствием постоянного увеличения в течение лета диаметра древесинного цилиндра. Дискуссия, разразившаяся в научном сообществе, в итоге которой гипотеза Сакса была отвергнута, подробно изложена в труде М.Бюнгена (1906) и кратко пересказана К.К. Серебряковым (1941). Лишь в свете учения о растительных гормонах процесс периодичности в активности камбия получил непротиворечивое объяснение.

Предтечей гормональной теории активности камбия следовало бы считать немецкого лесовода Теодора Гартига (1853), который отмечал, что радиальный прирост обычно начинает формироваться у основания тронувшейся в рост почки и распространяется по нисходящей в ветви и ствол (цит. по Zimmermann, Brown, 1971). В 30 гг. XX века, на основании обобщения ряда экспериментальных наблюдений Циммерманном была сформулирована теория, согласно которой индоллил-уксусная кислота (ауксин), продуцируемая тронувшимися в рост почками и удлиняющимися побегами базипетально распространяется и стимулирует активацию камбия весной (Zimmermann, Brown, 1971). В настоящее время считается, что помимо ауксина в данный процесс вовлечены и другие вещества, например цитокинины и гиббереллины, раффиноза и галактоза (Zimmerman, Brown, 1971; Лир, Польстер, Фидлер, 1974; Ваганов, Терсков, 1977; Судачкова, 1981; Меняйло, 1987; Антонова, 1999; Коровин, Новицкая, Курносков, 2003).

В монографии Л.Н. Меняйло (1987) приводятся подробные данные о гормональном метаболизме хвойных в связи с формированием ими древесины. Ее выводы основаны как на обобщении широкого круга доступных автору литературных источников, так и на результатах собственных экспериментов с сеянцами сосны обыкновенной. Подводя итог своим исследованиям, Меняйло отмечает, что сроки и интенсивность камбиальной дея-

тельности и цитодифференцировки трахеид определяются специфичностью сезонных поступлений и динамики фитогормонов в прикамбиальной зоне ствола хвойных. На этот процесс влияет разновременность функционирования апикальных меристем побега и корней, рост молодой хвои и присутствие хвои старой. По высоте дерева наблюдается градиент фитогормонов, что обуславливает различия в сроках и интенсивности камбиальной деятельности и онтогенеза трахеид и определяет специфику строения годичных колец в разных частях ствола.

Исследования показывают, что этот процесс определяется изменением концентрации ауксина. Подробный обзор работ по этой теме приведен в монографии Х. Лира, Г. Польстера, Г.-И. Фидлера (1974). Особенно важно упомянуть результаты работ, показавших фотопериодический контроль перехода камбия к образованию поздней древесины. Ссылаясь на данные Целавского (Zelawski, 1958), Ларсона (Larson, 1960), Целавского и Водизкиго (Zelawski, Wodziki, 1960) отмечается (Лир и др., 1974), что лиственница европейская, сосна смолистая и ель обыкновенная при длинном дне образуют раннюю, а при коротком дне позднюю древесину. Авторы отмечают, что фотопериод действует в данном случае, вероятно, лишь косвенно, путем управления образованием в листьях ауксинов и ингибиторов роста.

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

Лиственница, являясь породой с четко выраженной границей между ранней и поздней древесиной (Вихров, 1959), наиболее подходит для анализа факторов влияющих на соотношение поздней древесины в годичном кольце. Известная общность физиологии хвойных дает нам основания полагать, что процессы регуляции доли поздней древесины выявленные на материале лиственницы характерны и для других видов хвойных.

Попытаемся проанализировать связь между долей поздней древесины в годичном кольце и фенологическими характеристиками разных видов лиственницы произрастающих в коллекции ГБС РАН (табл. 1).

Таблица 1

Фенологические характеристики видов лиственницы в условиях ГБС РАН

Вид	Срок начала вегетации	Срок окончания вегетации	Срок начала роста побегов	Срок окончания роста побегов	Время цветения
Лиственница японская	Конец апреля	Первая половина ноября	Вторая половина мая	Середина августа, редко середина сентября	Начало мая
Лиственница европейская	Середина апреля	Первая половина ноября	Середина мая	Конец августа, иногда середина сентября	Май, иногда конец апреля
Лиственница сибирская	Середина апреля	Конец октября	Середина мая	Конец июля	Конец апреля, начало мая

Если проанализировать фенологические особенности видов лиственницы, то можно отметить, что по срокам цветения выраженных отличий между ними нет. Вегетация у всех видов начинается практически одновременно, несколько запаздывает в этом отношении лиственница японская. По срокам окончания вегетации отличия более выражены, у лиственницы сибирской – она заканчивается раньше, чем у лиственницы японской и лиственницы европейской. Хвоя у последнего вида сохраняется на побегах дольше, чем у всех остальных лиственниц. Рост побегов начинается у всех видов практически одновременно. У лиственницы европейской и лиственницы японской заканчивается он также почти одновременно, а вот у лиственницы сибирской гораздо раньше – в конце июля. В свете изложенных выше представлений следовало бы ожидать, что лиственница сибирская будет отличаться от двух других видов большей долей поздней древесины в годичном кольце (рис.1). Действительно видно (рис.1), что лиственница европейская характеризуется наибольшей долей поздней древесины в годичном кольце, в то же время лиственница европейская и лиственница японская характеризуются близкими значениями доли поздней древесины в годичном кольце. Таким образом, господствующие в настоящее время представления о сопряженности между сроком окончания роста побегов и переходом клеток камбия к формированию трахеид поздней древесины подтверждаются и на нашем примере. Из рис.1 также видно, что доля поздней древесины зависит и от возраста. Рост доли поздней древесины с возрастом у всех трех видов идет за счет уменьшения ширины слоя ранней древесины, особенно эта тенденция выражена у лиственницы европейской (рис. 2)

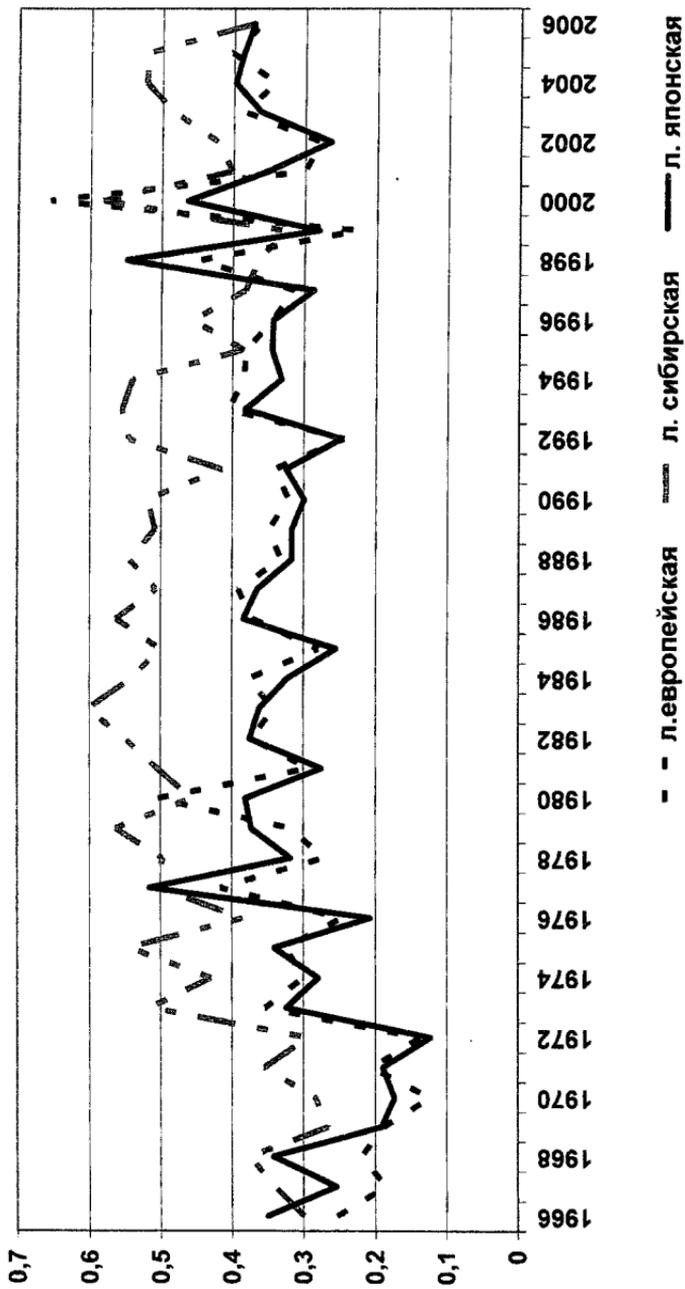


Рис.1 Динамика доли поздней древесины у трех видов лиственных породы в условиях ГЭС РАН

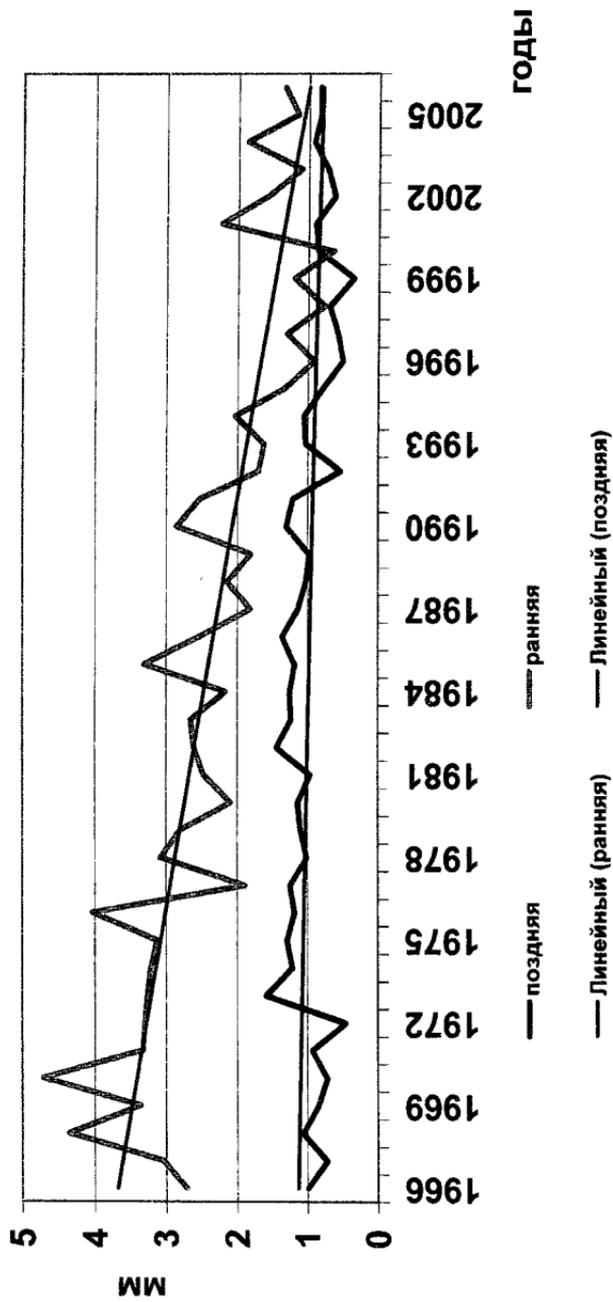


Рис. 2 Средняя ширина слоев ранней и поздней древесины у учетных деревьев лиственницы европейской, а также линии линейного тренда для данных временных рядов

Факт, слабой изменчивости ширины слоя поздней древесины с возрастом давно и хорошо известен. Так в одном из лучших в мировой литературе руководств по анатомии растений, составленном Кэтрин Эсау (1969) отмечается, что при уменьшении ширины годичного кольца у хвойных в нем уменьшается объем, приходящейся на долю ранней древесины. В то же время у двудольных уменьшение ширины колец происходит преимущественно за счет поздней древесины. В расширенной форме эти представления раскрыты в диссертации Н.Е. Косиченко (1999). На основании собственных исследований автор пришел к выводу о том, что у хвойных ширина слоя поздней древесины в годичном кольце в онтогенезе остается практически постоянной, тогда как у лиственных кольцесосудистых пород постоянно напротив ширина ранней части.

Данные отличия, с точки зрения автора имеют глубокий биологический и эволюционный смысл. Ширина поздней древесины у хвойных и ширина слоя ранней древесины у кольцесосудистых это жестко генотипически детерминированные признаки, слабо зависящие от условий внешней среды. Путем простого учета этих признаков возможно производить отбор наиболее продуктивных растений с высокой плотностью древесины. Особенно важным в выводах Косиченко нам кажется тот факт, что поздняя древесина хвойных и поздняя древесина кольцесосудистых это - признаки с разной генетикой проявления. Это является серьезным обоснованием в пользу гипотезы независимого возникновения пиноксилности у двудольных.

В монографии Чавчавадзе (1979) вопросы эволюции пиноксилности рассмотрены более подробно, мы позволим себе только краткий пересказ изложенных там представлений. Прежде всего, большинство ископаемых растений, такие как лепидодендроны, семенные папоротники, беннеттитовые, так же и сохранившиеся до наших дней древовидные папоротники и саговниковые относятся к маноксилным растениям, т.е. к тем, у кого основная масса ствола занята паренхимными тканями. К пиноксилным растениям относят кордаитовые и хвойные, у них основная масса ствола занята ксилемой, выполняющей помимо водопроводящей также механическую функцию поддержки кроны. Считается, что у двудольных пиноксилный тип организации появился независимо от хвойных.

Камбий у маноксилных растений активен непродолжительное время, со временем его элементы полностью дифференцируются. У пиноксилных напротив, камбий активен в течение всей жизни дерева, что, безусловно, открывает более широкие возможности для адаптивных реакций в ходе онтогенеза.

Не вдаваясь в детали филогенеза, подробно изложенные Е.С. Чавчавадзе, мы бы хотели еще раз акцентировать внимание читателя на том, что пиноксилность, а затем и периодичность в активности камбия и ее след-

ствие – годичная слоистость у разных групп растений возникали независимо. Это должно говорить, прежде всего, о большой адаптационной ценности данного признака.

В чем же биологический смысл подразделения годичного слоя на раннюю древесину (клетки которой имеют большие полости, но тонкие клеточные стенки) и позднюю (клетки которой имеют маленькие полости и толстые клеточные стенки)? Принято считать, что ранняя древесина хорошо приспособлена для транспорта воды по стволу дерева, тогда как поздняя обеспечивает стволу механическую прочность (Раздорский, 1955; Москалева, 1957; Вихров, 1954; Перелыгин, 1969; Эсау, 1969; Чавчавадзе, 1979).

У хвойных клетки ранней и поздней древесины отличаются не только толщиной стенок, но и количеством и размерами окаймленных пор. Ранние трахеиды имеют на своих радиальных стенках большое количество крупных окаймленных пор, поздние трахеиды содержат более мелкие окаймленные поры и в гораздо меньшем количестве (Москалева, 1957).

В целом поздняя древесина у сосны, лиственницы и ели в 2,5-3 раза превышает раннюю по таким показателям как плотность и модуль упругости (Санаев, 1996).

У лиственных пород отличия ранней и поздней древесины по физико-механическим свойствам выражены не так ощутимо – такой показатель как превышение плотности ранней зоны над поздней изменяется от 1,1 у граба до 1,4 у ольхи (Санаев, 1996).

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

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

В то же время, по мере разделения климата на умеренный и холодный сезоны года, работе камбия потребовалась синхронизация с ходом изменения климатической обстановки в течение года. Важную роль в этом процессе, по видимому, играли фотопериодические механизмы.

Можно предполагать, что холодная зима предъявляла повышенные требования к отбору на прочность ствола за счет таких факторов как морозобой и снеговал, что и потребовало от древесных растений формирования широких слоев поздней древесины. Затруднение в транспорте воды по такой древесине в свою очередь, вероятно, обусловили процесс естественного отбора на формирование выраженного слоя ранней древесины.

ГЛАВА 2. ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСОВОДСТВЕННОЙ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ В КАЧЕСТВЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

2.1 Очерк истории дендрохронологии в СССР и постсоветской России

Существует очень подробный и качественный обзор истории развития дендрохронологических исследований в СССР, выполненный классиком отечественной дендрохронологии (Shiyatov, 1988). Поэтому в этом разделе мы укажем лишь на важные с точки зрения развиваемой нами темы моменты. Большинство авторов сходится в выводе о том, что зародившееся в трудах Дугласа новое, «реконструктивистское» направление исследования изменчивости годичных колец быстро приобрело популярность, и в дальнейшем дендрохронологический метод развивался в основном согласно с потребностями климатологии и археологии, для решения же лесоводственных задач он применялся гораздо менее широко (Комин, 1968; Иерусалимов, 1971; Шиятов, 1973; Битвинкас, 1974;). Эта общая тенденция оказалась справедлива и для советской научной школы.

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

Если обратиться к исследованиям наиболее авторитетных дендроклиматологов советской научной школы, то видно, что излюбленным объектом их исследований являлись насаждения в экстремальных условиях произрастания, например лесотундровые экосистемы (Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996; Ловелиус, 1979; Шиятов, 1986; Мазепа, 1998;), что само по себе важно, но ни в коей мере не является приоритетной потребностью лесоводства и лесоведения. Как отмечал С.Г. Шиятов (1973), наблюдается общая тенденция, согласно которой наибольшее число исследований в области дендроклиматологии проведено на крайних пределах возможного произрастания древесной растительности, где лимитирующие рост факторы проявляют свое действие наиболее полно: южные, нижние, верхние и

полярные пределы лесов, переходные зоны между массивами лесов и болот, между лесопокрытой территорией и водной поверхностью.

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

Основные принципы классической дендрохронологии (Шиятов, 1973; Fritts, 1976) сформулированы таким образом, что в их рамках не остается места для ряда важных с точки зрения лесоводства и лесоведения задач, да и собственно лес кажется «неполноценным» объектом исследования. В самом деле, для лесовода, собирающегося выяснить, например, какими климатическими факторами лимитируется формирование урожая древесины в конкретном лесном массиве совершенно бессмысленны рекомендации отбирать при исследовании деревья, величина прироста которых ограничивается, возможно меньшим числом экологических факторов; подбирать местообитания, где действие лимитирующих факторов проявляется особенно ярко; подбирать местообитания и виды деревьев которые демонстрируют высокую чувствительность хронологий. Сама суть изначально поставленной задачи при таком подходе выхолащивается. Существование же в сознании исследователя двух трудно совместимых задач: задачи, которой ему хотелось бы попытаться решить в интересах лесоводства и в то же время ориентации на исследовательский стиль и методологический аппарат классической дендрохронологии не может положительно сказаться на качестве исследования. Складывается впечатление, что в настоящее время заслуженный авторитет классической дендрохронологии, несколько ограничивает ход мыслей исследователей пытающихся применять дендрохронологический метод для решения задач лесоводства.

Нам кажется оправданным более определенно говорить о существовании отдельного направления дендрохронологии – лесной дендрохронологии, ориентированной на решение задач лесоводства и лесоведения. Основателем данного направления на наш взгляд следует считать Т.Т. Битвинскаса (1974). По-видимому, именно он первым обратил внимание ученых на то, что «В основном дендрохронологические и дендроклиматические исследования вели климатологи и частично археологи. Лесоводы и ботаники ... в большинстве случаев использовали дендроклиматические методы несистематично, от случая к случаю, применяли ограниченные материалы, что суживало получаемые результаты». Т.Т. Битвинскас (1974)

подробно рассмотрел на имевшемся к тому времени уровне знаний возможности применения дендрохронологических методов в лесном хозяйстве.

Мы полагаем, что в настоящее время актуальна систематизация имеющегося отечественного и зарубежного опыта использования дендрохронологической информации, модификация существующих методов ее использования сообразно с задачами лесного хозяйства, а также разработка новых подходов, полезных для решения теоретических и прикладных задач в различных отраслях науки о лесе.

О перспективности работ в данном направлении говорит и тот факт, что не только ряд дендрохронологов занимался поиском путей постановки дендрохронологической информации на службу лесному хозяйству, но и ряд известных лесоводов не мог обойтись в своей исследовательской работе без привлечения к анализу данных об изменчивости годичных колец. Основоположник отечественного лесоведения Г.Ф. Морозов (1922, 1931, 1970) для обоснования своих суждений неоднократно привлекал данные, полученные на основе анализа изменчивости годичных колец. В основном древесно-кольцевая информация использовалась им при изучении закономерностей подпологового возобновления. В то же время, в его труде «Учение о лесе» (1970) нашли место и ссылки на работы об определяющем влиянии на изменчивость ширины годичных колец сосны количества осадков за период май-июль, о том, что в годы обильного семеношения формируются узкие годичные кольца, о том, что у деревьев разных классов роста наблюдается разная ширина годичного кольца и разная доля поздней древесины. Исследования, посвященные влиянию климатических факторов на прирост сосны в лесостепной зоне проводились А.П. Тольским (1904; 1936). Этим же вопросом, интересовался и М.Е. Ткаченко (1908, 1939), согласно его исследованиям годичный прирост леса в лесостепной зоне в значительной мере зависит от осадков в предшествующий осенне-зимний период.

2.2 Реконструктивистское направление лесоводственной дендрохронологии

Ряд серьезных работ отечественных исследователей был посвящен вовлечению дендрохронологической информации в сферу лесоведческих исследований путем более широкого ее использования в различных аспектах реконструкции истории лесных биогеоценозов (Комин, 1968; 1990; 1994; Иерусалимов, 1971; Верхунов, Дашко, 1972; Дыренков, 1972; Ляэнеланд, 1979; Шиятов, 1990 и др.). Следует отметить, что в современной мировой практике дендрохронологическая информация чрезвычайно широко используется в реконструкции истории лесных пожаров (Goff et al.,

2000; Shumvay et al., 2001; Hallet et al, 2003; Gavin et al, 2003; Stephens et al., 2003; Hellberg et al., 2004; Buechling et al., 2004; Wallenius et al., 2004; Drobishev et al., 2004; Groven, Niklasson, 2005; van Horne, Fule, 2006; Mc Ewan et al., 2007 и многие другие), вспышек численности вредителей леса (Eisenhart, 2000; Ryerson et al., 2003; Fraver et al., 2007 и другие); и разнообразных катастрофических событий в древостое (Abrams et al., 1999; Druckenbrod, 2005; Ireland et al., 2008 и другие).

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

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

Исследование обрубка дуба с вросшей в него челюстью свиньи позволило сделать ценные выводы о семантической сущности священных дубов и свиней в системе славянских языческих верований и характера взаимодействия этих компонентов в агролесных фитоценозах (Забашта, Пошивайло, 1987).

Не вызывает сомнений утверждение, о том что потенциал дендрохронологической информации в сфере реконструкции истории лесных биогеоценозов огромен и разнообразен, и в настоящее время еще далеко не исчерпан. Однако реконструкция истории лесных биогеоценозов – это лишь узкий сектор в общей сфере потенциальных возможностей использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике.

2.3 Опыт использования дендрохронологических методов в сфере контроля за легальностью заготовки древесины

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

«Дело началось с того, что в городе З. обратили внимание на то, что один и тот же человек систематически продавал местным жителям лес (бревна), которые привозил на грузовике. Во время очередного привоза на въезде в г. З. грузовик, груженный лесом, был остановлен автоинспектором.

Ехавший за грузовиком на мотоцикле какой-то человек объехал остановившихся, набрал скорость и скрылся. Шофер грузовика показал, что его остановил на дороге человек, скрывшийся на мотоцикле и попросил, чтобы он подвез до г. З. бревна, которые находились тут же, на якобы сломавшемся тягаче с прицепом, стоявшем на обочине. Бревна перегрузили, однако человек в кабину не сел, а поехал сзади на мотоцикле. Показания шофера подтверждались находившимся все время в кабине свидетелем.

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

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

При отборе образцов для сравнения в лесничестве эксперт осмотрел насаждения в 225, 238 и 250 кварталах. В каждом квартале были выбраны сосны, наиболее характерные для этих насаждений. От них были отобраны образцы. Кварталы различались почвами и режимами влажности.

Кроме этого, насаждения квартала 225 относились к типу леса С-2, бонитету I, полноте 0,7; насаждения квартала 238 – к типу леса В-2, бонитету II-IIIБ, полноте 0,4; насаждения квартала 250 – к типу леса В-2, бонитету III-IV, полноте 0,5.

В ходе экспертизы, на основе анализа динамики прироста было установлено, что исследуемые деревья не могли вырасти в 250 квартале. То есть в обходе лесника Московченко.

В то же время было показано, что исследуемые деревья могли вырасти в кварталах 225, 238, т.е. в обходе лесника Черненко.

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

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

Мы позволили себе эту пространную цитату с целью продемонстрировать насколько сложные комбинации могут быть распутаны в деле о незаконной порубке леса, если к экспертизе будет привлечен грамотный эксперт дендрохронолог. К сожалению, мы не имеем права привести выдержки из судебно-ботанических экспертиз выполняемых в наши дни майором Вологодского Экспертно-криминалистического центра УВД МВД РФ Ю.М. Жаворонковым (Жаворонков, личное сообщение), но их результаты на наш взгляд не менее впечатляющи, чем приведенный выше пример.

В целом дендрохронологические методы достаточно давно используются в отечественной судебной практике (Розанов, 1969; 1969а; 1971; 1972; 1972а; Методические рекомендации..., 1972; Оркин, Малоквасов, 1992; Колотушкин, Головань, 2007; Жаворонков, 2009).

В качестве примера характеризующего зарубежную практику борьбы с нелегальным оборотом древесины упомянем опыт использования метода перекрестной датировки древесно-кольцевых хронологий в делах связанных с вырубкой фицройи (Wolodarsky-Franke, Lara, 2005). Фицройя кипарисовидная (*Fitzroya cupressoides* (Molina) I.M.Johnst.) из сем. Кипарисовых (*Cupressaceae*) – одно из самых известных видов деревьев в тропических лесах юга Чили и соседней Аргентины. Это вечнозеленое хвойное дерево, высотой до 50м и диаметром до 5м, его возраст может достигать 3600 лет. В 1976 году фицройя была признана национальным достоянием Чили, в связи с чем была запрещена ее рубка. Однако разрешалась вырубка и утилизация сухостоя, а также торговля древесиной, вырубленной до 1976 года. Национальная лесная корпорация Чили ответственна за охрану национальных лесов Чили, но не имеет достаточного количества средств и человеческих ресурсов, чтобы в полной мере осуществлять охрану этого вида. Ее сотрудники столкнулись с проблемой невозможности определения легальности рубки без использования методов дендрохронологии. В рамках решения этой проблемы сотрудниками Института лесного хозяйства и Всемирного фонда охраны дикой природы были разработаны конкретные методики определения года, сезона гибели дерева и/или состояния дерева на момент рубки, которые затем были применены на практике. Апробация методик показала, что метод является полезным, быстрым и четким инструментом экспертной практики, полученные с его помощью данные признаются объективными доказательствами в судах (Wolodarsky-Franke, Lara, 2005).

2.4 Оценка эффективности лесохозяйственных мероприятий на основе дендрохронологической информации

Достаточно многочисленны примеры исследований, когда дендрохронологический метод использовался для оценки эффективности различного рода лесохозяйственных мероприятий, таких как рубки ухода, внесение удобрений, осушительные мелиорации, борьба с вредителями (Литвиненко, 1972; Битвинскас, 1974; Бузыкин, 1978; Евдокимов, 1978; Кайрюкшис, Стравинскене, 1978; Рихтер, 1978; Лахтанова, Берегова, 1978; Петрик, Феклистов, 1978; Серый, 1978; Коржицкая, Козлов, 1978; Кукушкин, 1978; Либа, Залитис, 1978; Вярбила, 1983; Стравинскене, 1983; Степаненко, 1990 и многие другие). До недавнего времени полезность дендрохронологического метода для лесоводства ограничивалась лишь этой сферой. Например, в 1988 году ЛЕННИИЛХОМ были изданы во всех отношениях добротные методические рекомендации «Использование кернов древесины в лесоводственных исследованиях» (Использование..., 1988). В них подробно рассматриваются методики отбора кернов, измерения ширины годичных колец, а также те сферы, в которых использование кернов древесины может быть полезно лесоводу: определение фауности древостоев ели; методика определения гнилей, вызываемых корневой губкой; определение возрастной структуры древостоев; определение плотности древесины ствола и средней плотности древесины древостоя; определение влажности древесины; исследование с помощью кернов процессов радиальной и тангентальной усушки.

К собственно дендрохронологическим методам можно отнести только приведенные в данном пособии рекомендации по определению текущего прироста древостоя в результате проведения лесохозяйственных мероприятий.

Несомненно, существующие в данной сфере методики заслуживают дальнейшего развития и совершенствования, однако также верно и то, что сфера использования кернов древесины в лесоводственных исследованиях может быть очень сильно расширена по сравнению с очерченной составителями пособия.

2.5 Дендрохронологические методы в лесозащите

Вопросы использования дендрохронологической информации для оценки состояния насаждений, оценки воздействия на них вредителей и болезней, изучения биологии этих организмов, оценки неблагоприятных антропогенных воздействий на экосистемы - это одна из наиболее сложных и в то же время важных сфер развития лесоводственно - ориентированной дендрохронологии. Решение этой задачи будет возможно лишь при

условии глубокого знания экофизиологических механизмов изменчивости годичных колец.

Одно из первых наблюдений над связью величины прироста и состоянием деревьев было сделано Д.И. Менделеевым (1954): «...рост (а потому и прирост) дерев стремится к некоторому конечному пределу – дряхлости, когда легко наступает от случайностей смерть или засыхание». Здесь речь идет, прежде всего, о приросте хвойных пород в высоту. В действующих Санитарных правилах в лесах РФ также введена оценка состояния деревьев по показателю линейного прироста.

Отдельную подглаву по использованию древесно-кольцевой информации в лесозащите содержит книга, вышедшая под редакцией А.И. Ильинского и И.В. Тропина (Надзор..., 1965). Данный труд был классическим пособием для советских специалистов лесного хозяйства, как для практиков, так и для работников научно-исследовательских организаций. Годичные кольца здесь рассматриваются прежде всего как индикатор снижения темпов накопления урожая древесины.

Авторами выделено три метода оценки потерь прироста в результате вспышки массового размножения хвое-листогрызущих вредителей – однопородный, двухпородный и статистический. Отличает их подход к определению «нормального» урожая, откладывавшегося деревом в годы, когда не наблюдалось объедания листвы, что важно для оценки убытков от вспышки.

При однопородном методе в качестве нормального принимается прирост за пять лет, предшествовавших вспышке.

При двухпородном ведется сопоставление прироста у повреждаемой и неповреждаемой вредителем породы, что позволяет более точно определить годы вспышки численности вредителя, что, между прочим, облегчит и определение нормального прироста.

Статистический метод подразумевает расчет регрессионных зависимостей между приростом и метеопараметрами в годы, для которых отсутствует повреждение; потери прироста здесь определяются на основе нормального прироста рассчитанного по метеопараметрам.

А.И. Воронцов (1978) уделил определенное внимание вопросу о возможности прогнозирования усыхания лесов на основе анализа цикличности в изменчивости радиального прироста древесных растений. В его монографии «Патология леса» рассказывается о пионерных в области дендрохронологии работах Ф.Н. Шведова и А.Э. Дугласа. Ссылки на данные, полученные дендрохронологическим методом, приводятся им в главе посвященной вопросу о влиянии избыточного увлажнения на состояние насаждений, это результаты исследований Р.М. Бобровского (1953) и К.А. Кудинова (1968).

Естественно, что наибольшее внимание в монографии было уделено использованию дендрохронологических методов для оценки потерь прироста в результате объедания насекомыми-дефолиантами. Как отмечает А.И. Воронцов «Во всех исследованиях признается, что лучшим объективным показателем состояния насаждений, подвергшихся дефолиации листогрызущими насекомыми, является текущий прирост дерева (насаждения). Сложность определения потерь прироста, вызванных дефолиацией насекомыми, заключается в невозможности определить непосредственно тот прирост, который имели бы насаждения или отдельные деревья в случае, если бы они не повреждались». Проанализировав литературные источники А. И. Воронцов (1978) выделил несколько подходов к определению нормы прироста:

1. Норма определяется как среднее значение прироста за последние годы (Парамонов, 1934)
2. Норма определяется на основе подбора аналогичного объекта, не подвергавшегося объеданию (Грезе, Ционкало, 1936)
3. Норма определяется на основе регрессионного уравнения, определяющего связь колебаний прироста с колебаниями климатических факторов (Ильинский, Кобозов, 1940).

Многочисленные ученики и последователи А.И Воронцова активно использовали дендрохронологический метод для оценки потерь прироста в результате объеданий ассимиляционной поверхности (Голосова М.А., 1963; Мозолевская, Тудор, 1967; Иерусалимов, 1965; 2004; Мозолевская, Марушина, 1976; Мозолевская, 1977; Кучеров, 1990 и многие другие).

Сам Алексей Иванович понимал проблему вовлечения дендрохронологической информации в сферу исследований в области лесозащиты гораздо шире: он искал способы вовлечения дендрохронологической информации в сферу исследований направленных на изучение экологических аспектов развития вредителей и болезней леса (Воронцов, 1955; 1971).

Кербер и Викман (цит. по Fritts, 1976) обсуждали использование древесно-кольцевой информации для установления влияния повреждения насекомыми на прирост (рис. 3).

Авторы постулировали, что увеличение численности популяций насекомых приведет к увеличению повреждениями неустойчивых видов деревьев и снизит их фотосинтетическую способность, что выразится в снижении прироста в течении ряда лет после вспышки численности вредителей.

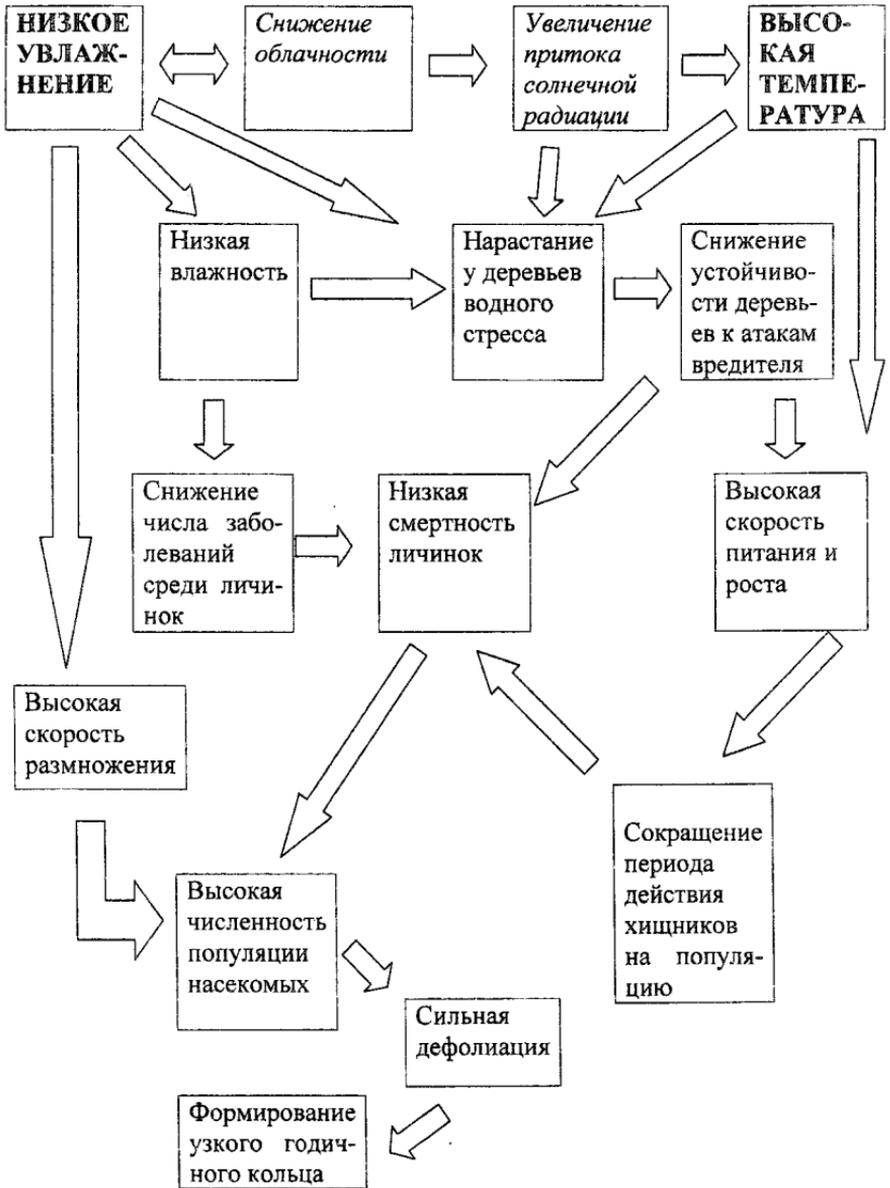


Рис. 3 Концептуальная модель Кебера и Викмана

Таким образом, падение прироста в результате неблагоприятных климатических условий усиливается за счет вспышки численности листогрызущих вредителей. Ими также предложена модель влияния погодных факторов на популяции насекомых и показывается, что такие климатические факторы, как низкое увлажнение и высокая температура, которые коррелируют со снижением ширины годичного кольца, также благоприятны для роста популяций насекомых, увеличивая объедание и снижая в будущем ширину годичных колец.

Подробный обзор (преимущественно на основе западноевропейских источников) по способам диагностики состояния здоровья леса приводится Иннесом (Innes, 1993). Среди прочего им упоминается о полезности для этих целей и древесно-кольцевого анализа.

По мнению Е.Г. Мозолева (2001) «... перспективным и быстро развивающимся методом оценки сиюминутного и будущего состояния деревьев и насаждений является хорошо известный в лесоводственных исследованиях дендрохронологический метод».

В целом следует считать, что годичные кольца деревьев способны фиксировать в своей изменчивости информацию о действии разнообразных факторов. Можно выделить три уровня «прочтения» этой информации:

1. Хронографический. Фиксируется наличие определенного характера изменчивости прироста во времени. Например: падение прироста в 1992 году; наличие 11 летнего цикла изменчивости прироста. Данный уровень не требует привлечения дополнительных рядов наблюдений.
2. Экологический. Фиксируется связь между изменчивостью прироста и действием определенного фактора. Например: связь между падением прироста и экстремально низким количеством осадков в летние месяцы; связь между цикличностью прироста и солнечной активностью. Данный уровень требует привлечения дополнительных временных рядов, характеризующих изменчивость потенциально значимых для роста деревьев экологических факторов. Организм на этом уровне прочтения информации выглядит как «черный ящик» из теории систем, где на входе поступает информация о действии экологического фактора, а на выходе формируется определенное характерное годичное кольцо.
3. Физиологический. Описывается биологический механизм влияния экологических факторов на формирование годичного кольца. Простейший пример: в результате объедания хвои снизилась площадь ассимиляционной поверхности, упала интенсивность фотосинтеза, имея малое количество продуктов ассимиляции дерево сформировало узкие годичные кольца. В целом физиологический уровень прочтения древесно-кольцевой информации наиболее сложен, требует

обширного привлечения литературного материала и использования специальных методов.

Результаты древесно-кольцевого анализа представляют первый, хронографический уровень прочтения древесно-кольцевой информации. Методам их интерпретации, позволяющим прочесть древесно-кольцевую информацию на экологическом и физиологическом уровне имеет смысл уделять пристальное внимание в исследовательской работе.

Любая информация может служить основанием для прогноза и принятия решений. Приемлемый для определенных целей прогноз состояния насаждений возможен даже при первом, хронографическом уровне прочтения древесно-кольцевой информации (например, Коровин, Савченко, Соловьев, 1998). Однако очевидно, что совершенствование методов физиологического прочтения древесно-кольцевой информации существенно повышает ее прогностическую ценность.

Методы экофизиологической интерпретации использования дендрохронологической информации при мониторинге состояния насаждений предварительно были систематизированы нами следующим образом:

А. Подходы, не связанные с привлечением дополнительных временных рядов

А.1 Анализ структуры годичных колец. Простейшие показатели - соотношение ранней и поздней древесины в годичном кольце в разные годы, наличие «ложных» годичных колец и др. В качестве характерного примера использования данного метода при оценке состояния насаждений можно привести работы В.Д. Ломова (1990), выполнявшиеся в лесах национального парка «Лосиный остров». Большой объем информации об изменчивости структуры годичных колец в связи с действием разнообразных экологических факторов приводится в монографии Швайнгрубера (Sweingruber, 1996).

А.2 Анализ статистических показателей временного ряда. Помимо традиционно используемого показателя – величины радиального прироста или индекса радиального прироста (Матусевич, Маслов, 1982; Алексеев, Лайранд, Леплинский, 1984; Николаевский, 1998; Липаткин, Шарпа, Щербаков, 2000), могут быть задействованы такие характеристики как, тренд прироста (Гурский, 1955; Le Blanc et al, 1992; Bigler, Bugman, 2003), цикличность колебаний радиального прироста (Матвеев, 2004), амплитуда высокочастотных составляющих радиального прироста (Суховольский, Артемьева, 1992) и другие более сложные показатели (Wyckoff, Clark, 2000; Демаков, 2000).

Здесь необходимо подробнее остановиться на таком простом показателе как абсолютная величина прироста. В качестве примера рассмотрим пробную площадь, заложенную в аллее тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в лесопарке «Кузьминки». В исследовании было задействовано 20 деревьев, наиболее старое из них имело возраст на высоте 1,3 м 43 года. Средний диаметр учетных деревьев составлял 28 см. Данная посадка не испытывает сильного засоления почвы из-за применения гололедных реагентов, так же как не испытывает непосредственного воздействия выхлопных газов автотранспорта. Корневые системы деревьев здесь развиваются относительно свободно, не испытывая нарушений в доступе атмосферных осадков и нарушения аэрации. Для оценки лесопатологического состояния деревьев была применена шкала из семи категорий (Мозолевская, 2001). Балл, оценивающий категорию состояния в данной шкале меняется от 0 до 6, увеличение балла сопряжено с ухудшением состояния деревьев, 5 и 6 категория соответствуют свежему и старому сухостою. Основные признаки, используемые при балльной оценке категории состояния это густота и цвет кроны, облиственность, доля сухих ветвей в кроне и относительный прирост побегов. Данные перечета по категориям состояния были любезно предоставлены доцентом кафедры экологии и защиты леса МГУЛ Г.С. Лебедевой, результаты исследования отражены в совместной публикации (Румянцев, Лебедева, 2007).

Для анализа связи изменений прироста с изменениями категории состояния нами была использована табл. 2. В ней сортировка порядка деревьев выполнена в соответствии с их категориями состояния в 1996 г.

Как можно видеть из приведенных в табл. 2 данных, ухудшение состояния отдельных деревьев в 1996 не сопровождается снижением радиального прироста.

Особенно показателен пример учетных деревьев 12 и 8. В 1996 году их категория состояния изменилась с 1 до 3, в то время как прирост увеличился в 10 и 18,5 раз соответственно. Улучшение состояния (учетные деревья 1, 7) также сопровождалось увеличением прироста в 2,3 и 2,4 раза. Максимальное ухудшение состояния (учетные деревья 4,5,6) сопровождалось увеличением прироста в 1,3—3,8 раза. Таким образом, величина радиального прироста не демонстрирует какой либо сопряженности с изменением категории состояния.

Другой пример, демонстрирующий низкую прогностическую ценность величины радиального прироста при прогнозе вероятности усыхания дерева — это данные полученные в очагах усыхания ели европейской в национальном парке «Беловежская пушча».

Таблица 2

Сопряженность в изменениях категорий состояния и радиального прироста

Номер учетного дерева	Категория состояния в 1995 году	Категория состояния в 1996 году	Радиальный прирост 1996 г., отнесенный к радиальному приросту 1995 г.
1	1	0	2,3
7	1	0	2,4
10	1	1	2,4
13	1	1	2,4
14	1	1	2,5
15	1	1	4,7
16	1	1	4,3
19	1	1	2,7
2	1	1	2
20	1	1	2,4
21	1	1	1,9
3	1	1	1,2
9	1	1	5,3
11	2	2	5,2
12	1	3	10
17	3	3	1
8	1	3	18,5
4	1	4	2
5	1	4	1,3
6	1	4	3,8

Усыхание деревьев сопровождалось заселением стволов короедом типографом (*Ips typographus* L.). Пробные площади были заложены в зеленомошном типе леса, с долей ели в древостое около 6 единиц по запасу. Средняя высота древостоев составляла 30 метров, возраст около 100 лет. Учетные деревья были разделены на две категории: живые и сухостойные, каждая из них включала по 15 учетных деревьев. Осредненные временные ряды радиального прироста для живых и усохших деревьев приведены на рис.4 и рис. 5.

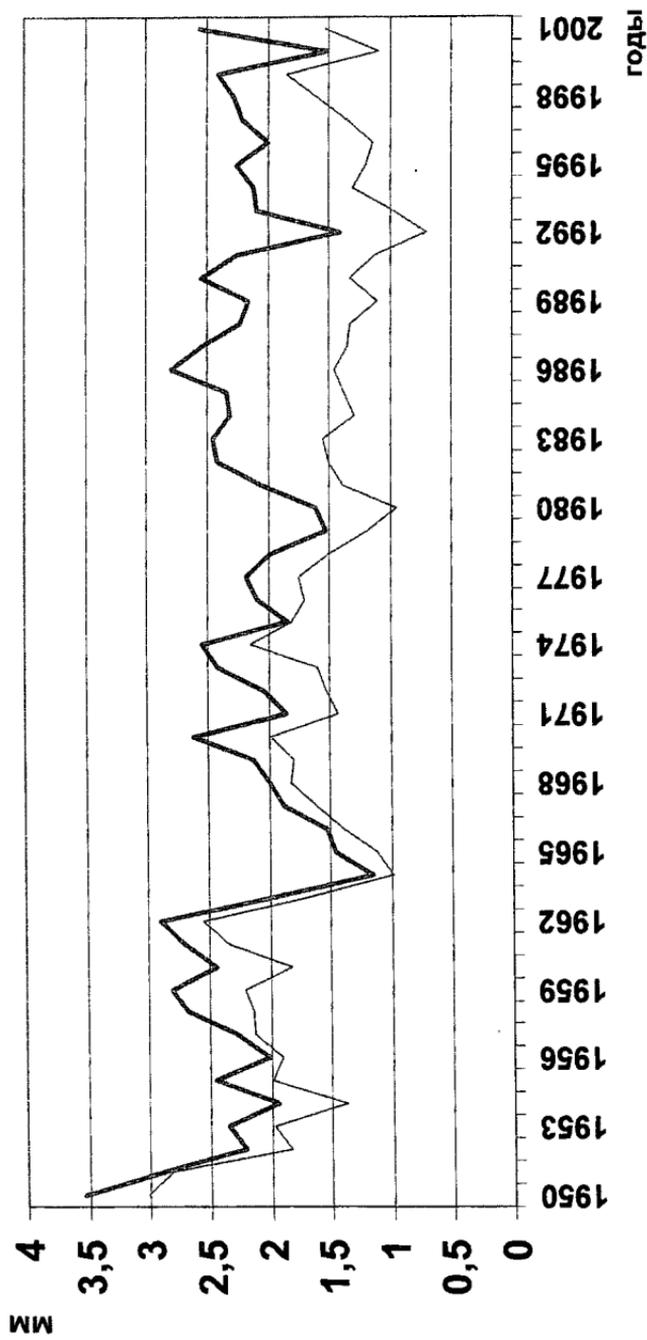


Рис.4 Динамика радиального прироста у живых (толстая линия) и усохших (тонкая линия) деревьев ели на пл.2 в НП «Беловежская пуща»

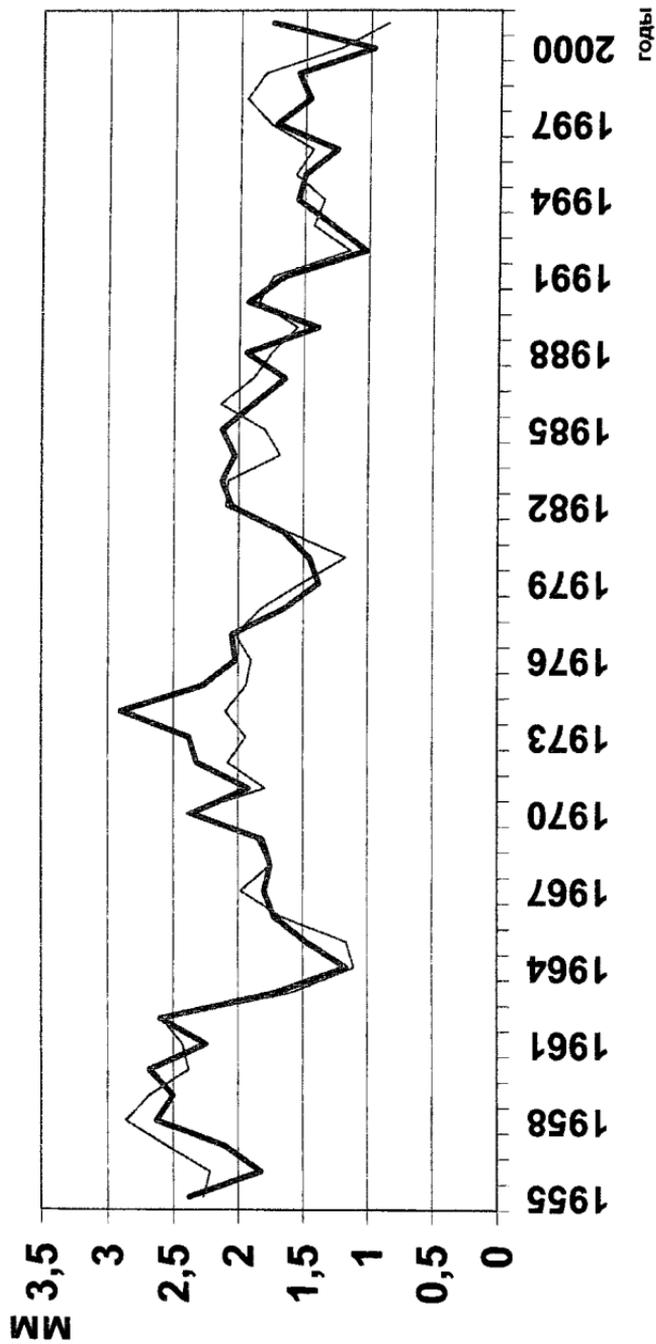


Рис.5 Динамика радиального прироста у живых (толстая линия) и усохших (тонкая линия) деревьев ели на пп.3 в НП «Беловежская пушча».

Как видно при сопоставлении графиков на рис.4 и рис.5 в одном случае тенденция к более медленному росту усохших впоследствии деревьев проявляется достаточно четко, в то же время на другой пробной площади она отсутствует. Следовательно, нет оснований надеяться, что оперируя таким показателем, как величина радиального прироста мы сможем прогнозировать вероятность усыхания деревьев ели в период вспышки численности короеда типографа.

Подводя итог обсуждению, следует признать, что такой простой и удобный показатель как величина радиального прироста не достаточно надежен для оценки состояния здоровья деревьев и формирование методологии использования дендрохронологической информации в мониторинге состояния лесов – это действительно актуальная задача.

Б. Подходы, связанные привлечением дополнительных временных рядов

Б.1 Сопряженный анализ хронологий и динамики экофакторов

Наиболее перспективным и малоразработанным направлением мониторинга состояния городских насаждений нам представляется использование для индексации характера климатического сигнала, содержащегося в хронологии.

В качестве примера апробации подобного способа индикации приведем результаты мониторинга состояния древостоев сосны обыкновенной, испытывавших сильную рекреационную нагрузку.

На каждой из пробной площадей отбиралось 12-13 кернов древесины. Индивидуальные хронологии были проиндексированы. Корреляционный анализ показал наличие положительной связи со среднезимними температурами (декабрь-март), коэффициент корреляции за период 1960-2000 гг. составлял 0,36-0,27. Анализ динамики среднезимних температур показал наличие во временном ряду четкого положительного тренда, аппроксимированного нами с помощью уравнения линейной регрессии. Путем отнесения годовых значений к значениям тренда были рассчитаны индексы динамики среднезимних температур. Затем нами был произведен расчет корреляции между индексами прироста и индексами среднезимней температуры за разные периоды роста (табл. 3)

Таблица 3

Корреляция индексов прироста с индексами среднезимней температуры по периодам.

Номер пп.	Значения коэффициентов корреляции за разные периоды		
	1961-1985	1986-2000	1961-2000
пп.5	0,61	0,28	0,48
пп.6	0,25	0,14	0,21
пп. 9	0,75	-0,16	0,43

Из табл.3 видно, что первоначально высокий уровень связи, отмеченный для пп.5 и пп.6 на интервале 1961-1985 гг. в период 1986-2000гг не наблюдался. Деревья на пп.5 и пп. 9 относятся к V классу возраста, а деревья на пп.6 к III, поэтому обнаруженные для пп.5 и пп.9 эффекты не могут быть отнесены на счет обусловленной возрастом нестационарности климатического сигнала. Наиболее вероятное их объяснение – резкое возрастание рекреационной нагрузки на насаждения в последнее десятилетие. Таким образом, апробация предложенной нами методики дала обнадеживающие результаты, и показала, что данный вопрос заслуживает дальнейших исследований.

Б.2 Сопряженный анализ хронологий

Ранее данный метод успешно применялся при исследованиях связанных с оценкой потерь прироста, в насаждениях, подвергавшихся объединению вредителями (Иерусалимов, 1965; Muzika, Liebhold, 1999). Нами он был опробован в ряде описанных выше исследований. В нашем понимании идея данного метода может быть сформулирована следующим образом: если величина прироста определяется уравнением с множеством независимых переменных, то составив систему уравнений, мы можем в отдельных случаях (в отдельные годы) найти решения этих уравнений. Для сопряженного анализа необходимо подбирать хронологии, потенциально отличающиеся по содержащемуся в них климатическому сигналу. Выявив на отдельных объектах закономерности сопряженной изменчивости прироста в хронологиях в связи с изменчивостью экологических факторов эти же закономерности могут быть распространены на близкие объекты. Уровень их постоянства может служить индикатором состояния среды и уровня нарушения нормального хода физиологических процессов. Могут быть выделены три крупных способа подразделения деревьев на группы:

1. Социологическое подразделение деревьев на группы, где анализируются хронологии по деревьям разного ценотического статуса.
2. Эдафическое подразделение деревьев на группы, где анализируются хронологии по деревьям из разных почвенных условий.
3. Генетическое подразделение, где анализируются хронологии по разным видам и формам одного вида.

Возможны и комбинации описанных подразделений. Так сопряженный анализ хронологий по разным породам, занимающим разный ярус следует отнести к социо-генетическому подразделению деревьев на группы. Наиболее перспективным для использования в мониторинге состояния городских лесных экосистем представляется генетический метод подразделения хронологий на группы, так как в целом в городе деревья произрастают в достаточно однородных почвенных условиях, но, в то же время, представлено их значительное видовое разнообразие.

2.6 Дендрохронологические методы в лесной генетике

Анализ литературного материала показал, что существуют ряд подходов, с помощью которых делались попытки использовать дендрохронологическую информацию для изучения генетического разнообразия популяций лесных древесных пород.

Существуют попытки рассматривать общую форму кривой радиального прироста как показатель генотипа дерева. Так К.Вишневская (Wisniewska, 1990) анализировала изменчивость ширины годичного кольца у 40 взрослых деревьев ели европейской из польской части Беловежской пушчи. При этом она исходила из следующих соображений: «В популяции, растущей в однородных условиях, климатические факторы будут сказываться сходно на ширине годичного кольца у всех деревьев. Поэтому, индивидуальная изменчивость между деревьями может рассматриваться как результат генотипической дифференциации, также и как эффект от неоднородности в условиях произрастания на участке и от конкуренции. Эта изменчивость может быть модифицирована некоторыми дополнительными факторами, такими как вспышки массового размножения насекомых, лесные пожары или лесохозяйственная деятельность. Однако, можно предполагать, что в случае деревьев, доминирующих в пологе, и находящихся на одной и той же стадии онтогенетического развития, растущих в однородных условиях, изменчивость ширины годичного кольца характеризует преимущественно генетическое разнообразие». Далее в работе предлагается выделить две генетически детерминированные модели радиального роста: ранняя кульминация, сопровождающаяся затем значительным сниже-

нием прироста с возрастом, либо постоянство ширины годичного кольца на протяжении всего времени роста.

Подход, во многом аналогичный вышеизложенному, использовали В.А. Кострикин и В.Т. Рыжкова (2002). В древостое сосны обыкновенной они посчитали возможным выделять однородные в генетическом отношении группы деревьев на основе сходства автокорреляционных функций рядов радиального прироста. По своей сути это близко к анализу характера долговременной изменчивости прироста.

Данные подходы, на наш взгляд, страдают тем недостатком, что в долговременном периоде невозможно сколь либо убедительно выделить генотипическую компоненту в изменчивости радиального прироста, уйдя совершенно от фактора конкуренции. Даже отобрав деревья I класса роста по Крафту мы не можем уверенно сказать, как менялись конкурентные отношения каждого отдельного дерева на разных этапах роста. Столь значимый для изменчивости радиального прироста фактор как конкуренция, возможно, элиминировать, рассматривая лишь кратковременную изменчивость радиального прироста. При сглаживании скользящей средней элиминируются все факторы долговременной природы, в том числе, такие как возможная генетическая детерминированность формы кривой радиального прироста, так и эффекты от конкурентных взаимодействий, динамики почвенного плодородия, эффекты от лесохозяйственной деятельности и прочее. Генетическая компонента в долговременной изменчивости прироста может быть привлечена к анализу лишь на материале учетных деревьев, не отличающихся друг от друга по возрасту, условиям местопроизрастания, ценотическому статусу. Чтобы максимально полно соблюсти последнее условие на всей длине временного ряда радиального прироста следует отбирать объекты минимально возможного возраста, что, в общем, снизит вероятность ранговых переходов на протяжении периода роста каждого учетного дерева. Поставленным требованиям наиболее полно отвечают объекты географических культур, где соотношение по темпам роста, в том числе и по долговременным тенденциям в изменчивости радиального прироста, обусловлено главным образом генотипическими отличиями между провинциями.

Как следует из вышеизложенного, единственная реальная возможность для исследователя, работающего в лесу – это анализировать генотипическую компоненту в кратковременных колебаниях величины радиального прироста.

Высказывается мнение, что индексация дендрохронологических рядов – это неприемлемый способ выделения генотипической компоненты в изменчивости прироста, так как при этом удаляется долговременная изменчивость прироста, среди которой есть и генетически обусловленная (Семриков и др., 1993). Это, безусловно, так, но ничто не мешает нам анализи-

ровать генетическую компоненту в кратковременной изменчивости, хотя она потенциально может давать менее полную информацию о генотипе, чем неиндексированная хронология. Прежде всего, эта компонента будет отображать эффекты проявления в фенотипе тех генов, которые обуславливают чувствительность процессов метаболизма к климатическим особенностям разных вегетационных сезонов. Таким образом, полное представление о генотипе растения на основе дендрохронологического ряда получить невозможно, но наследственные экологические свойства (засухоустойчивость, зимостойкость и т.д.) могут быть охарактеризованы.

Здесь имеет смысл подробнее остановиться на принятой в основу наших рассуждений концепции эколого-генетического контроля организации сложных полигенных количественных признаков растений, которая была сформулирована В.А. Драгавцевым (1995, 1996; 2000, 2003). Эколого-генетическая модель утверждает следующую закономерность: при смене лимитирующего фактора внешней среды меняются число и спектр генов, детерминирующих среднюю величину и генетическую дисперсию признака. Эта теория утверждает, что если один компонентный признак формировался, например, на фоне засухи (число зерен на 1 растении), а другой на фоне холода (масса 1 зерна), то описать генетическую природу результирующего признака (масса зерен на 1 растении) невозможно ни на языке менделевской генетики, ни на языке современной молекулярной генетики. Только язык эколого-генетической теории способен адекватно описать сложное эколого-генетическое «устройство» признака «масса зерен на 1 растении», обусловленное частично полиморфизмом полигенов засухоустойчивости, частично полиморфизмом полигенов холодостойкости. Теория Драгавцева утверждает, что для сложного признака, подверженного феномену взаимодействия генотип-среда, невозможно дать стабильную «паспортную» генетическую характеристику для всех сред. Спектр генов «под признаком» будет меняться от среды к среде (от одной экологической точки к другой и водной точке от года к году). Следовательно, если объем понятия «генотип особи», отражающий всю совокупность генов генома, вполне стабилен и не зависит от смены лимитирующих факторов среды, то объем понятия «генотип признака» отражает чрезвычайно лабильные числа и спектры генов от среды к среде.

В рамках данной концепции мы предлагаем рассматривать ширину годовичного кольца как количественный признак, формирование которого в каждый вегетационный сезон будет определяться разными локусами с разным вкладом каждого из них в формирование данного количественного признака. Поэтому ряд радиального прироста возможно рассматривать как запись результатов серии опытов, произведенных природой, помещавшей данный генотип в разные экологические условия. Приняв такую точку зрения, следует считать, что максимально совпадающие ряды радиального

прироста отражают идентичные наследственные экологические свойства особей (при условии однородности экотопа). В пределах вида они определяются сходством генотипов, а в пределах более крупных систематических единиц следует предполагать наличие эффектов конвергенции, когда сходные экологические свойства формируются на разной наследственной основе.

В качестве примера оценки генотипической близости по наследственным экологическим свойствам уместно рассмотреть результаты кластерного анализа индексированных хронологий по разным видам ели из коллекции ГБС РАН. Массово здесь представлено 10 видов – это ели Европы (ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst.), е. сербская (*P. omorica* (Pancic) Purkyne), Азии (е. сибирская (*P. obovata* Ldb.), е. аянская (*P. ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fish. Ex Carr.), е. корейская (*P. koraiensis* Nakai), е. Глена (*P. glehnii* (Fr. Schmidt) Mast.) и Северной Америки (е. колочая (*P. pungens* Engelm.), е. черная (*P. mariana* (Mill.) B. S. P.), е. канадская или белая (*P. glauca* Moench.), е. красная (*P. rubens* Sarg.). Насаждения елей создавались посадкой в куртинах, что во многом имитирует их рост в условиях естественных сомкнутых древостоев. С каждого учетного дерева отбиралось по одному керну на высоте 1,3 м. Каждый вид был представлен 15 учетными деревьями. Для расчета индексов была использована процедура сглаживания с помощью пятилетнего скользящего среднего, что обеспечило неспецифическое удаление эффектов от воздействия долговременных факторов различной природы (Fritts, 1976).

Результаты кластерного анализа на основе расчета евклидового расстояния представлены на рис. 6. Оценка расстояния между объектами производилась по правилу полного сцепления (complete linkage). Анализ выполнялся в программе STATISTICA 6.0.

Из рис. 6 видно, что на дендрограмме отдельный кластер образовали виды (е. черная, е. Глена), чьи генотипические особенности были сформированы естественным отбором в соответствии с требованиями экологической ниши «переувлажненного экотопа» (Лазарева, Котов, 2002). Также четко выделяется кластер азиатских видов ели (е. сибирская, е. корейская, е. аянская). В отдельный кластер попадают европейские виды – (е. сербская, е. европейская), примыкают к ним обитающие в сходных экологических условиях североамериканские виды (е. красная и е. канадская). Таким образом, обработка данных о кратковременных колебаниях ширины годичного кольца с использованием процедуры кластерного анализа дала результаты, адекватно отражающие экогенетические аспекты эволюции внутри рода *Picea* Dietr.

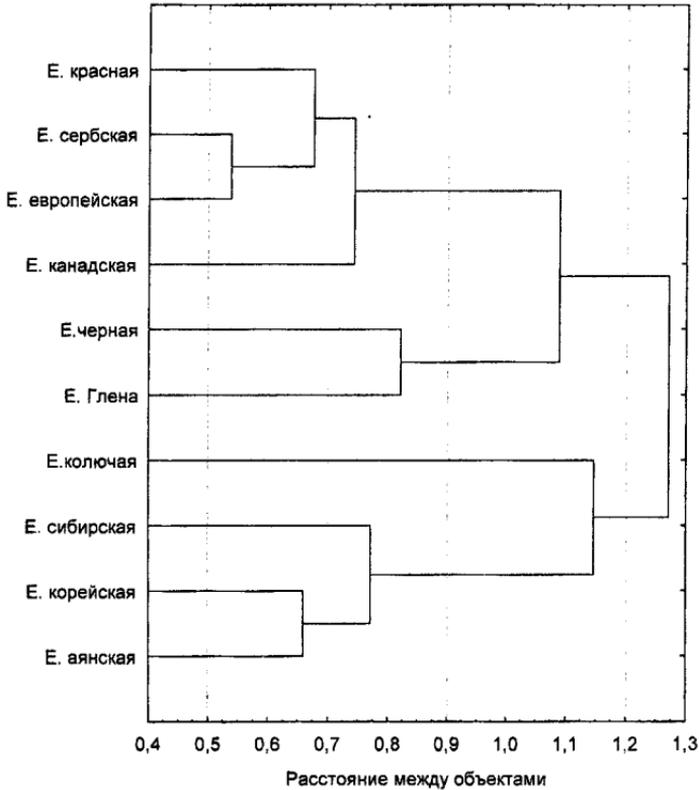


Рис. 6 Сходство видов ели по результатам кластерного анализа индексированных рядов радиального прироста

Возможности для оценки генотипического сходства на основе долговременных тенденций рассмотрим на примере географических культур ели европейской, произрастающих в условиях Щелковского учебно-опытного лесхоза. Долговременная тенденция была выделена расчетом среднего радиального прироста за пять лет. Результаты кластерного анализа сходства провинциентий ели по долговременным тенденциям в изменчивости прироста представлены на рис. 7

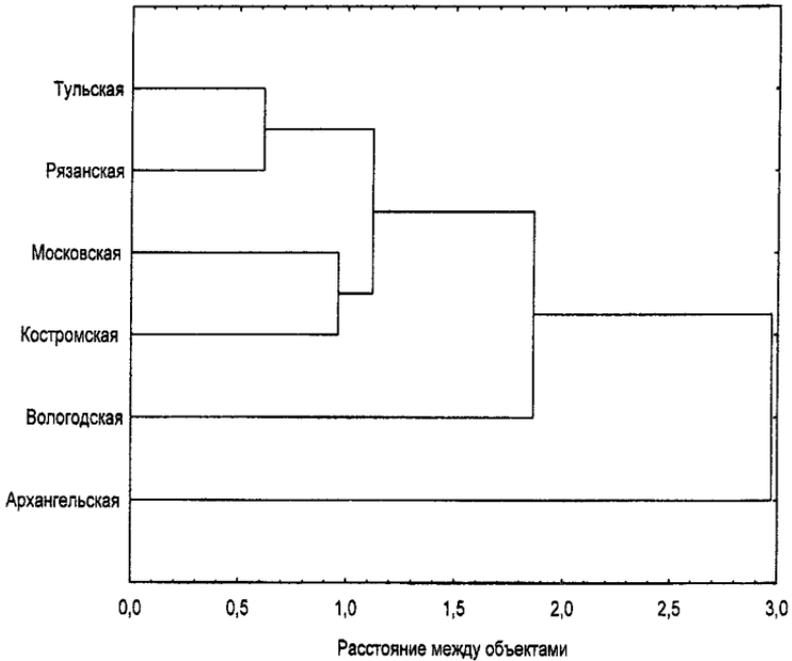


Рис. 7. Сходство провинциений ели европейской по результатам кластерного анализа рядов среднего радиального прироста за пять лет

Как видно из рис. 7, наблюдается четкая дифференциация между провинциениями в широтном градиенте: отдельный кластер образуют южные провинциения (Тульская, Рязанская), равнозначный ему кластер дают «срединные» провинциения (Московская, Костромская); отстоит от них более северная, Вологодская провинциения и наиболее далеко отстоит самая северная, Архангельская провинциения.

Если сопоставить кратковременную изменчивость радиального прироста для рассматриваемых хронологий, то получается совершенно иная картина (рис. 8)

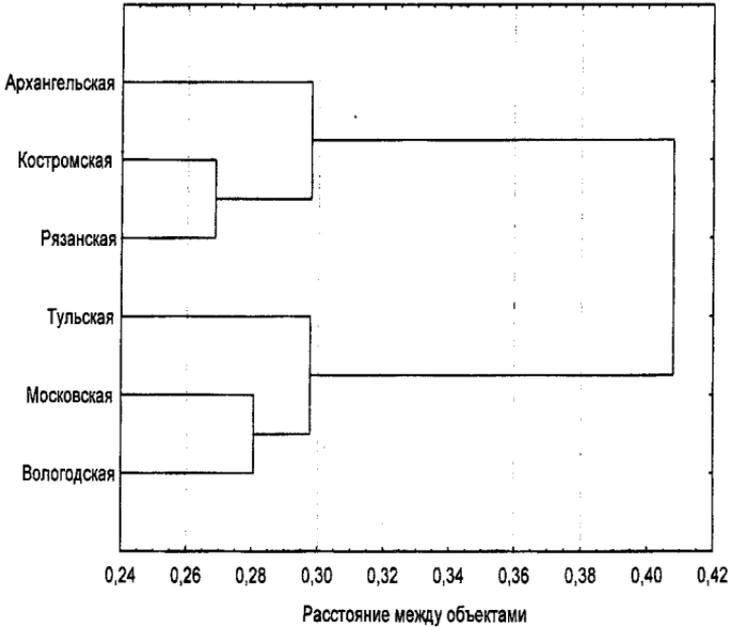


Рис. 8 Сходство провиниенций ели европейской по результатам кластерного анализа индексированных рядов радиального прироста

Линия, отражающая границу между точками происхождения провиниенций, образующих два кластера дендрограммы на рис. 8, приблизительно проходит в направлении с юго-запада на северо-восток. Вероятно, что биологический смысл такого разделения каким-то образом может быть связан градиентом изменчивости формы семенной чешуи в популяциях ели европейской, который также наблюдается в направлении с юго-запада на северо-восток (Попов, 2005). В любом случае, очевидно, что долговременная и кратковременная изменчивость радиального прироста в данном случае отражают совершенно разные особенности генофонда популяций ели европейской.

Таким образом, следует заключить, что ряды радиального прироста способны отражать генотипические особенности групп деревьев, и данное направление перспективно для дальнейших, более тщательных исследований.

ГЛАВА 3. ОБСУЖДЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Отбор дендрохронологических образцов

Существует несколько видов образцов древесины, используемых для дендрохронологического анализа: круговые поперечные спилы, бруски древесины по радиусу и диаметру, клиновидные выпилены с пней и живых деревьев, буровые керны и высечки (Шиятов и др., 2000). Круговой спил является наиболее информативным образцом, однако отбор его сопряжен с рубкой деревьев. Получение соответствующего разрешения и техническая трудоемкость значительно усложняют работу исследователя. В тоже время преимущества данного образца не всегда необходимы в рамках задач исследования: для решения большинства задач лесной дендрохронологии по нашему мнению достаточно буровых кернов. Как альтернатива круговым спилам при реконструкции истории лесных фитоценозов, в частности механических и огневых повреждений ствола, рекомендуется также брать клиновидные поперечные выпилены с периферийной части ствола, на контакте живой поверхности с подсушиной. Такие выпилены, хотя и повреждают живые деревья, но не приводят к их гибели (Шиятов и др., 2000). Отбор спилов древесины, безусловно, целесообразен при работе с сухостоем и валежом.

Для разграничения деревьев, с которых брались керны и спилены, используются разные термины: деревья с которых отбирались буровые керны обозначают как учетные, те же деревья с которых после валки отбирались спилены обозначают как модельные (Битвинская, 1974).

Иногда высказывается мнение, что спилены представляют лучший вид дендрохронологических образцов по сравнению с кернами, так как в последних ширина ближайших к коре годовых колец занижена из-за деформации древесины при вкручивании бурава. Данный вопрос обсуждался еще на самых начальных этапах изобретения данного инструмента, поэтому нам кажется полезным еще раз привести описание его устройства, составленное проф. Пресслером и переведенное на русский язык В. Ольшевским (Двадцать пять формул Пресслера..., 1875): «Бурав имеет внутри цилиндрическую пустоту, в которую, при сверлении входит вырезаемый из дерева винтом цилиндр. Тот конец (резец) бурава, от которого начинается винтовая нарезка и который непосредственно вначале входит в ствол дерева, заострен и диаметр этого острого конца немного меньше диаметра внутренней цилиндрической пустоты, с той целью, чтобы высверливаемый цилиндр мог свободнее входить в полость бурава и боками не касаться внутренних стенок... Винт... несколько не сдавливает цилиндр, а только

вырезывает его из дерева и как бы обтесывает, так что и древесные слои его нисколько не сжимаются».

Точность измерения прироста за пять лет на буровых кернах по сравнению со спилами сравнивалась А.И. Звиедрисом и Р.Я. Сацениексом (1975). Измерения проводились на высоте 1,3 м на материале 80 модельных деревьев ели. Определенная на кернах ширина пяти ближайших к коре годовичных слоев лишь на 4% отличалась от определенной на круговых спилах.

На материале двух видов пихты (*Abies concolor* (Gordon&Glend.) и *Abies magnifica* A.Murr.) проводились специальные исследования о влиянии отбора кернов на состояние деревьев (van Mantgem, Stephenson, 2004). Пихта потенциально может быть весьма чувствительна к отбору кернов, так как ее древесина, в отличие от древесины ели, сосны и лиственницы, не содержит смоляных ходов. По результатам исследования через 12 лет после отбора образцов не было выявлено выраженных отрицательных эффектов от отбора кернов.

Основная опасность, которую может представлять отбор кернов, это проникновение в ствол патогенов. Благодаря небольшому диаметру отверстия она не велика, но, тем не менее, в ходе работ, особенно с ценными деревьями образовавшиеся отверстия рекомендуется сразу же заделывать садовым варом.

Существенным моментом при отборе кернов является определение необходимого объема выборки. Широко известна таблица, составленная Т.Т. Битвинским (1974) для деревьев сосны (табл. 4).

Таблица 4.

Показатель точности (Р) средней ширины годовичного кольца в насаждении в зависимости от числа учетных деревьев

N	5	10	15	20	25	30	40	50	100	500	1000
P (%)	21,8	15,4	12,6	10,6	9,7	8,9	7,7	6,9	4,9	2,2	1,5

Важно подчеркнуть, что использование малого числа образцов, оправданное в классической дендрохронологии по объективным причинам (нехватка ископаемой древесины или древесины в постройках), для лесной дендрохронологии неприемлемо, на что справедливо обращал внимание еще Битвинский. Как отмечают авторы учебного пособия (Шиятов и др., 2000), в классической дендрохронологии, как правило, стараются отбирать образцы 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.

Согласно общепринятой точке зрения из изменчивости прироста деревьев I-III класса роста по Крафту легче извлекается климатическая составляющая (Битвинскас, 1974; Шиятов и др., 2000).

Важным представляется обсудить и вопрос о целесообразности учета географической ориентации керна по сторонам света. Существует представление, высказанное еще в XVI Леонардо да Винчи, что по эксцентриситету ствола, возможно, определять стороны света. Самые узкие кольца согласно Леонардо да Винчи находятся с южной стороны ствола (Леонардо да Винчи, 1955). В XVIII веке английский ботаник Джон Рей напротив, утверждал, что южный радиус на спиле дерева больше, чем какой-либо другой, однако уже упоминавшийся нами в главе 1 французский лесовод Духамель де Монсо это утверждение опроверг, показав, что южный радиус не всегда больше других (по Иванов, 2009). Однако, еще четверть века спустя, правоту Рея горячо поддержал пользовавшийся большим авторитетом директор Парижского ботанического сада Антуан Жюсье. Этот же вопрос был затронут русским академиком А.Ф. Миддендорфом, наблюдавшим спилы деревьев, растущих на Енисее и описавшим эти наблюдения в своей книге «Путешествие на север и восток Сибири» (по Иванов, 2009): «Ствольные пластинки мои, оказывается, вовсе не эксцентричны, и если А.Шренк (1854) нашел, что южная сторона древесных колец на северных деревьях несколько шире других сторон (как два к трем), то это, вероятно относится только к южным крайним лесам».

До настоящего времени бытует мнение, что в Средней полосе России наиболее узкие кольца на пне находятся с северной стороны (Спутник партизана, 1942). Однако при неоднократных попытках проверить последнее утверждение на практике, на пнях деревьев произраставших в условиях насаждения подтвердить его нам не удалось. Наше твердое убеждение заключается в том, что эксцентриситет ствола в насаждении определяется конкуренцией и пространственной структурой древостоя.

Окончательной точкой в этом споре следует считать исследования выполненные преподавателями МЛТИ Л.М. Перелыгиным и А.Х. Певцовым еще в 1934 г. (цит. по Вихров, 1954). Ими было установлено, что у деревьев сосны, имеющих эксцентриситет, направление наиболее развитого радиуса ствола в отношении стран света не подчинялось какой-либо закономерности. Во всех случаях направления большего радиуса совпадали с направлением лучшего развития кроны, а последнее определялось влиянием соседних деревьев.

Таким образом, можно уверенно утверждать, что неравномерность роста деревьев в определенном направлении ограничивается не разницей микроклимата создаваемой экспозицией солнца, а характером положения относительно него более крупных и более мелких соседей своего вида, положением в пространстве экземпляров более светолюбивых и более тене-

выносливых видов. Ожидать проявления эффектов сторон света в изменчивости радиального прироста можно лишь у отдельно стоящих деревьев. Следует также добавить, что эффекты географического положения на стволе имеют долговременный характер и при индексировании должны элиминироваться.

3.2 Обработка дендрохронологических образцов

Прежде всего, следует обратить внимание на часто высказываемое замечание о том, что в процессе хранения древесина ядра подвергается усушке, и ширина годичного кольца при использовании подобного рода методики не соответствует реальной ширине годичного кольца. Действительно, согласно методике изначально предложенной Пресслером (Двадцать пять ..., 1875), измерения проводились непосредственно в лесу с помощью особого рода линеек и при необходимости – лупы. Однако точность их была ниже, чем используемая большинством дендрохронологов (не менее 0,1мм). Кроме того, исследования Пресслера не были дендрохронологическими – он работал со средними показателями прироста (за пять лет, за десять лет). При таком подходе возможность пропустить при измерении одно кольцо для него не влекла серьезных последствий. Дендрохронолог же вынужден вести обработку ядра в лаборатории, где есть необходимое для этого оборудование. Кроме того, сбор ядер и их обработка по затратам времени соотносятся примерно как 1:5, и при большом объеме работ измерять их в лесу, не отходя от дерева, нереально.

Однако, при расчетах индексов прироста усушку вообще не следует принимать во внимание, так как индекс нам дает величину кольца, отнесенную к ширине других колец и любые эффекты усушки при таком подходе не имеют значения.

Предварительное смачивание ядра водой облегчает процесс его зачистки лезвием бритвы, что особенно важно для пород с твердой древесиной: например дуба, лиственницы. Но и для остальных пород смачивание всегда улучшает качество зачистки каждого годичного кольца.

Кроме того, смачивание водой обеспечивает лучшую видимость годичных колец. Иногда, когда измерение ядра ведется долго и неоднократно (например, не сошлось количество измерений общей ширины годичного кольца и измерений доли поздней древесины), ядро успевает подсохнуть и тогда имеет смысл дополнительное смачивание, улучшающее видимость. Иногда при подсыхании ядро изгибается, ведь зачищенная, обращенная к лампе поверхность пересыхает и сжимается быстрее, чем незачищенная, обращенная к стенкам используемого при измерении желобка. Помочь здесь может дополнительное смачивание поверхности ядра водой.

Важен вопрос о способах, облегчающих проявление на срезе годичных колец. Особенно это существенно для рассеяннососудистых пород. Согласно рекомендациям Пресслера (Двадцать пять..., 1897) для этой цели можно использовать раствор анилина в спирте. Согласно рекомендациям, приведенным у Д.И. Менделеева (1954) для решения данной проблемы может быть успешно использовано растительное масло. Наш опыт работы с липой, березой, тополями говорит о том, что использование порошка мела дает хорошие результаты. Кроме того, при распознавании годичных колец (прежде всего у рассеяннососудистых пород) важен угол падения света на поверхность древесины (Двадцать пять..., 1897). Рекомендуется (Тихомиров, Жолтко, 1941) проводить срез поверхности древесины березы так, чтобы в итоге две плоскости среза сходились в одной прямой под углом 150-160°. Тогда, вращая образец и меняя угол падения света, можно уверенно распознать все годичные кольца образца.

При распознавании годичных колец древесины хвойных очень хорошие результаты дает обработка порошком мела. Данный способ стал нам известен благодаря статье Е.М. Фильрозе и Г.М. Глушко (1986), где приведен обзор имеющихся способов проявления годичных колец и данный рекомендуется как самый эффективный. Единственное в чем можно не согласиться с авторами – это в рекомендации его для кольцесосудистых пород.

Древесину дуба и других кольцесосудистых пород по нашим наблюдениям после зачистки лучше ничем не обрабатывать, а тем более порошком мела – забивая крупные сосуды он может ухудшать видимость, слои имеющие малую долю поздней древесины при таком подходе на наш взгляд разграничивать сложнее. Если срез с верхнего слоя древесины тонкий, выполненный острым лезвием и по смоченной древесине то клеточные стенки не сминаются и годичные кольца четко видны благодаря наличию колец крупных сосудов, формировавшихся в начале каждого вегетационного сезона.

При отборе кернов древесины бурав не всегда проходит через сердцевину ствола. Во первых это вызывает неточное определение возраста образца на данной высоте, во вторых завывает ширину годичных колец, так как она уже идет не по перпендикуляру, а по хорде. Во вторых, результатом является образование на керне поблизости от сердцевины «косых» слоев. Неточность определения возраста в данном случае незначима, так как керны с высоты 1,3м для определения возраста дерева не годятся. Для устранения второго эффекта необходимо ориентировать керн в процессе измерений так, чтобы линия шкалы бинокля шла перпендикулярно границам годичных слоев.

3.3 Распознавание границы ранней и поздней древесины

У хвойных пород граница между поздней древесиной предыдущего года и ранней древесиной последующего года четкая, что позволяет уверенно вести измерения ширины годичного кольца. В то же время переход от ранней древесины к поздней внутри годичного кольца постепенен, что затрудняет измерение ширины слоя поздней древесины. Уровень «размытости» границы ранней и поздней древесины отличается у разных видов, в связи с чем они имеют разную пригодность для подобного рода исследований (табл. 5).

Таблица 5
Характер перехода от ранних трахеид к поздним у разных видов
сосновых

Вид	Характер перехода от ранних трахеид к поздним (по Вихров В.Е., 1959)
Пихта сибирская	Переход от ранней древесины к поздней постепенный
Ель европейская	Переход от ранней древесины к поздней постепенный
Сосна кедровая сибирская	Переход от ранней древесины к поздней постепенный, растушеванный
Сосна обыкновенная	Переход от ранних трахеид к поздним не очень резок
Лиственница европейская	Переход от ранней древесины к поздней отчетливо резкий.

Уровень «размытости» границы зон также варьирует в пределах вида, поэтому на некоторых образцах измерение ширины поздней древесины возможно вести более уверенно, на других менее. Для условного проведения границы между ранней и поздней древесиной при измерениях мы ориентировались на правило Морка (Larson, 1957; Fritts, 1976). Согласно правилу Морка, к поздней древесине относятся трахеиды, в которых толщина клеточных стенок между двумя клетками равна или больше, чем ширина просвета одной клетки. В целом, простое изменение цвета зон кольца является достаточно надежным маркером, которым пользуется большое число исследователей (Larson, 1957; Fritts, 1976).

3.4 Перекрестная датировка дендрохронологических рядов

В полученном ряду измерений радиального прироста известен год формирования ближайшего к коре годичного кольца: для растущего дерева он соответствует году отбора дендрохронологического образца. Далее производится ретроспективная датировка годичных колец. При этом, если в ряду измерений была допущена ошибка, в результате которой было пропущено одно годичное кольцо, либо вписано лишнее значение, то вся последующая датировка оказывается неверной. Даже опытный исследователь не застрахован от таких ошибок, но, кроме того, существуют и годичные кольца, которые настолько отличаются от типичных колец по своей анатомии, что правильно распознать данные структуры в древесине иногда просто невозможно. Это так называемые «выпавшие» и «ложные» годичные кольца. Поэтому, в дендрохронологических исследованиях для контроля за правильностью измерений обычно используются программы для перекрестной датировки.

Принцип перекрестной датировки является одним из основных принципов классической дендрохронологии (Fritts, 1976). В основе принципа лежит представление о том, что деревья, произрастающие в пределах какого-либо района, сходно реагируют на изменение внешних факторов, прежде всего на колебания климатических факторов от года к году. В результате неповторимый во времени характер колебания ширины годичного кольца оказывается сходен у всех деревьев одного вида и одного типа условий местопроизрастания. Поэтому совпадение графиков, отражающих изменчивость годичных колец у двух образцов, возможно, лишь на строго определенном временном интервале. Помимо проверки правильности измерений принцип перекрестной датировки широко используется классической дендрохронологией для датировки ископаемой древесины и древесины построек. В лесной дендрохронологии он может также привлекаться для решения ряда конкретных задач – установления времени гибели сухостоя, датировки вывала дерева ветром, времени его рубки и т.д.

3.5 Индексация дендрохронологических рядов

Ширина годичного кольца, также как и доля поздней древесины в годичном кольце закономерно изменяются с возрастом. У деревьев, растущих на просторе, после непродолжительного увеличения ширины годичных колец в молодом возрасте прирост достигает максимума и далее монотонно снижается по мере увеличения возраста (Cook, 1985). Этот негативный возрастной тренд частично обусловлен геометрическим эффектом, связанным с тем, что одна и та же площадь проводящей поверхности

кольца с возрастом может быть достигнута при меньших значениях ширины годичного кольца в связи с увеличением радиуса ствола и соответственно длины его окружности. Другие факторы, вызывающие проявление данного тренда – это снижение действующего на камбий в данной точке ствола эффекта апикального доминирования, увеличение расстояния транспорта питательных веществ, гормонов и влаги за счет перемещения кроны вверх по высоте ствола, и лимитирование роста за счет исчерпания ресурсов местообитания (Cook, 1985). Также, безусловно, сказывается фактор наследственно детерминированных темпов роста. В результате кривая прироста несет в себе изменчивость, обусловленную факторами, которые независимы от межгодичных флуктуаций климата. Так как эта кривая тесно связана с увеличением возраста дерева, она получила название возрастного тренда.

Для того чтобы избавиться от возрастного тренда в хронологиях традиционно применяют определенного рода индексацию (Шведов, 1892; Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996; Fritts, 1976; Cook, 1985). Факт необходимости индексации в настоящее время у серьезных исследователей возражений не вызывает. Однако бурные дискуссии зачастую ведутся о корректной форме индексации рядов радиального прироста. Можно согласиться с тем описанием ситуации в этой области, которую дает Ю.П. Демаков (1998): «Первым этапом сепарирования информации, содержащейся во временных рядах, является так называемая процедура выделения функции возрастного тренда. Излишним будет упоминание о том, что результаты поиска полностью зависят от правильности выбора этой функции. Несмотря на кажущуюся простоту постановки задачи и большое число проведенных исследований, она до сих пор окончательно не решена...» Как отмечает автор, наиболее часто для фильтрации информации используется «процедура сглаживания исходных рядов с помощью скользящей средней взвешенной с шагом разной размерности (от 3-5 лет до 31 года). Данная процедура, невинная на первый взгляд, искажает картину, порождая так называемый эффект Слуцкого-Юла».

Далее автор не поясняет в чем заключается этот эффект и, в итоге, для человека несведущего, данная характеристика звучит несколько угрожающе. Суть этого эффекта, как она раскрыта в монографии Т.Т. Битвинскаса (1974) в том, что при индексировании дендрохронологического ряда методом скользящих средних из него устраняются циклы меньшие, чем период сглаживания. Если это в рамках поставленной в ходе исследования задачи несущественно, то использование данного способа следует считать оправданным.

Метод скользящих средних это наиболее простой, удобный и старый прием вычисления индексов прироста. Впервые его использовал А.Покорни, предложивший 10-летние средние радиального прироста, ин-

терполированные по годам, сопоставлять с действительной шириной годовичных колец для получения коэффициентов влияния на них метеорологических факторов. Его предложение было зафиксировано на заседании секции ботаников и физиологов растений в Инсбруке (Австро-Венгрия) в 1867г.

Как правило, в качестве альтернативы данному методу предлагается использовать некоторые функции роста, отражающие изменение ширины годовичного кольца с возрастом. Данный подход нам кажется неправомерным методологическим заимствованием из физиологии животных. Растения, в отличие от животных, растут всю жизнь, и ожидать существования у них дискретных функций роста возможно, но вот корректно выделить их затруднительно. В зависимости от возраста экземпляра долговременный тренд в изменчивости его радиального прироста будет описываться разной функцией.

Кроме того, долговременная тенденция будет функцией и от действия ряда экологических факторов, и в итоге окажется, что для каждого конкретного дерева у одного расчет индексов прироста придется вести на основе экспоненциального уравнения, у другого на основе уравнения параболы, у третьего на основе логарифмической зависимости. Насколько корректно сопоставлять между собой эти индексы, или например, осреднять их для построения одной обобщенной хронологии мы не знаем.

Проблемам индексации дендрохронологических рядов была посвящена диссертация Эдварда Роджера Кука (Cook, 1985). Согласно сформулированной им теории, методика выделения возрастного тренда для дендрохронологических рядов из лесных древостоев, имеющих высокую плотность должна существенно отличаться от сформулированной Дугласом и его последователями применительно к полупустынным местообитаниям запада Северной Америки (Cook, 1985). В этих условиях деревья часто имеют очень простые экспоненциальные или линейные тренды в изменчивости годовичных колец. В лесных местообитаниях возрастной тренд имеет более комплексную природу, чем это было описано нами в начале раздела. Для деревьев из лесных высокоплотных древостоев большое значение имеет фактор конкуренции, для каждого отдельного дерева он варьирует в течение жизни дерева за счет того что его ближайший сосед по пологу может погибнуть (усохнуть, вывалиться ветром), оказаться временно ослабленным за счет повреждения пожаром либо насекомыми, либо наоборот оказаться в более благоприятных условиях например за счет гибели угнетавшего его дерева. Поэтому использование математических функций, подразумевающих монотонное изменение прироста, при дендрохронологических исследованиях в лесных древостоях неприемлемо. Ортогональное полиномиальное сглаживание или использование средних кубических

сплайнов – вот с точки зрения Кука приемлемые способы решения научной проблемы.

Здесь уместно добавить, что опыт классической дендроклиматологии в области расчета индексов прироста для лесной дендрохронологии имеет ограниченную ценность. Цель, которой хотелось бы достичь дендроклиматологу – выделение из ряда радиального прироста некоей компоненты, которая максимально будет коррелировать с каким-либо климатическим фактором, а затем на основании хронологии реконструировать этот фактор за период, когда для него отсутствуют инструментальные наблюдения. Каков биологический смысл рассчитанного индекса, как он соотносится с урожаем древесины дендроклиматолога в принципе не интересует. Физиологическая сторона вопроса для него важна главным образом для обоснования неслучайности обнаруженной корреляции.

Для решения поставленной задачи этот подход, безусловно, оправдан, но лесоводу ведь приходится решать задачу противоположную: как те или иные факторы влияют на формирование годичного кольца и урожая древесины в целом. Здесь использование такого привычного, широко закрепившегося в лесоводстве и лесной таксации показателя как прирост за пять лет является оправданным. Отклонение прироста данного года от среднего прироста за пять лет – это не всегда самый совершенный вид индекса, но его достоинство в том, что мы всегда четче представляем его биологический смысл и границы допустимости в применении, чем у иного, рассчитанного более сложным способом.

Согласно характеристике, данной Фритцем (Fritts, 1976), индексирование путем нахождения отклонений значения прироста от скользящей средней ценно тем, что не требует биологического основания в выборе функций роста и обеспечивает неспецифическое удаление эффектов воздействия долговременных факторов различной природы. Индекс радиального прироста, таким образом, кроме отдельно оговоренных случаев рассчитывается нами по формуле:

$$I_t = W_t / Y_t$$

где W_t – ширина годичного кольца в год t

Y_t – средняя ширина годичного кольца за пять лет для года t

При выборе интервала осреднения существуют различные варианты. Двустороннее среднее (например, за пять предыдущих и пять последующих лет от года t) представляет существенный недостаток за счет потери информации за последние (недавние) годы, представляющей значительную ценность. Одностороннее среднее, рассчитывающееся за последние несколько лет от этого недостатка избавлено, кроме того оно более обосновано с биологической точки зрения, т.к. условия лет $t-1$, $t-2$ и др. могут ска-

зваться на приросте в год t , а условия лет $t+1$ здесь понятно никакой роли не играют.

Величина интервала одностороннего осреднения также должна быть по возможности минимальной. Во-первых, в силу эффекта Слущкого при индексировании дендрохронологического ряда методом скользящих средних из него устраняются циклы меньшие, чем период сглаживания (Битвинкас, 1974). Во-вторых, дендрохронологические ряды становятся короче за счет отсекаания начальных, наиболее старых значений ряда, т.е. чем меньше интервал осреднения, тем длиннее полученный дендрохронологический ряд.

В отдельных случаях все же метод симметричного осреднения имеет преимущество – если материал имеет сильно отличающиеся по характеру тренды, самый яркий тому пример – сопоставление динамики линейного, радиального и объемного прироста.

В классической дендроклиматологии для удаления из рядов автокорреляции используется также процедура «выбеливания», основанная на моделировании физиологически обусловленной автокорреляции авторегрессионным процессом или процессом авторегрессии скользящего среднего и вычитании данной компоненты из ряда индексов прироста (Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996). Данная процедура, оправданная в классической дендроклиматологии, в рамках нашего методологического подхода неприемлема. Автокорреляция может быть обусловлена разными физиологическими причинами, в том числе и запаздыванием в отклике прироста на климатические факторы, и нивелировать эти различия между разными группами деревьев было бы неверно. Имеет смысл повторить, что выделение показателя, максимально коррелированного с климатическим фактором и оценка вклада климатического фактора в формирование урожая древесины – это принципиально разные методологические задачи! Это хорошо понимал А.П. Тольский (1936); понимание принципиальности этих отличий есть и у классических дендроклиматологов: «Только с помощью методов множественного регрессионного анализа удается с хорошим приближением выразить ширину годичного кольца через комбинацию погодных факторов (Fritts, 1962, 1966), однако тогда индикационные возможности дендрохронологических рядов в реконструкции условий прошлого практически теряют смысл» (Ваганов и др., 1992).

3.6 Построение обобщенных хронологий

Индивидуальные хронологии для отдельной группы деревьев, как правило, имеют разную длину, даже если насаждение одновозрастное. Происходит это потому, что, во-первых, все деревья достигают высоты

1,3м в разном возрасте, а, во-вторых, при сверлении ствола буров не всегда точно проходит через сердцевину и, соответственно, из ряда выпадает то или иное число близких к сердцевине колец. При осреднении мы, как правило, начинаем построение обобщенной хронологии, если в данный момент времени на высоте 1,3м присутствовало уже более 50% деревьев (с учетом того, что для расчета индекса требуется присутствие дерева на высоте 1,3м в течение не менее чем пяти лет при использовании в расчетах одностороннего скользящего пятилетнего среднего). В большинстве случаев рассчитанные таким образом средние индексы прироста имеют показатель точности, укладывающийся в пределах размаха вариации данного показателя, на интервале со 100%-ным присутствием учетных деревьев на высоте 1,3м. Естественно, при сопоставлении хронологий по группам деревьев длина ряда лимитируется длиной наиболее короткой из всех включенных в группу обобщенных хронологий. Иногда длина ряда лимитируется не возрастом учетных деревьев, а длиной инструментального ряда метеонаблюдений. Длиной ряда в конечном итоге часто определяется статистическая достоверность делаемых выводов, например достоверность значений коэффициента корреляции между индексами прироста.

3.7 Определение сходства между дендрохронологическими рядами

В настоящее время существует множество вариантов определения сходства между дендрохронологическими рядами. Так, программа TSAP-Win производства немецкой фирмы «Rinntech» предлагает несколько десятков вариантов подобного рода расчета (демо-версия программы доступна на сайте www.rinntech.com). Однако на первых этапах вовлечения дендрохронологической информации в сферу лесохозяйственной практики имеет смысл использовать в основном лишь коэффициент корреляции и коэффициент синхронности (долю однонаправленных интервалов изменения прироста в сопоставляемой паре рядов). Их достоинства в том, что мы всегда представляем физический смысл произведенных расчетов, и, полученные с их использованием результаты, будут выглядеть убедительными для широкого круга научной общественности. Данные коэффициенты отражают разные аспекты сходства между дендрохронологическими рядами. Для иллюстрации характера их взаимной сопряженной изменчивости используем данные, полученные на материале рядов радиального прироста по шести хвойным породам: ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), пихте сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), лиственнице европейской (*Larix decidua* Mill.), сосне веймутовой (*Pinus strobus* L.), тую западную (*Thuja occidentalis* L.). Возраст учетных деревьев - около ста лет. Число учетных деревьев - 12 для каждого вида.

Сопоставляемый период: 1960-2002 год. Образцы древесины были отобраны в бывшем дендрарии графа Уварова в Порецком лесничестве Можайского лесхоза Московской области. Ряды значений радиального прироста с целью устранения эдафических и возрастных эффектов были преобразованы в ряды индексов радиального прироста сглаживанием пятилетней левосторонней скользящей средней. Для сравнения были рассчитаны обычный коэффициент корреляции и коэффициент синхронности (доля лет с сонаправленной реакцией прироста для пары временных рядов). Результаты расчетов сведены в таблицу 6.

Таблица 6
Сопоставление показателей дендрохронологических рядов

Вид	Коэффициент	Вид					
		Туя западная	Сосна обыкновенная	Лиственница европейская	Сосна веймутова	Пихта сибирская	Ель европейская
Туя западная	корреляции	1					
	синхронности	100					
Сосна обыкновенная	корреляции	0,29	1				
	синхронности	50	100				
Лиственница европейская	корреляции	0,10	-0,07	1			
	синхронности	55	62	100			
Сосна веймутова	корреляции	0,12	0,39	0,10	1		
	синхронности	69	71	62	100		
Пихта сибирская	корреляции	0,06	0,04	-0,11	0,17	1	
	синхронности	52	45	50	60	100	
Ель европейская	корреляции	0,34	0,32	-0,05	0,39	0,19	1
	синхронности	64	67	62	90	60	100

Как видно из таблицы 6, дендрохронологические ряды могут характеризоваться высокими значениями одного показателя на фоне низких значений другого. Так, пара ель-лиственница имеет один из самых низких коэффициентов корреляции (-0,05) и достаточно высокий коэффициент синхронности (62%). Похожим по величине показателем характеризуется пара

ель-туя (0,28), несмотря на то, что коэффициент синхронности здесь почти такой же, как и в первом случае (64), а коэффициент корреляции довольно высок (0,34).

Пара сосна обыкновенная - сосна веймутова характеризуется максимальным значением коэффициента корреляции (0,39) и вторым по величине коэффициентом синхронности (71%). Следует обратить внимание на тот факт, что сосна веймутова оказалась наиболее сходна с елью, а не с сосной обыкновенной. Если обратиться к дендрологической литературе, то можно найти объяснение этому факту. Так в авторитетном справочнике Каппера (1954) отмечается, что сосна веймутова по требовательности к влажности воздуха приближается к ели. В.В. Миронов (1977), наблюдавший рост культур сосен в условиях Воронежской области, также пришел к выводу о меньшей засухоустойчивости сосны веймутовой, по сравнению с сосной обыкновенной.

Таким образом, ранжирование по сходству пар дендрохронологических рядов на основе разных коэффициентов будет давать разные результаты. Это всегда необходимо иметь в виду исследователю.

3.8 Выявление климатической обусловленности колебаний прироста

Закономерности роста древесных растений представляют фундаментальный интерес для лесоведения и лесоводства. И если дендроклиматолог стремится извлечь из изменчивости годичных колец некоторую компоненту, которая позволит реконструировать климаты прошлых эпох, то перед лесоводом стоит иная задача – определить насколько сильно колебания величины радиального прироста обусловлены колебаниями метеопараметров.

Традиционным объектом дендроклиматических исследований являются насаждения в экстремальных условиях произрастания (Шиятов, 1979). В неэкстремальных условиях анализ влияния климатических факторов на прирост затруднен в силу того, что лимитирующие прирост факторы могут меняться от года к году.

Представим, что в данном году увеличение продуктивности ограничивается недостатком дозы фактора А, а на следующий год при тех же значениях фактора А прирост может лимитироваться уже недостатком дозы фактора В. Расчет коэффициентов корреляции между рядом изменчивости прироста и изменчивости метеопараметров в этом случае не позволит нам выявить влияния климатических факторов на прирост, даже если оно есть.

Кроме того, с точки зрения классических представлений экологии, если местопроизрастание вида лежит в зоне, в которой ежегодные дозы климатических факторов близки к составляющей зону оптимума жизнедея-

тельности организма, то сильные отклонения от величины этих доз в большую или в меньшую сторону отрицательно сказываются на ширине годичного кольца. Иными словами, увеличение дозы фактора А будет в одних случаях иметь положительное, а в других отрицательное влияние на ширину годичного кольца.

Помимо этого, в нашем конкретном случае мы вправе ожидать нестрого соблюдения закона лимитирующих факторов (сформулированного в первую очередь применительно к влиянию минеральных удобрений на урожай растений) — возможно допустить существование физиологических компенсаций, когда действие фактора А (например, недостаточное увлажнение в июне) компенсируется действием фактора В (например, обильное увлажнение в июле) и общий итог влияния климатического фактора на ширину годичного кольца будет сложно выявить статистическими методами.

Наличие одинаковой реакции прироста на разнонаправленные экстремальные отклонения дозы факторов от среднего, в совокупности со сменой лимитирующего фактора от года к году снижает, таким образом, познавательную ценность процедуры корреляционного анализа при выявлении зависимостей продуктивности деревьев лесной зоны от действия экологических факторов. В дополнение к нему могут использоваться разработанный нами на основе методологии работ Н.В. Ловелиуса (2003) такой методический прием, как анализ климаграмм. Для демонстрации методики выбраны насаждения лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), расположенные на территории Порецкого лесничества Бородинского лесхоза Московской области и произрастающие в условиях свежей субори. Результаты данного исследования более подробно были изложены в совместной публикации с Д. К. Николаевым (Румянцев, Николаев, 2006).

Наша временная пробная площадь была расположена на участке, рельеф которого имел слабый склон на северо-восток и примыкал к глубокому оврагу, что служило фактором, препятствующим избыточному переувлажнению почвы. Учетные деревья подбирались среди деревьев I-III класса роста по Крафту, с каждой пробной площади было взято 33 учетных дерева. Для выявления возможных ошибок в последовательном ряду измерений ширины годичных колец использовался пакет программ GROWLINE (Липаткин, Мазитов, 1997). Полученная осреднением индивидуальных хронологий обобщенная хронология по радиальному приросту индексировалась отношением прироста в данном году к среднему приросту за пять лет (два предшествовавших года, текущий год, два последующих года). При расчетах использовались данные метеостанции г. Можайск (1961-2000).

Корреляционный анализ индексированной хронологии показал наличие положительной связи между изменчивостью индексов прироста ли-

ственницы сибирской и суммой осадков за февраль, за март и за июнь ($R > 0,32$). С другими показателями, в том числе и показателями прошлого вегетационного сезона, достоверной корреляции не было обнаружено.

Для более детального анализа использовались годы, экстремальные по величине индексов прироста. У лиственницы сибирской к годам с низким приростом были отнесены годы с индексом прироста менее 0,9. К годам с высоким приростом были отнесены годы с индексом прироста более 1,1. На рис. 9 приведены климаграммы для месячной суммы осадков в данные группы лет. Видно, что годы повышенного прироста характеризуются повышенной суммой зимних осадков и повышенной суммой осадков в июне и июле (рис.9). По температурному режиму данные группы лет не отличаются, что видно из рис. 10.

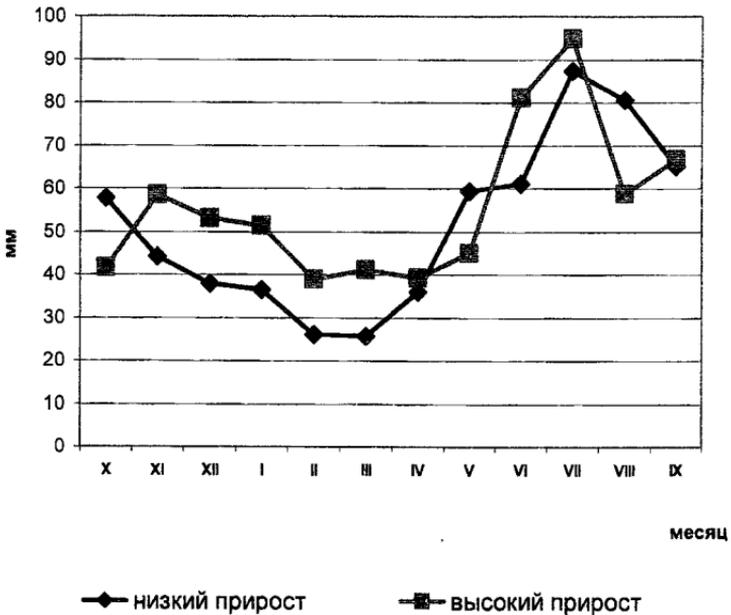


Рис. 9. Средние месячные суммы осадков для лет высокого и низкого прироста лиственницы сибирской



Рис. 10. Средние среднемесячные температуры для лет высокого и низкого прироста лиственницы сибирской

Очевидно, что одна и та же сумма осадков будет иметь разную значимость в зависимости от сезона, в котором она выпала, поэтому более корректным мы посчитали провести отдельную индексацию зимних и летних осадков, и лишь затем попытаться предложить интегральный показатель. Среднегодовое значение суммы осадков за декабрь-март составило 144 мм, за июнь-июль — 160 мм. Годичные значения суммы осадков за декабрь-март и за июнь-июль относились к среднегодовым значениям. Затем осреднением двух полученных рядов был получен индекс увлажнения. Динамика индексов прироста лиственницы сибирской в сравнении с индексом увлажнения приведена на рис. 11.

Коэффициент корреляции между индексом прироста лиственницы сибирской и показателем увлажнения равен 0,65. Таким образом, на основе использования метода климаграмм нами эмпирическим путем был подобран показатель, хорошо отражающий колебания ширины годичных колец.

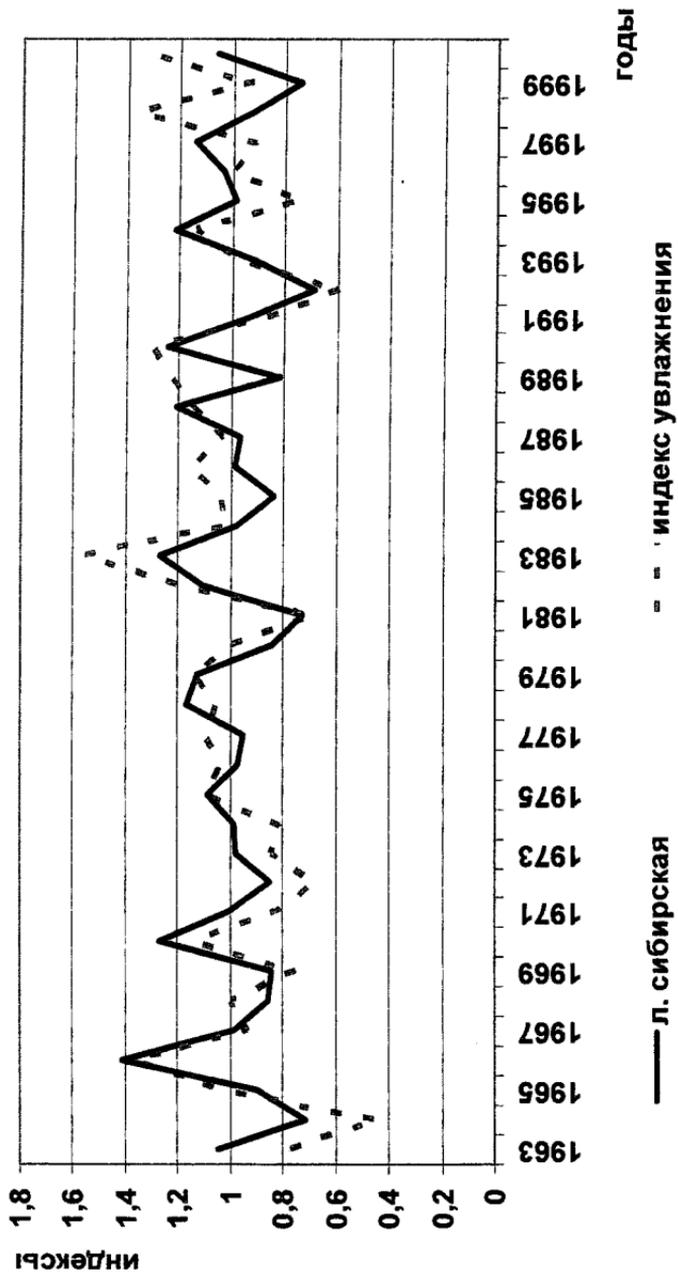


Рис. 11 Динамика прироста лиственницы сибирской в сравнении с динамикой индекса увлажнения

Корреляционный анализ, безусловно, имеет ограниченную ценность для решения задачи выявления климатической обусловленности колебаний прироста в высокобонитетных древостоях. В то же время, лесоведам, использующим дендрохронологическую информацию, не следует впадать в крайность и полностью отрицать ценность процедуры корреляционного анализа для целей выявления климатической обусловленности колебаний прироста. Подобного рода анализ должен представлять обязательный этап любой исследовательской работы. Сам факт наличия или отсутствия тесных корреляционных связей с метеопараметрами может служить основанием для заключения об уровне оптимальности климатических условий среды.

Иногда, например, в городской среде или для видов интродуцентов, процедуры корреляционного анализа может оказаться уже достаточно для познания закономерностей изменчивости прироста у интересующей нас группы древесных растений.

В качестве примера успешного использования процедуры корреляционного анализа для выявления климатической обусловленности колебаний прироста у вида интродуцента в городских зеленых насаждениях приведем результаты, полученные при обследовании посадки сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в дендрарии Главного Ботанического сада им Н.В. Цицина РАН (Александрова, Дроздов, Румянцев, 2008).

Для расчета коэффициентов корреляции с метеопараметрами была использована обобщенная хронология по 13 учетным деревьям за период с 1972 по 2003 год (в 1972 году более 50 % учетных деревьев достигло высоты 1,3м). Известно, что радиальный рост кедрового сибирского в зоне смешанных лесов продолжается с первых дней мая до начала сентября (Дроздов, 1998). Поэтому в расчет были включены метеопараметры (среднемесячная температура, месячная сумма осадков) начиная с мая прошлого года и заканчивая сентябрем текущего года (года формирования годичного кольца). Результаты расчета отражены на рис. 12-15.

Из рис. 12-15 видно, что для прироста сосны кедровой сибирской оказалась наиболее значима погода в мае: наблюдается тесная отрицательная связь со среднемесячной температурой мая (-0,60) и тесная положительная связь с месячной суммой мая (0,71).

Следовательно, основным фактором неблагоприятно сказывающемся на приросте сосны кедровой сибирской в условиях ГБС РАН является водный стресс в начале периода вегетации.

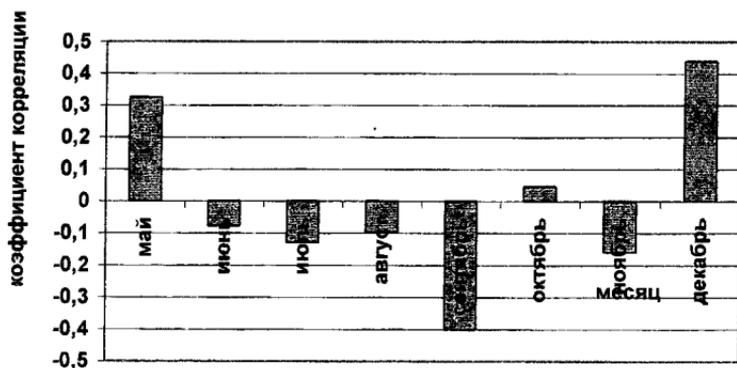


Рис. 12 Значения коэффициентов корреляции между индексом прироста и среднемесячными температурами года, предшествовавшего формированию годичного кольца

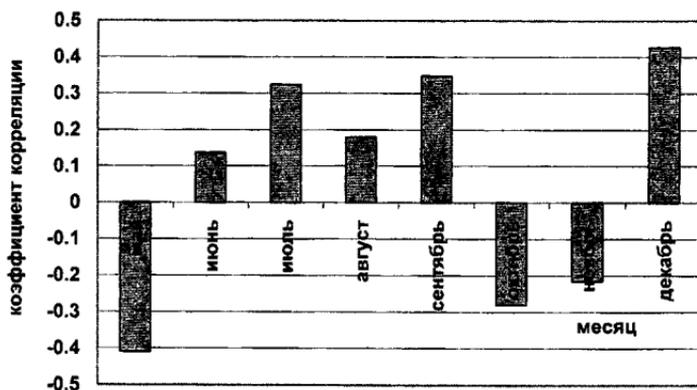


Рис. 13 Значения коэффициентов корреляции между индексом прироста и месячными суммами осадков в год, предшествовавший году формирования годичного кольца

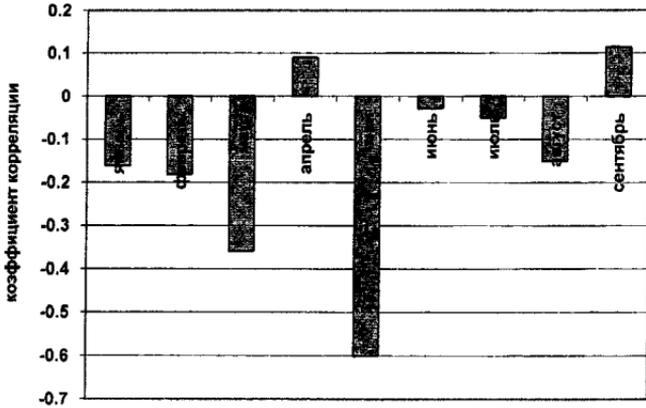


Рис. 14 Значения коэффициентов корреляции между индексом прироста и среднемесячной температурой в год формирования годичного кольца

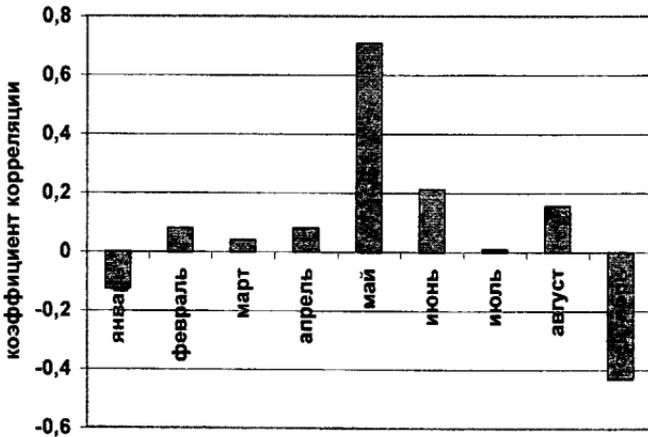


Рис. 15 Значения коэффициентов корреляции между индексом прироста и месячными суммами осадков в год формирования годичного кольца

В целом физиологический механизм данной зависимости ясен: активный рост по диаметру у сосны кедровой сибирской наблюдается до 4 июня (Дроздов, 1998) и засушливые условия, таким образом, непосредственно тормозят отложение древесины камбием. Отрицательное влияние недостатка осадков в весенние месяцы на рост сосны сибирской в условиях интродукции в Европейскую часть России уже отмечалось ранее (Дроздов, 1998).

Связь прироста с метеоусловиями мая была смоделирована с помощью уравнения линейной регрессии вида:

$$Y = 1,18 - 0,028 \times T_5 + 0,0034 \times O_5$$

где

T_5 – температура мая, °С

O_5 – сумма осадков мая, мм

Данное уравнение описывает 58% изменчивости индексов прироста, и, как видно из рис. 16 модельная хронология обладает хорошей синхронностью с исходной хронологией. Осадки мая в данном уравнении имеют наибольший вес, только ими описывается 50% изменчивости индексов радиального прироста.

Таким образом, на основе использования дендрохронологической информации нам удалось выявить фактор, лимитирующий прирост деревьев сосны кедровой сибирской в условиях ГБС РАН. Для ускорения их роста и улучшения состояния можно рекомендовать проводить полив в мае, особенно при условии засушливой погоды.

Выполненное исследование хорошо демонстрирует принципиальную возможность использования дендрохронологической информации в практике лесного хозяйства для установления путей мелиорации лесных земель, либо потребности городских зеленых насаждений в определенном рода агротехнических уходах.

Безусловно, предложенный нами в итоге вид ухода (полив деревьев в мае) является экономически затратным и с точки зрения лесного хозяйства может быть нецелесообразен. В то же время, в зеленом строительстве подобного рода подходы могут оказаться полезными для ускорения роста деревьев.

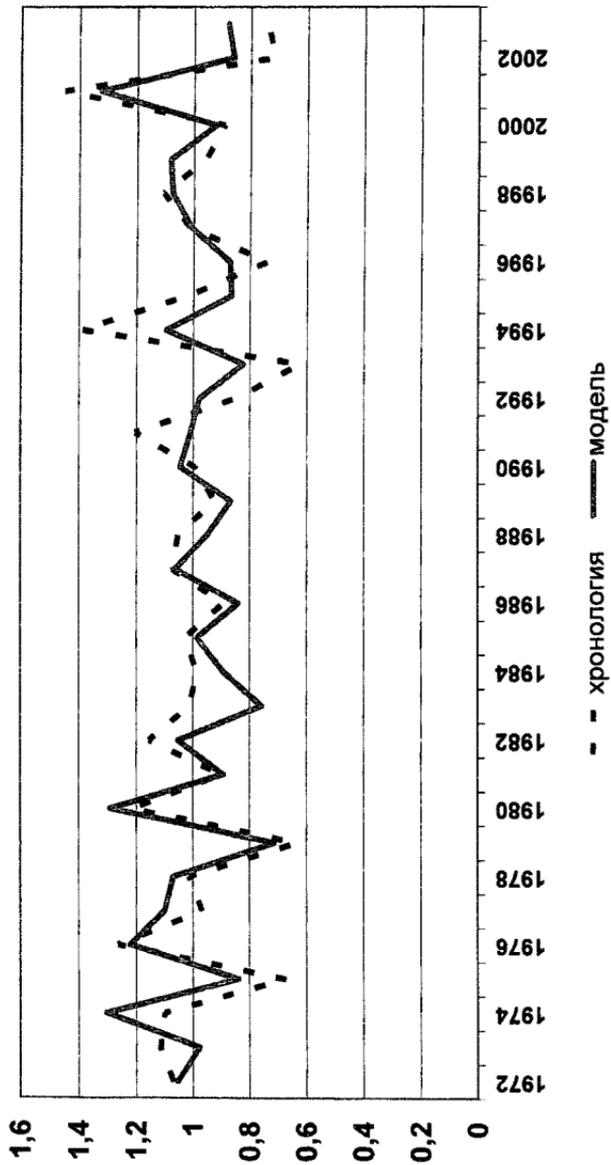


Рис. 16 Результаты моделирования динамики индексов радиального прироста сосны кедровой сибирской под действием метеофакторов

3.9 Сопряженность в колебаниях прироста ранней и поздней древесины

Вопрос о соотношении колебаний прироста ранней и поздней древесины, а также их соотношение с колебанием общей ширины годичного кольца и доли поздней древесины также важен и требует обсуждения. Для решения подобного рода задачи наиболее пригодны хронологии по разным видам лиственницы, так как у них граница ранней и поздней древесины внутри годичного слоя наиболее резкая и измерения ширины слоя поздней древесины для лиственницы, таким образом, наиболее точные. Для других пород есть определенная вероятность сомнений в правильности распознавания границы ранней и поздней древесины внутри годичного слоя. Ниже нами приводятся некоторые результаты совместно выполненного исследования (Румянцев, Александрова, Николаев, 2009).

Результаты корреляционного анализа индексированных хронологий у разных видов лиственницы из дендрария ГБС РАН приведены в таблице 7-9. Расчет велся за период 1970-2003 годы.

Таблица 7

Изменчивость разных видов индексов прироста у лиственницы сибирской

Вид хронологии	Индекс ширины годичного кольца	Индекс доли поздней древесины	Индекс ширины слоя ранней древесины	Индекс ширины слоя поздней древесины
Индекс ширины годичного кольца	1	—		
Индекс доли поздней древесины	0,09	1	—	
Индекс ширины слоя ранней древесины	0,84	-0,42	1	—
Индекс ширины слоя поздней древесины	0,77	0,70	0,34	1

Таблица 8

Изменчивость разных видов индексов прироста у лиственницы японской

Вид хронологии	Индекс ширины годового кольца	Индекс доли поздней древесины	Индекс ширины слоя ранней древесины	Индекс ширины слоя поздней древесины
Индекс ширины годового кольца	1	—		
Индекс доли поздней древесины	-0,25	1	—	
Индекс ширины слоя ранней древесины	0,93	-0,56	1	—
Индекс ширины слоя поздней древесины	0,58	0,63	0,25	1

Таблица 9

Изменчивость разных видов индексов прироста у лиственницы европейской

Вид хронологии	Индекс ширины годового кольца	Индекс доли поздней древесины	Индекс ширины слоя ранней древесины	Индекс ширины слоя поздней древесины
Индекс ширины годового кольца	1	—		
Индекс доли поздней древесины	-0,25	1	—	
Индекс ширины слоя ранней древесины	0,92	-0,54	1	—
Индекс ширины слоя поздней древесины	0,59	0,56	0,25	1

На основе анализа данных таблиц 7-9 можно отметить, что у всех трех видов закономерности взаимной сопряженности всех рассматриваемых показателей сходны. Так наблюдается сильная связь в изменчивости индекса ширины ранней древесины и индекса ширины годичного кольца ($R=0,84\dots 0,93$). Значительная связь наблюдается между индексом ширины слоя поздней древесины и шириной годичного кольца ($R=0,58\dots 0,77$).

С хозяйственной точки зрения важно, что между индексом доли поздней древесины и индексом ширины годичного кольца наблюдается значительная положительная связь ($R=0,56\dots 0,70$). Это значит, что при увеличении ширины годичного кольца, вызванном климатическим воздействием одновременно с этим увеличивается и доля поздней древесины в нем. Отметим особо, что данная закономерность справедлива лишь для кратковременных колебаний ширины годичного кольца, для долговременной тенденции на отдельно взятой высоте характерен как раз обратный процесс, что хорошо понятно из рис.2.

Но особенно важно отметить, что между кратковременной изменчивостью поздней и изменчивостью ранней древесины связи нет ($R=0,25\dots 0,34$). Этого вполне логично ожидать, ведь ранняя и поздняя древесина формируются в разное время и на камбий при формировании этих слоев действуют разные погодные условия. Целый ряд авторов руководствовался этим положением. Однако Эклунд (Eklund, 1957), разделяя это мнение в качестве исходной предпосылки получил в своих исследованиях противоречащий ей результат на материале 460 учетных деревьев ели европейской из Северной Швеции. Сравнение индексированных хронологий по ранней и поздней древесине показало их неожиданное сходство. Корреляция между ними была порядка $+0,74$ и корреляционный коэффициент был достоверен при уровне доверительной вероятности $0,001$. Колебания, естественно, соответствовали колебаниям ширины годичного кольца и были тесно скоррелированы с температурой за период с 16 мая по 31 июля (Eklund, 1957).

Знание факторов варьирования доли ранней и поздней древесины в годичном кольце важно для целей реконструкции экологической обстановки прошлого дендрохронологическими методами (Ваганов, Терсков, 1977). Отметим, что данные авторы хотя и ссылаются в своей монографии на работу Эклунда, но говорят при этом только о результатах влияния климатических факторов на прирост ранней древесины. О факте тесной коррелированности в варьировании ранней и поздней древесины они умалчивают и не пытаются его комментировать, хотя с позиций развиваемой ими методологии он безусловно важен.

Для спелых древостоев лиственницы европейской из Порецкого лесничества (XII класс возраста) нами были получены результаты сходные с результатами Эклунда. (табл. 10).

Таблица 10

Изменчивость разных видов индексов прироста у самой старой лиственницы европейской за период 1870-2003

Вид хронологии	Индекс ширины годичного кольца	Индекс доли поздней древесины	Индекс ширины слоя ранней древесины	Индекс ширины слоя поздней древесины
Индекс ширины годичного кольца	1	—		
Индекс доли поздней древесины	0,50	1	—	
Индекс ширины слоя ранней древесины	0,94	0,18	1	—
Индекс ширины слоя поздней древесины	0,92	0,78	0,74	1

Как видно из таблицы 10 между индексом доли и индексом ширины годичного кольца связь такая же, как и в предыдущих случаях ($R=0,50$). Индекс ранней древесины все также сильно связан с индексом ширины годичного кольца ($R=0,94$). Но при этом индекс ширины слоя поздней древесины сильно связан как с индексом ширины годичного кольца ($R=0,92$) так и с индексом ранней древесины ($R=0,74$)! То есть ситуация аналогична описанной Эклундом.

Первое что необходимо рассмотреть, чтобы понять причины таких отличий – это как корреляция между индексом слоя ранней и индексом слоя поздней древесины меняется с возрастом. Для этого воспользуемся методом расчета скользящего коэффициента корреляции, уже использовавшегося нами для анализа дендрохронологической информации (Николаев, Румянцев, 2004). В качестве интервала для расчета возьмем использовавшийся нами выше интервал в 34 года. Результаты расчета отражает график на рисунке 17. Здесь, например, точка соответствующая 2003 году, отражает значения коэффициента корреляции между индексом ранней и поздней древесины за период 1970-2003, соответствующая второму – тот же показатель за период 1969-2002 и т.д.

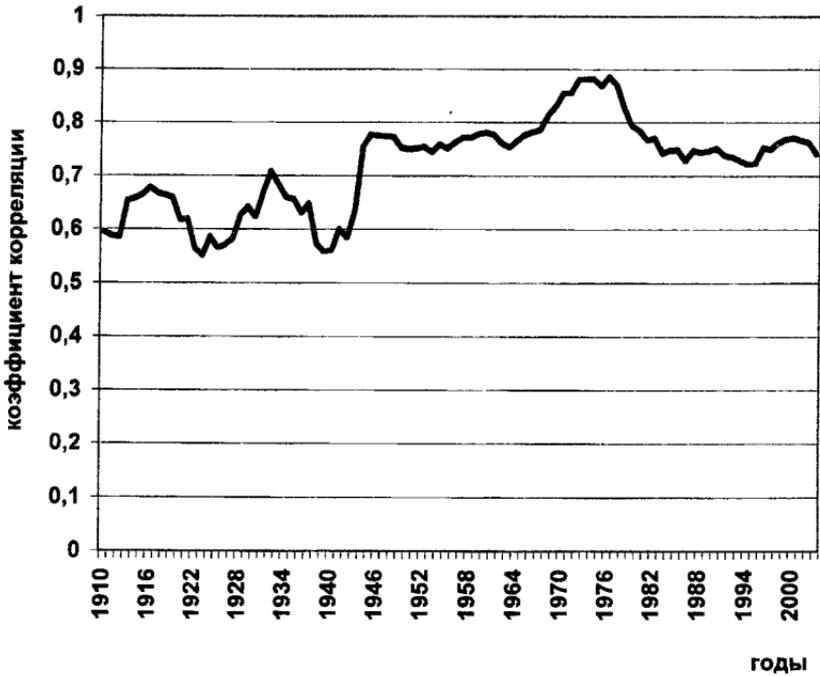


Рис. 17 Динамика коэффициента корреляции между шириной слоя ранней и поздней древесины у лиственницы европейской XII класса возраста

Из рис. 17 видно, что с возрастом теснота связи между колебаниями ранней и поздней древесины несколько возрастает. Однако даже в молодом возрасте она не падает до значений зафиксированных нами у лиственницы в дендрарии ГБС РАН. Для отдельных периодов значения коэффициента корреляции приближаются к 0,9, т.е. связь между признаками может рассматриваться как очень сильная.

В связи с этим интересно сопоставить динамику этого же показателя на другой пробной площади, деревья которой моложе на двадцать лет (рис. 18).

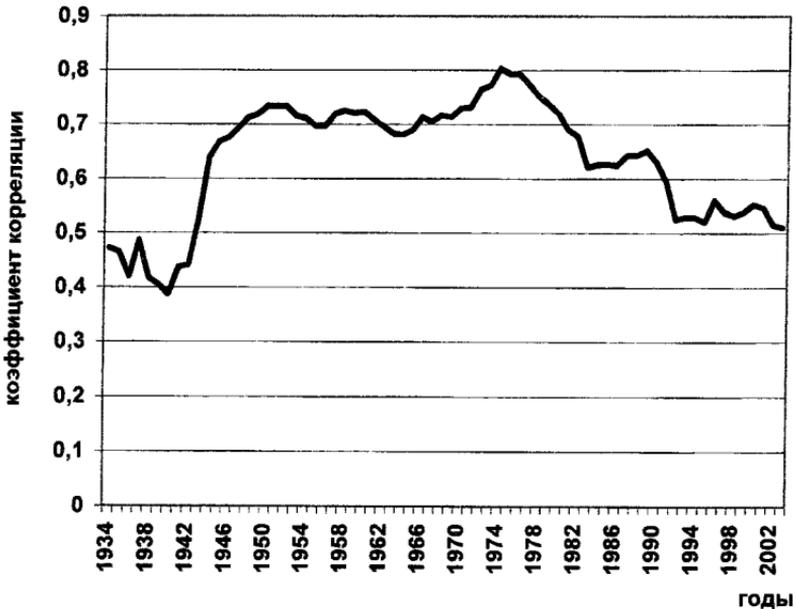


Рис. 18. Динамика коэффициента корреляции между индексом ранней и индексом поздней древесины у лиственницы европейской XI класса возраста в условиях Порецкого лесничества

Из рис. 18 видно, что в отдельные периоды связь между колебаниями ранней и поздней древесины весьма тесная, а в молодом возрасте умеренная, но все же не настолько низкая как было найдено нами в условиях ГЭС. Можно предположить, что существенное влияние на характер связи оказывают почвенные условия. В связи с этим уместно привести данные по пробной площади, заложенной в условиях хорошего дренажа в Порецком лесничестве (рис. 19). Учетные деревья здесь представлены лиственницей сибирской, однако, учитывая, что в условиях ГЭС мы нашли сходный характер сопряженности хронологий по разным видам прироста у всех трех видов, то наше сопоставление корректно.

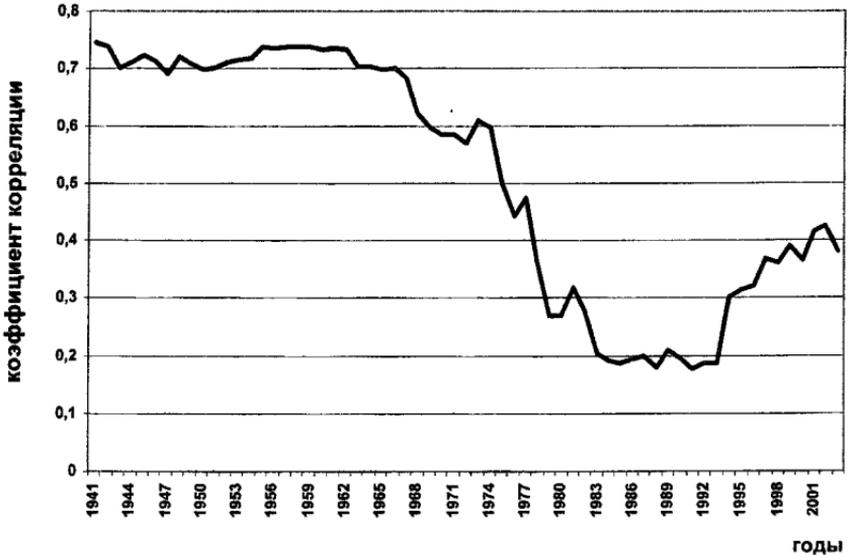


Рис. 19 Динамика коэффициента корреляции между индексом ранней и индексом поздней древесины у лиственницы сибирской X класса возраста в условиях Порецкого лесничества на хорошо дренированных почвах

Из рис. 19 видно что, на определенном интервале связь близка к обнаруженной в условиях ГБС, но в то же время есть интервалы когда она весьма тесная. Не наблюдается как на рис.17 и рис. 18 снижение тесноты связи в молодом возрасте, здесь картина скорее обратная. Подводя итог нашим наблюдениям следует заключить, что уровень связи между ранней и поздней древесиной может варьировать от слабого до очень сильного.

М.Г. Романовским высказывалось предположение о том, что короткопериодические составляющие в динамике радиального прироста возникают как автоколебания и только синхронизируются средой (Романовский, 1983). Для ширины слоя поздней древесины в годичном кольце в свете вышеизложенных данных есть основания предполагать наличие модели такого же типа. Видимо существуют два режима в изменчивости ширины слоя поздней древесины: обусловленный экологической средой, признаком которого является наличие слабой связи между колебаниями ранней и поздней древесины, и обусловленный генетически заложенной корреляцией между шириной слоя ранней и поздней древесины. Возможно, что первый режим является индикатором недостаточно благоприятных условий среды, как например, существование в городских условиях.

Можно предполагать существование некоторого механизма, обеспечивающего синхронизацию колебаний ранней и поздней древесины. В том случае, когда работа его нарушается внешними воздействиями, – уровень связи падает. Подводя итог анализу, выполненному в данном разделе, хочется обратить внимание на методологически важный вывод о том, что ряды прироста по поздней древесине не всегда несут в себе самостоятельный климатический сигнал по сравнению с временными рядами по общей ширине годичного кольца. Необходимо подробным образом исследовать сопряженность колебаний прироста ранней и поздней древесины и выявить факторы ее определяющие. Важно подчеркнуть, что мы не видим в наших результатах некоторой уже сформировавшейся концепции. Они скорее дают обоснованный повод для интереса к пересмотру устоявшихся к настоящему времени концепций, для некоторого более четкого очертывания допустимых рамок их применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дендрохронология – это наука, изучающая изменчивость годичных колец вторичной ксилемы древесных растений во временном аспекте. Она имеет давнюю историю и богатый методологический аппарат, который развивался в основном вне прямой связи с задачами лесоведения и лесоводства (Битвинскас, 1974; Мелехов, 1979). Возникшая благодаря трудам американского астронома Эндрю Дугласа и его учеников реконструктивистская методологическая концепция стала системообразующим каркасом современной дендрохронологии. В ее рамках основными сферами приложения дендрохронологической информации были и остаются археология и палеоклиматология. В области лесоведения в настоящее время основной объем дендрохронологических исследований выполнен в области реконструкции истории лесных фитоценозов. Убедиться в этом можно ознакомившись с обстоятельными обзорными работами (Комин, 1968, 1990; Иерусалимов, 1971; Шиятов, 1973; Shiyatov, 1988; Шиятов, Ваганов и др. 2000).

Расширение сферы использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике представляет собой актуальную задачу. Эта задача до настоящего времени еще не решена, но концептуальные контуры данной проблемы были с разной степенью четкости обозначены в трудах ряда отечественных ученых (Менделеев, 1899; Гольский, 1904, 1936; Ткаченко, 1908; Комин, 1968; Мелехов, 1969, 1977, 1979; Розанов, 1969; 1972; Иерусалимов, 1971; Битвинскас, 1974; Молчанов, 1976; Русаленко, 1986; Таранков, 1996; Феклистов, 1997; Феклистов, Евдокимов, Барзут, 1997; Демаков, 2000; Матвеев, 2003, 2004). Данная работа является

одним из этапов формирования методологической базы для использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике. Хочется добавить, что в то время, когда во всех сферах науки демонстрируются успехи в области освоения различного рода биотехнологий, когда научная фантастика сулит немислимые блага от нанотехнологий, которые будут разработаны в будущем, лесоведам также никто не может запретить задумываться о перспективах совершенствования используемых приемов ведения хозяйства. Назревший этап будущего, необходимый на путях дальнейшей детализации лесохозяйственной практики, уточнения и утончения применяемых ею технологий был обозначен академиком РАСХН И.С. Мелеховым (1969): « Из теоретических исследований в направлении повышения продуктивности лесов все большее значение приобретает на наш взгляд изучение фотосинтеза и деятельности камбия древесных пород в различных лесорастительных условиях, и на основе этого изучение методов воздействия на камбий в желательном для лесного хозяйства направлении».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александрова М.С., Дроздов И.И., Румянцев Д.Е. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в условиях ГБС РАН. // Бюллетень Главного Ботанического сада. Вып. 194. М.: Наука, 2008. – С.36-40.
2. Алексеев А.С., Лайранд Н.И., Леплинский Ю.И. Количественный анализ реакции древостоев на атмосферное загрязнение с использованием индексов радиального прироста.// Ботанический журнал.Т.72., 1988, №6 – С.911-917.
3. Антонова Г.Ф. Рост клеток хвойных. – Новосибирск: Наука, 1999. – 232 с.
4. Бекетов, А.Н. О влиянии климата на возрастание сосны и ели.// Труды первого съезда русских естествоиспытателей. – С.-Пб.: Типография императорской академии наук, 1868. – С.111–163
5. Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Гидрометеиздат, 1974 – 172с.
6. Бузыкин А.И. Оценка эффективности лесоводственных мероприятий по ширине годичных колец.// Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.158-159.
7. Бюсген М. Строение и жизнь наших лесных деревьев. Перевод с разрешения автора А.Битриха. Под ред. Л.И. Яшнова. – С.-Пб.: Типография С.-Пб. градоначальства, 1906. – 376 с.
8. Ваганов Е.А., Терсков А.И. Анализ роста дерева по структуре годичных колец. Новосибирск: Наука, 1977 – 94 с.
9. Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свидерская И.В., Высоцкая Л.Г. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1992 – С.140-150.
10. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало – Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996 – 245с.
11. Верхунов П.М., Дашко Н.В. Выявление процесса дифференциации и отпада стволов в разновозрастных сосновых древостоях методом дендрохронологии. // Материалы Второго Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии. Каунас: Ин-т ботаники АН СССР, 1972 – С.188- 191
12. Вихров В.Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба. М.: АН СССР, 1954 – 264с.
13. Вихров В.Е. Диагностические признаки древесины главнейших лесохозяйственных и лесопромышленных пород СССР. М.: АН СССР, 1959 – 132с.

14. Воронцов А.И. Роль вредной энтомофауны в жизни сосновых посадок на песках Юго-Востока.// Научные труды МЛТИ. Вып. 4. М.: МЛТИ, 1955 – С.231–257.
15. Воронцов А.И. Смоляной рак в лесах Приокско-Террасного заповедника.// Труды Приокско-Террасного заповедника. Вып. 5. М.: Лесная промышленность, 1971 – С.29-50.
16. Воронцов А.И. Патология леса. М.: Лесная промышленность, 1978.- 272с.
17. Вярбила В.В. Влияние минеральных удобрений на рост и продуктивность сосновых насаждений в связи с колебаниями климата и разреживанием. Автореф. дис... канд с.-х. наук. – Минск, 1983 – 24с.
18. Голосова М.А. Влияние повреждения деревьев хвоегрызущими насекомыми на прирост насаждений. // Вопросы защиты леса. Научные труды МЛТИ. Вып. 38, 1971 – с.202-214.
19. Горлова Р.Н. Дендрохронология и палеобιοгеоценология.// Материалы III Всесоюзной конференции «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск: Архангельский институт леса и лесохимии, 1978 – С.21.
20. Гурский А.В. Методы оценки состояния древесных насаждений и прогноз их роста и долговечности. // Бюллетень Главного Ботанического сада РАН. Вып. 21. М.: Наука, 1955 – С. 16-24.
21. Двадцать пять формул Пресслера для вычисления древесного прироста и лесной приростной бурав. Перевод с нем. В.Ольшевского. СПб: Издание А.Ф. Девриена, 1875 – 92с.
22. Демаков Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты): Научное издание. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. -416 с.
23. Драгавцев В.А. Эколого-генетическая модель организации количественных признаков растений.// Сельскохозяйственная биология. Серия: биология растений, 1995, №5 – С. 20-30.
24. Драгавцев В.А. Идентификация адаптивных полигенных систем у отдельных деревьев популяции хвойных пород.// Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Воронеж, 1996 – С. 7
25. Драгавцев В. А. Некоторые новые фундаментальные подходы в экологической генетике растений.// Сельскохозяйственная биология, 2000, №1 – С. 34-36.
26. Драгавцев В.А. К проблеме генетического анализа полигенных количественных признаков растений. С.-Пб.: ВИР, 2003 – 35 с.
27. Древесные растения Главного Ботанического сада РАН. – М.: Наука, 1975. – 547 с.

28. Древесные растения Главного ботанического сада им Н.В. Цицина РАН: 60 лет интродукции./ отв. ред. А.С. Демидов; Гл. ботан. сад им. Н.В. Цицина. – М.: Наука, 2005. – 586 с.
29. Дроздов И.И. Хвойные интродуценты в лесных культурах. М.: МГУЛ, 1998 – 135 с.
30. Дыренок С.А. Применение метода коннекций годичного радиального прироста деревьев при изучении смены пород в лесу. // Материалы Второго Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии. Каунас: Ин-т ботаники АН СССР, 1972 – С.195-197.
31. Евдокимов В.Н. Дендроклиматический анализ прироста в осушенном травяно-сфагновом ельнике северной тайги Коми АССР.// Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С. 165.
32. Жаворонков Ю.М. Использование методов дендрохронологии в судебно-ботанических экспертизах, производимых на базе ЭКЦ УВД по Вологодской области, при расследовании преступлений по незаконным рубкам леса//Криминалистические средства и методы в раскрытии и расследовании преступлений. - М.: ЭКЦ МВД РФ, 2009. - С.203-206.
33. Забашта Р.В., Пошивайло А.Н. Об одном опыте использования дендрохронологии в этнографическом исследовании. // Временные и пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев. Часть 3. Каунас: Ин-т ботаники АН СССР, 1987 – С.74-80.
34. Звиедрис А.И., Сацениекс Р.О.. О влиянии климатических факторов на прирост сосновых стволов по диаметру.// Ель и ельники Латвии. Рига: Зинатие, 1975 – С. 159-160
35. Иванов Д.В. Арктика, Антарктика и тайга: Походная энциклопедия путешественника. М.: Эксмо, 2009 – 416 с.
36. Иерусалимов Е.Н. Изменение прироста в смешанном дубняке при обедании листогрызущими насекомыми.// Лесной журнал, 1965, №6, - С. 52-55.
37. Иерусалимов, Е.Н. Дендрохронологическое исследование истории лесных биоценозов.// Журнал общей биологии. Вып. XXXII, т.32, № 2, 1971 – С. 187-192.
38. Иерусалимов Е.Н. Зоогенная дефолиация и лесное сообщество. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004 – 263с.
39. Использование ядер древесины в лесоводственных исследованиях. Составители:Столяров Д.П., Полуобояринов О.И., Декатов Н.Н., Кнize А.А., Минаев В.Н., Молоткова Н.Д., Некрасова Г.Н., Ананьев В.А. Л.: ЛЕННИИЛХ, 1988 – 43с.
40. Кайгородов Д.Н. Беседы о русском лесе. Краснолесье. Чернолесье. – СПб.: Формат, 2004 – 304 с.

41. Кайрюкшгис Л.А., Стравинскене В.П. О влиянии некоторых метеорологических факторов на радиальный прирост интенсивно осушенных черноольшанников. // Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.167-168
42. Каппер О.Г. Хвойные породы. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954 – 304 с.
43. Колотушкин С.М., Головань О.М. Особенности подготовки и назначения дендрохронологической экспертизы при расследовании экологических преступлений. // Материалы международной научно-практической конференции «Теория и практика судебной экспертизы в современных условиях». М.: Проспект, 2007 – С.52-53.
44. Колчин, Б.А., Черных, Н.Б. Дендрохронология Восточной Европы. – М.: Наука, 1977.– 127 с.
45. Комин, Г.Е. Лесоведение и дендрохронология. // Лесоведение, 1968, №4 – С.78-86
46. Комин Г.Е., Пьянков Ю.А., Шиятов С.Г. Определение сходства между дендрохронологическими рядами. // Экология, 1973, №4 – С.29-34.
47. Комин Г.Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов. // Лесоведение, 1990, №2 – С.3-11.
48. Комин Г.Е. Изменение рангов деревьев по диаметру в разновозрастных буковых древостоях. // Лесоведение, 1994, №5, С.41-47.
49. Конардов С. Влияние разлива реки Волги на произрастание и возобновление леса. // Лесной журнал, 1888, Вып. 6 - С. 854-872.
50. Коржицкая З.А., Козлов В.А. Особенности прироста деревьев сосны по годам при внесении минеральных удобрений. // Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.131
51. Коровин В.В., Савченко А.В., Соловьев А.А. Изучение причин неблагоприятного состояния средневозрастных сосняков Чернолуховского лесхоза с использованием метода дендрохронологии. // Науч. Тр. МГУЛ Вып. 289, 1998 - С. 163-169
52. Коровин В.В., Новицкая Л.Л., Курносов Г.А. Структурные аномалии стебля древесных растений. Издание второе, исправленное и дополненное. М.: МГУЛ, 2003 –280 с.
53. Косиченко Н.Е. Влияние генотипа – среды на формирование микроструктуры стебля и диагностика технических свойств, роста и устойчивости древесных растений. Автореф. дис. ... д.б.н. Воронеж, 1999 – 40 с.
54. Кострикин, В.А., Рыжкова, В.Т. Возможности использования дендрохронологических методов при изучении внутривидовой изменчивости древесных растений. // Материалы научно-практической конференции «Лесная генетика и селекция на рубеже тысячелетий». – В.: НИИЛГиС, 2002 –С.99-107.

55. Коржицкая З.А., Козлов В.А. Особенности прироста деревьев сосны по годам при внесении минеральных удобрений. // Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.131
56. Кудинов А.А. Влияние затопления и подтопления на прирост сосны в условиях лишайникового бора. // Труды Дарвинского государственного заповедника, 1968 – С.145-147.
57. Кукушкин Е.Н. Формирование годичного слоя древесины в осушенном и удобренном сосняке.// Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.93
58. Кучеров С.Е. Влияние непарного шелкопряда на радиальный прирост дуба черешчатого. // Лесоведение. 1990, №2 – С.20-29.
59. Лазарева, С.М., Котов, М.М., Котова, Л.И. Хвойные интродуценты республики Марий Эл. – С.Пб.: Реноме, 2002. – 136с
60. Лахтанова Л.И., Берегова Т.С. Текущий прирост как показатель эффективности влияния люпина на рост культур сосны.// Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.172-173.
61. Леонардо да Винчи Избранные естественнонаучные произведения. М.: АН СССР, 1955 -1207 с.
62. Лиёпа И.Я., Залитис П.П. Дендрозкологическое изучение изменения продуктивности древостоев под влиянием рубки ухода. // Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.54-55
63. Липаткин В.А., Мазитов С.Ю. Перекрестная датировка дендрохронологических рядов с помощью ПЭВМ. // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. Научн. тр. Вып. 288 (1). М.: МГУЛ, 1997 – С.103-110.
64. Липаткин В.А, Шарапа Т.В., Щербаков А.Н. Состояние насаждений лесопарков, граничащих с Московской кольцевой автодорогой.// Экология, мониторинг и рациональное природопользование. Науч. Тр. МГУЛ, Вып. 302 (1), М.: 2000 – С. 45-53
65. Линней К. Философия ботаники. – М.: Наука, 1989. – 456 с.
66. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1974 – 421 с.
67. Литвиненко В.И. Дендроклиматические исследования как основа для количественной оценки эффективности мер борьбы с сибирским шелкопрядом.// Материалы Второго Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии. Каунас: Ин-т ботаники АН СССР, 1972 – С.205-209

68. Лобжанидзе Э.Д. Камбий и формирование годичных колец древесины. Тбилиси: АН ГССР, 1961 – 159 с.
69. Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных явлений. Л.: Наука, 1979 – 231 с. Ловелиус, Н.В. Дендроиндикация. С.Пб.: Петровская академия наук, 2000 – 313 с.
70. Ломов В.Д. О прогнозировании состояния хвойных древостоев по анализу структуры годичных слоев.//Научн. тр. МЛТИ. Вып. 234. 1990 – С.31-38
71. Ляэнеланд А.И. Изучение трансгрессии болот методами дендрохронологии.// Труды Дарвинского государственного заповедника. Вып. XV, 1979 - С.38-43
72. Мазела В.С. Пространственно-временная изменчивость радиального прироста хвойных видов деревьев в субарктических районах Евразии. Автореф. дис...д.б.н. Екатеринбург: 1998 – 38 с.
73. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в EXCEL.М.: Финансы и статистика, 2002 – 365 с.
74. Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: ВГУ, 2003 – 269 с.
75. Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния экосистем сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесостепи. Автореф. дис...д.б.н. Воронеж. 2004. – 40 с.
76. Матусевич Л.С., Маслов А.Д. Прирост ели по диаметру как показатель опасности размножения короеда типографа после засухи.// Лесоведение, 1982, №3 – С.61-67.
77. Мелехов И.С. Проблемы современного лесоводства. М.: Лесная промышленность, 1969 – 45 с.
78. Мелехов И.С. Использование методов анатомии растений в изучении взаимосвязей древесных пород в лесу. // Повышение продуктивности лесов и улучшение ведения лесного хозяйства. Научн. тр. Вып. 99. М.: МЛТИ, 1977 – С.5-9.
79. Мелехов И.С. Значение структуры годичных слоев и ее динамики в лесоводстве и дендроклиматологии//Известия вузов. Лесной журнал. 1979, №4 – С.6-14.
80. Менделеев Д.И. Работы по сельскому хозяйству и лесоводству. М.: АН СССР, 1954 – 620 с.
81. Меньяло Л.Н. Гормональная регуляция ксилогенеза хвойных. – Новосибирск: Наука, 1987. – 184 с.
82. Мозолевская Е.Г. Многообразие и взаимосвязь методов мониторинга состояния лесных и городских экосистем. // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды. Труды международной конференции. М.: МГУЛ, 2001 – С. 183-187.

84. Мозолевская Е.Г., Тудор И. Влияние дубовой хохлатки на состояние и прирост насаждений. // Вопросы защиты леса. Вып. 15. М.: МЛТИ, 1967–С.6-13
85. Мозолевская Е.Г., Марушина Н.Г. Влияние лунки серебристой на состояние и прирост дуба. // Лесной журнал, №3, 1976 – с.10-19
86. Молчанов А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М.: Наука, 1976 -168 с.
87. Морозов Г.Ф. Биология наших лесных пород. – Наркомзем «Новая деревня», 1922 - С.106
88. Морозов Г.Ф. Лес как растительное сообщество. М.-Л.: Государственное издательство, 1931 – 47 с.
89. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе// Избранные труды. Т.1. – М.: Лесная промышленность,1970. – С. 28–458.
90. Москалева В.Е. Строение древесины и его изменение при физических и механических воздействиях. М.: АН СССР, 1957 – 166 с.
91. Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих вредителей насекомых в лесах СССР. Под редакцией А.И. Ильинского и И.В. Тропина. М.: Лесная промышленность, 1965 – 523 с.
92. Николаев Д.К., Румянцев Д.Е. Сопряженное развитие культур сосны и ели естественного происхождения под их пологом.// Лесоведение, №5, 2004 – С.45-49.
93. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: МГУЛ, 1998 – 191 с.
94. Оркин А.Н., Малоквасов Д.С. Судебная дендрохронология. Учебное пособие. – Хабаровск: Высшая школа МВД РФ, 1992. – 35 с.
95. Пальчиков С.Б., Румянцев Д.Е. Потенциал использования дендрохронологической информации в сфере контроля за легальностью заготовки древесины. // Материалы VIII Международной конференции молодых ученых «Леса Евразии – Северный Кавказ». Т.1. М.-Сочи: МГУЛ, 2008 – с.74-75.
96. Пальчиков С.Б., Румянцев Д.Е. Контроль за законностью заготовки древесины на основе древесно-кольцевой информации.// Устойчивое лесопользование. №2 (21), 2009 – с.12-16.
97. Перельгин А.М. Древесиноведение. Издание второе, переработанное и дополненное доц. Б.Н. Уголевым. М.: Лесная промышленность, 1969 – 318 с.
98. Петрик Н.И., Феклистов П.А. Учет эффективности лесосошения дендроклиматологическим способом в некоторых типах леса Архангельского лесхоза.// Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.174

99. Поллошкин Ю.В., Попов Л.В. Некоторые вопросы методики дендрохронологических и дендроклиматических исследований. // Кормовые угодья и леса Средней Сибири и Забайкалья. Иркутск: ИГУ, 1979 – С.139-156
100. Попов П.П. Ель европейская и сибирская: структура, интеграция и дифференциация популяционных систем. – Новосибирск: Наука. 2005. – 231с.
101. Раздорский В.Ф. Архитектоника растений. М.: Советская наука, 1955 – 431 с.
102. Разоренов Ф.Н. Аркаим в нашей истории.// Русский север-прародина индо-славов. Составитель Р.Н. Гусева. М.: «Вече», 2003 – С.311-341.
103. Рахтеенко Л.И., Савельев В.В., Пискунов В.С. Повышение продуктивности сосновых насаждений в условиях Белоруссии путем внесения удобрений. // Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.141
104. Рихтер И.Э. Влияние биологической мелиорации и периодического недостатка влаги на динамику прироста у сосны и ели. // Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.142-143
105. Розанов М.И. Теоретические основы идентификации целого по частям. Дисс....канд. юр. наук. М.: ЦНИИСЭ, 1969 – 320с.
106. Розанов М.И. Установление источника происхождения дерева.//Криминалистическое исследование вещественных доказательств физическими, химическими и биологическими методами. Вып. 2. М.: ЦНИИСЭ,1969 – С.34-36
107. Розанов М.И. Дендрохронологические методы экспертизы древесины.// Экспертная техника. Вып. 34. М.:ВНИИСЭ, 1971- С.45-65.
108. Розанов М.И. Некоторые итоги работ дендрохронологической группы Всесоюзного НИИ судебных экспертиз.// Дендроклиматохронология и радиоуглерод. Материалы Второго всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии. Каунас: Ин-т ботаники АН Литовской ССР, 1972 – С.129-131
109. Розанов М.И. Задачи судебной дендрохронологии. //Проблемы экспертизы растительных объектов. М.: ВНИИСЭ, 1972- С.81-82
110. Романовский М.Г. Индивидуальная изменчивость ширины годовых слоев и равнослойность древесины. //Вопросы лесовыращивания и рационального лесопользования. Научн тр. МЛТИ. Вып 148, М.: МЛТИ, 1983 - С. 138-140
111. Роне В.М. Генетический анализ лесных популяций. М.: Наука, 1980 – 160 с.

112. Русаленко А.И. Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность. Минск: Наука и техника, 1986. – 237 с.
113. Румянцев Д.Е., Александрова М.С., Николаев Д.К. Сопряженность в кратковременной изменчивости ширины ранней и поздней древесины в годичных кольцах лиственниц в условиях Подмосковья. // Вестник Московского Государственного Университета леса – Лесной вестник, №1 (54), 2009. – С.56-61
114. Румянцев Д.Е., Лебедева Г.С. К вопросу оценки состояния тополя бальзамического на основе рядов радиального прироста.// Материалы IV Пущинской международной школы-семинара по экологии «Экология 2006:: Эстафета поколений», М.: МГУЛ, 2007 – с.47-50.
115. Румянцев Д.Е., Николаев Д.К. Влияние климатических факторов на прирост стволовой древесины у лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) в условиях Западного Подмосковья.//Труды II Всероссийской конференции «Научные аспекты экологических проблем России». Под ред. Ю.А. Израэля. М.: РЭА, 2006 –С.360-363.
116. Санаев В.Г. Анизотропия физико-механических свойств поверхности древесины. // Труды II Международного симпозиума «Строение, свойства и качество древесины – 96», М.: МГУЛ, 1996 – С. 219-223.
117. Семериков Л.Ф., Семериков В.Л., Подогас А.В., Животовский Л.А., Шурхал А.В. О структуре эколого-генетической изменчивости сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сибирской (*P.sibirica* Du Tour.) в Западной Сибири.// Экология, №6, 1993 – С. 34-40.
118. Серебряков В.К. Очерки истории ботаники. Часть первая. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство Наркомпроса РСФСР, 1941–247 с.
119. Серый В.С. Использование дендроклиматических индексов при определении прироста древесины под влиянием удобрений. Дендроклиматические исследования в СССР: Материалы III Всесоюзной конференции по дендроклиматологии. Архангельск, 1978 – С.65
120. Спутник партизана. Редактор составитель Ю.Вебер. М.: Молодая гвардия, 1942 //Спутник разведчика и партизана: Сборник. Ред. составитель А.Е. Тарас. Мн: Харвест, 2004 - С.335-586
121. Степаненко И.И. Макроструктура годичных слоев сосны в разных типах леса в результате внесения минеральных удобрений.// Научн. тр. МЛТИ. Вып. 234. 1990 –С.38-43
122. Стравинскене В.П. Динамика ранней и поздней древесины в годичных кольцах деревьев и ее изменение вследствие осушения.// Лесоведение, 1983, №6 - С.29-34.
123. Судачкова Н.Е. Камбиальная активность хвойных и ее регуляция. //Научные исследования для лесов будущего. М.: Лесная промышленность, 1981 – С.165–172

124. Суховольский В.Г., Артемьева Н.В. Радиальный прирост хвойных как прогнозный показатель их устойчивости к повреждению филлофагами.// Лесоведение, №3, 1992 – с.33-39.
125. Таранков В.И. Дендроклиматические основы мониторинга лесных экосистем.// Тезисы докладов Всероссийской конференции «Комплексная продуктивность лесов и организация многоцелевого (многопродуктивного) лесопользования. Воронеж: ВГЛТА, 1996 – С. 139-141.
126. Тихомиров А.Н., Жолтко В.А. Определение возраста березы.// Лесное хозяйство, 1941, №6 – С.53-54.
127. Ткаченко М.Е. О роли леса в почвообразовании. Известия императорского лесного института. Вып. XVIII. С.-Пб.: Типо-литография М.П. Фроловой, 1908 – 115 с.
128. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. – Л.: Гослестехиздат, 1939. – 746 с.
129. Тольский А.П. К вопросу о влиянии температуры и осадков на прирост сосны в толщину.// Лесной журнал, 1904, №5 – С. 858–868.
130. Тольский А.П. К вопросу о выявлении колебаний климата по анализам хода роста деревьев.// Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. XXIV. Л.: Редакционно-издательский отдел ЦУЕГМЕ, 1936 – С.117-123.
131. Феклистов П.А. Экологические закономерности роста северотаежных сосняков как теоретическая основа повышения их продуктивности и рационального использования. Автореф. дис...д-ра. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 1997 – 40 с.
132. Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут М.В. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: АГТУ, 1997 – 140 с.
133. Феофраст. Исследование о растениях. – Рязань: Александрия, 2005. – 560 с.
134. Фильрозе Е.М., Гладушко Г.М. Способ проявления границ и структуры годичных слоев.// Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука, 1986 – С. 68-71
135. Фрезер Д.Д. Золотая ветвь: исследование магии и религии. М.: Политиздат, 1983 – 703 с.
136. Шведов Ф.Н. Дерево, как летопись засух.// Материалы Второго Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии «Дендроклиматохронология и радио углерод». Каунас: Ин-т ботаники АН СССР, 1972 – С.17-26.
137. Шиятов С.Г. Дендрохронология, ее принципы и методы.// Проблемы ботаники на Урале./ Записки Всесоюзного ботанического общества, Вып. 6. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – С.53–81

138. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986 – 136 с.
139. Шиятов С.Г. Определение времени вывала деревьев дендрохронологическими методами. // Лесоведение, 1990, №2 - С.73-81.
140. Шиятов, С.Г., Ваганов, Е.А., Кирдянов, А.В., Круглов, В.Б., Мазепа, В.С., Наурзбаев, М.М., Хантемиров, Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Учебно-методическое пособие. – Красноярск: КрасГУ, 2000. - 80 с.
141. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.-Л.: АН СССР, 1954 – 337 с.
142. Abrams M.D., Copenheaver C.A., Terasawa K., Umeki K., Takiya M., Akashi N. A 370-year dendroecological history of an old-growth *Abies-Acer-Quercus* forest in Hokkaido, northern Japan. // Canadian Journal of Forest Research. Vol. 29, 1999 – P.1891-1899.
143. Bigler C., Bugmann H. Growth-dependent tree mortality models based on tree rings. // Can. J. For. Res., 2003, Vol. 33 - P. 210-221.
144. Buechling A., Barcer W.L. A fire history from tree rings in a high-elevation forest of Rocky Mountain National Park// Canadian Journal of Forest Research, Vol. 34, 2004 – P.524-533.
145. Cook E.R. A time series analysis approach to tree ring standartization. A dissertation Submitted to the Faculty of the School of renewable natural resources. University of Arizona, 1985 – 171 p.
146. Drobyshev I., Niklasson M. Linking tree rings, summer aridity, and regional fire data: an example from the boreal forests of Komi Republic, East European Russia // Canadian Journal of Forest Research. Vol. 34, 2004 – P.2327-2339
147. Druckenbrod D.L. Dendroecological reconstruction of forest disturbance history using time-series analysis with intervention detection // Canadian Journal of Forest Research. Vol. 35, 2005 – P.868-876
148. Eisenhart K.S., Veblen T.T. Dendroecological detection of spruce bark beetle outbreaks in northwestern Colorado// Canadian Journal of Forest Research. Vol. 30, 2000 – P.1788-1798
149. Fraver S., Seymour R.S., Speer J. H., White A.S. Dendrochronological reconstruction of spruce budworm outbreaks in northern Maine, U.S.A. // Canadian Journal of Forest Research. Vol. 35, 2007 – P.523-529
150. Fritts H. C. Tree rings and climate. London – New York – San Francisco: Academic press, 1976 – 576 p.
151. Gavin D.G., Brubaker L.B., Lertzman K.P. An 1800-year record of the spatial and temporal distribution of fire from the west coast of Vancouver Island, Canada// Canadian Journal of Forest Research. Vol. 33, 2003 – P.573-586.

152. Goff H.L., Sivois L. Black spruce and jack pine dynamics simulated under varying fire cycles in the northern boreal forest of Quebec, Canada// *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 34, 2000 – P.2399-2409
153. Groven R., Niklasson M. Anthropogenic impact on past and present fire regimes in a boreal forest landscape of southeastern Norway// *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 35, 2005 – P.2719-2726
154. Hallet D.J., Lepofsky D.S., Mathewes R.W., Lertzman K.P. 11 000 years of fire history and climate in the mountain hemlock rain forests of southwestern British Columbia based on sedimentary charcoal // *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 33, 2003 – P.292-312
155. Hellberg E., Niklasson M., Granstrom A. Influence of landscape structure on patterns of forest fires in boreal forest landscapes in Sweden // *Canadian Journal of Forest research*. Vol. 34, 2004 – P.332-338
156. Ireland A. W. , Mew B. J., Foster D. R. Bob Marshall's forest reconstruction study: three centuries of ecological resilience to disturbance.// *Journal of the Torrey Botanical Society*, Vol 135, Num 3, 2008 – P.411-422.
157. Innes J.L. Methods to estimate forest health.// *Silva Fennica*. Vol. 27. Num.2 – P. 145-157.
158. Le Blanc D.C., Nicholas N.S., Zedaker Prevalence of individual-tree growth decline in red spruce populations of the southern Appalachian Mountains // *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 22, 1992 – P.905-914.
159. Mc Ewan R.W., Hutchinson T.F. , Ford R.D., Mc Carty B.C. An experimental evaluation of fire history reconstruction using dendrochronology in white oak (*Quercus alba*)// *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 37, 2007 – P.806-816.
160. Muzika R. M., Liebhold A.M. Changes in radial increment of host and nonhost tree species with gypsy moth defoliation.// *Can. J. For. Res.*, 1999, №29 - P. 1365-1373.
161. Nash S.E. A history of archaeological tree-ring dating: 1914-1945. A dissertation submitted to the faculty of the department of anthropology. University of Arizona, 1997 – 302 p.
162. Ryerson D.E., Swetnam T.W., Lynch A. M. A tree-ring reconstruction of western spruce budworm outbreaks in the San Juan Mountains, Colorado, U.S.A. // *Canadian Journal of Forest research*. Vol. 33, 2003 – P.1010-1028
163. Shiyatov S.G. The development and state of dendrochronology in the USSR. // *Tree-ring Bulletin*. Vol.48, 1988 – P.31-40
164. Shumway D.L., Abrams M.D., Ruffner C.M. A 400-year history of fire and oak recruitment in an old-growth oak forest in western Maryland, U.S.A. // *Canadian Journal of Forest research*. Vol. 31, 2001 – P.1437-1443
165. Stephens S.L., Skinner C.N., Gill S.J. Dendrochronology based fire history of Jeffrey pine-mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Martir, Mexico // *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, Vol.33, № –P.1090–1101.

166. Sweingruber F.H. Tree rings and environment. Dendroecology. Paul Haupt: Berne-Stuttgart-Vienna, 1996 – 609 p.
167. van Horne M.L., Fule P.Z. Comparing methods of reconstructing fire history using fire scars in a southwestern United States ponderosa pine forest // Canadian Journal of Forest Research, 2006, Vol.36, №11 –P.855-867
168. van Mantgem P. J., Stephenson N.L. Does coring contribute to tree mortality? // Canadian Journal of Forest Research, 2004, Vol.34, №11 –P.2394–2398.
169. Wallenius T.H., Kuuluvainen T., Vanha-Majamaa I., Fire history in relation to site type and vegetation in Vienansalo wilderness in eastern Fennoscandia, Russia // Canadian Journal of Forest research. Vol. 34, 2004 – P.1400-1409
170. Wisniewska K. Variation of tree-ring width in *Picea abies* L.Karsten from Belawieza Forest.// Folia Forestalia Polonica.1990,Num.32 - P.39–47.
171. Wolodarsky-Franke A., Lara A. The role of “forensic” dendrochronology in the conservation of alerce (*Fitzroya cupressoides* ((Molina) Johnston)) forests in Chile // Dendrochronologia. – 2005. Vol.22. – Num. 3. – P. 235-240.
172. Wyckoff P.H., Clark J.S. Predicting tree mortality from diameter growth: a comparison of maximum likelihood and Bayesian approaches// Canadian Journal of Forest Research, 2000, Vol.30 – P.156-167.
173. Zimmermann M.H., Brown C.L. Trees: structure and function. Berlin-Heidelberg-New-York: Springer-Verlag, 1989. – 336 p.

Приложение 1. Особенности строения годичных колец у разных групп древесных растений

Годичные кольца ксилемы являются характерной чертой стволов древесных растений, произрастающих в умеренных широтах. Различают три больших группы древесных растений, для которых характерны общие черты в анатомическом строении годичных колец. Это хвойные, кольцесосудистые и рассеяннососудистые.

У хвойных проводящая система ствола представлена трахеидами. Они занимают свыше 90% общего объема древесины. Трахеиды имеют форму сильно вытянутых в длину веретенообразных клеток (волокон) с утолщенными одревесневшими стенками и кососрезанными концами. Трахеиды – мертвые элементы; в стволе растущего дерева только вновь образующийся (последний) годичный слой содержит живые трахеиды, отмирание которых начинается еще весной, постепенно увеличивается к осени, а к концу зимы все трахеиды последнего годичного слоя отмирают.

В пределах одного годичного слоя трахеиды ранней и поздней зон древесины сильно отличаются друг от друга. Ранние трахеиды образующиеся в начале вегетационного сезона выполняют проводящие функции (проводят воду), поэтому имеют широкую внутреннюю полость и тонкие стенки с многочисленными порами. Размер ранних трахеид по радиальному направлению больше, чем по тангенциальному; концы трахеид слегка закруглены.

Поздние трахеиды, отложенные камбием во второй половине вегетационного сезона – это механические элементы, поэтому стенки их сильно утолщены из-за резкого уменьшения внутренней полости, концы трахеид сильно заострены. Благодаря отличиям в морфологии трахеид, формирующихся в начале и в конце вегетационного сезона годичные кольца четко заметны у хвойных на поперечном разрезе. Примером, иллюстрирующим строение годичных колец хвойных, может служить фотография на рис. 1

Благодаря хорошей различимости годичных колец, хвойные, являются наиболее популярным объектом дендрохронологических исследований. Дендрохронология как научное направление, созданное в начале XX века американским астрономом Эндрю Дугласом зародилась базируясь преимущественно на материалах по изменчивости годичных колец сосны желтой (*Pinus ponderosa* Dougl. et Laws.).

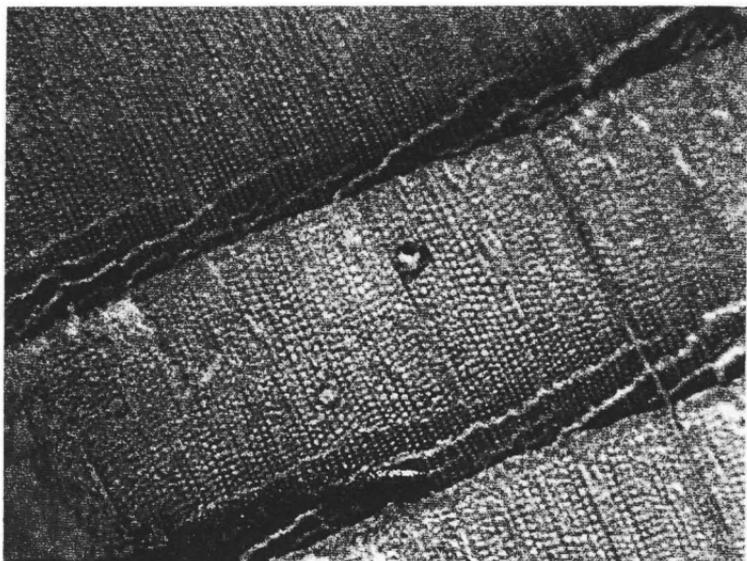


Рис. 1 Строение годичного кольца у ели сибирской

У лиственных пород древесина построена более сложно, чем у хвойных и состоит из большого числа разнообразных элементов. Водопроводящую функцию в древесине лиственных выполняют сосуды и трахеиды, механическую – волокна либриформа, запасующую – паренхимные клетки. Между этими основными видами элементов встречаются промежуточные формы, что еще более усложняет строение древесины. Отметим, что эта особенность облегчает видовую идентификацию образцов древесины по микроскопическим признакам строения. Идентифицировать древесину лиственных в пределах рода до вида таким образом в целом несколько проще чем у хвойных, у которых идентификация часто возможна лишь до рода.

Сосуды представляют собой типичные водопроводящие элементы, характерные только для лиственных пород. Это длинные тонкостенные трубки, образовавшиеся из длинного вертикального ряда коротких клеток, называемых члениками сосудов, путем растворения перегородок между ними. Сосуды, как и трахеиды, представляют собой мертвые клетки, содержимое которых заполнено водой. В зависимости от характера их распределения внутри годичного кольца различают кольцесосудистые и рассеяннососудистые породы. У кольцесосудистых древесных пород крупные сосуды сосредоточены преимущественно в ранней части годичного слоя, образуя на поперечном разрезе пористое кольцо. Пример строения годичного кольца у кольцесосудистой породы отражает рис 2

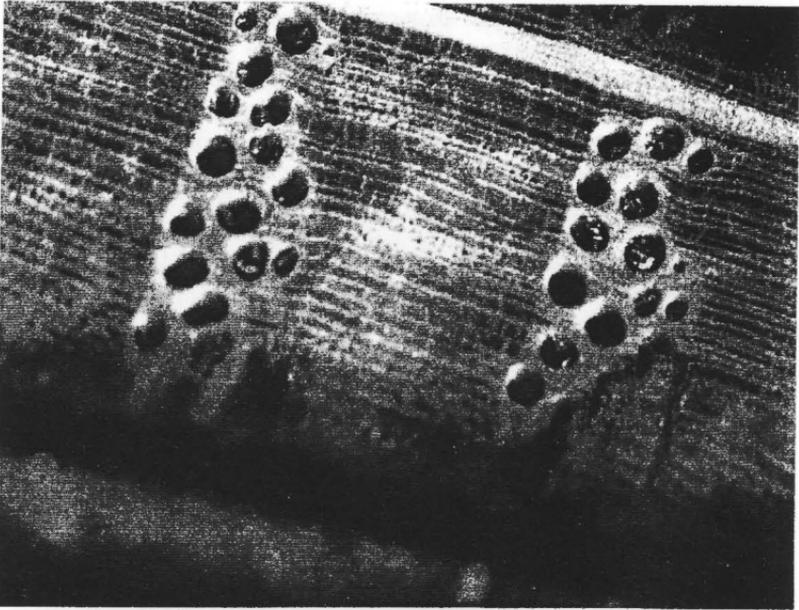


Рис. 2 Строение годичного кольца у дуба черешчатого

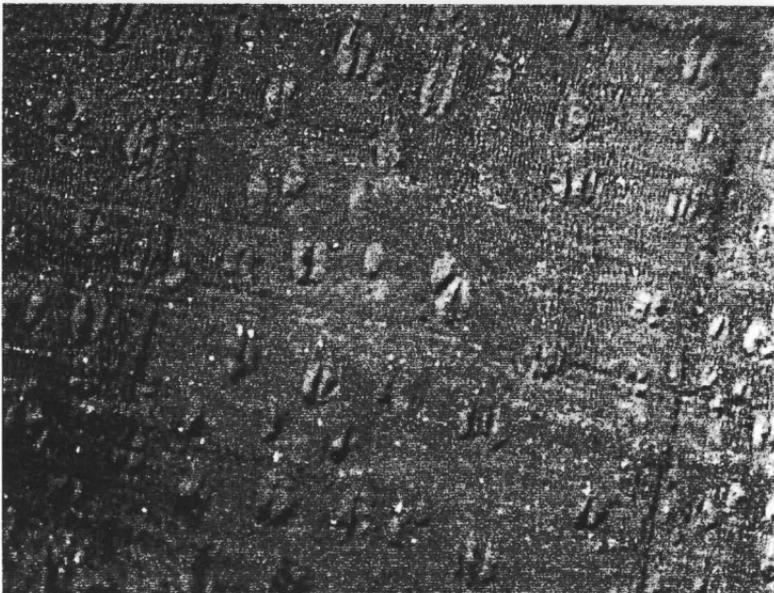


Рис. 3 Строение годичного кольца березы бородавчатой

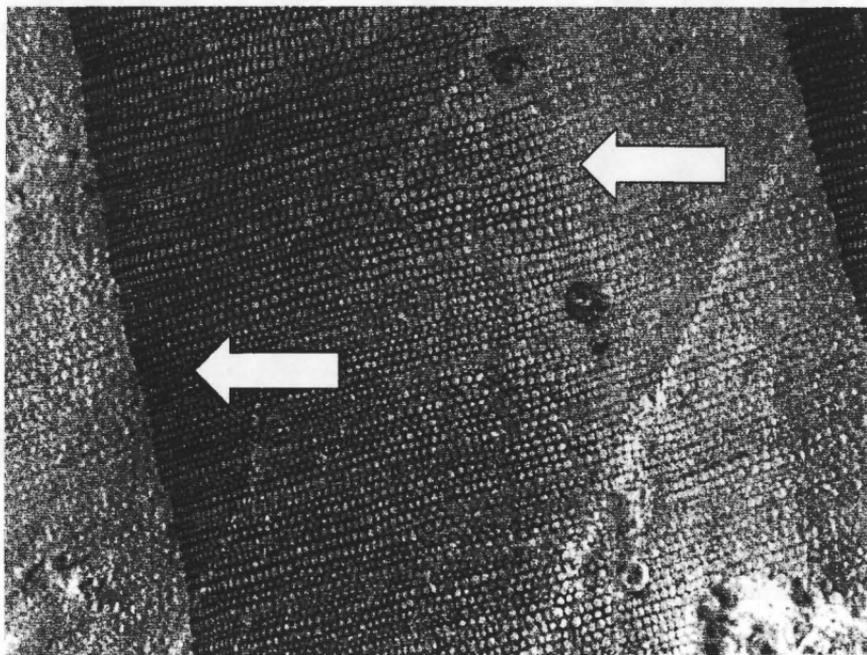
К кольцесосудистым относятся такие древесные породы как дуб, каштан, вяз, бархат амурский, белая акация и др. Годичные кольца у них различимы почти также хорошо, как и у хвойных. Исторически многие пионерные наблюдения в области дендрохронологии были связаны с древесиной кольцесосудистых пород: например наблюдения Карла Линнея касающиеся годичных колец дуба, исследование Ф.Н.Шведова выполненное на материале спилов белой акации и др.

Для рассеяннососудистых древесных пород характерно равномерное распределение по всей длине годичного слоя крупных и мелких сосудов (рис. 3). К рассеяннососудистым относятся такие породы как береза, ольха, лещина, граб, бук, ива, осина, клен, груша и др.

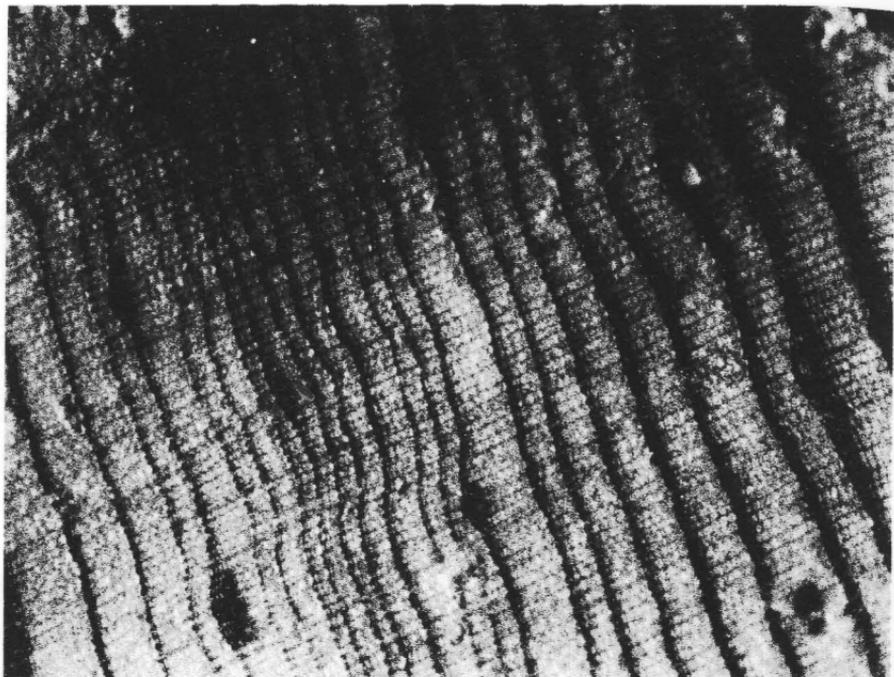
Годичные кольца у рассеяннососудистых пород плохо различимы и в дендрохронологических исследованиях они используются гораздо реже чем кольцесосудистые и хвойные. Для проявления годичных колец на дендрохронологических образцах от рассеяннососудистых пород необходимы более трудоемкие методы обработки поверхности.

Приложение 2. Типичная и нетипичная структура годичных колец хвойных

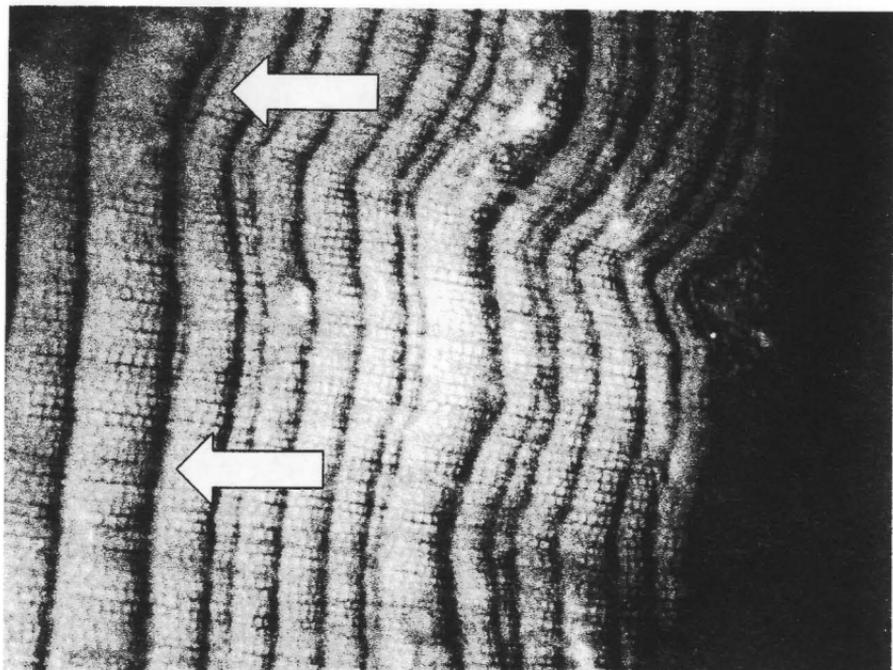
Типичная, хорошо различимая структура годичных колец (ель, ельник кисличный, Муромцевское лесничество Владимирской области)



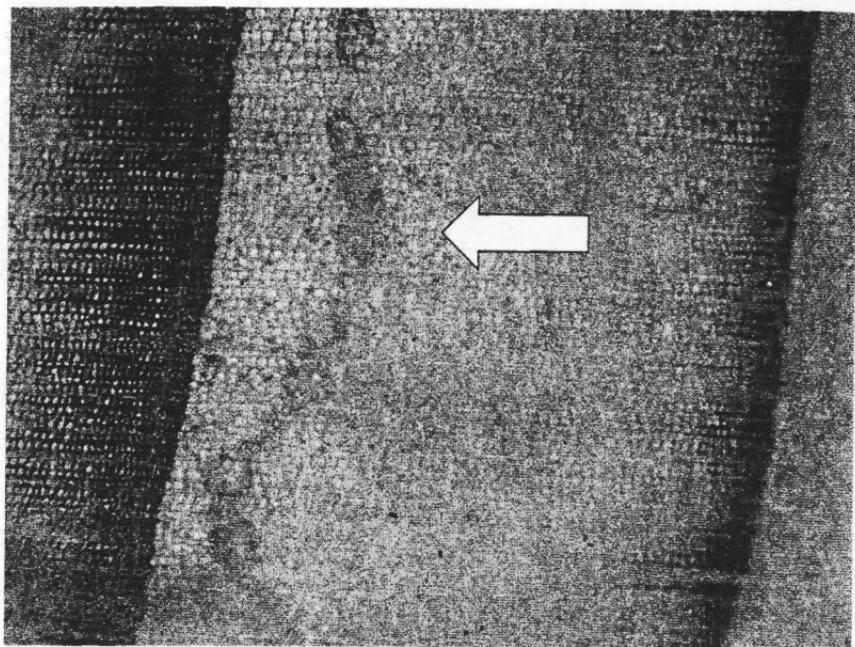
В настоящем годичном кольце граница между трахеидами ранней и поздней древесины резкая с одной стороны (граница между трахеидами, сформировавшимися в августе прошлого года и в мае текущего) и постепенная с другой (граница между трахеидами, формировавшимися в течение июля текущего года)
(ель, ельник кисличный, Муромцевское лесничество Владимирской области)



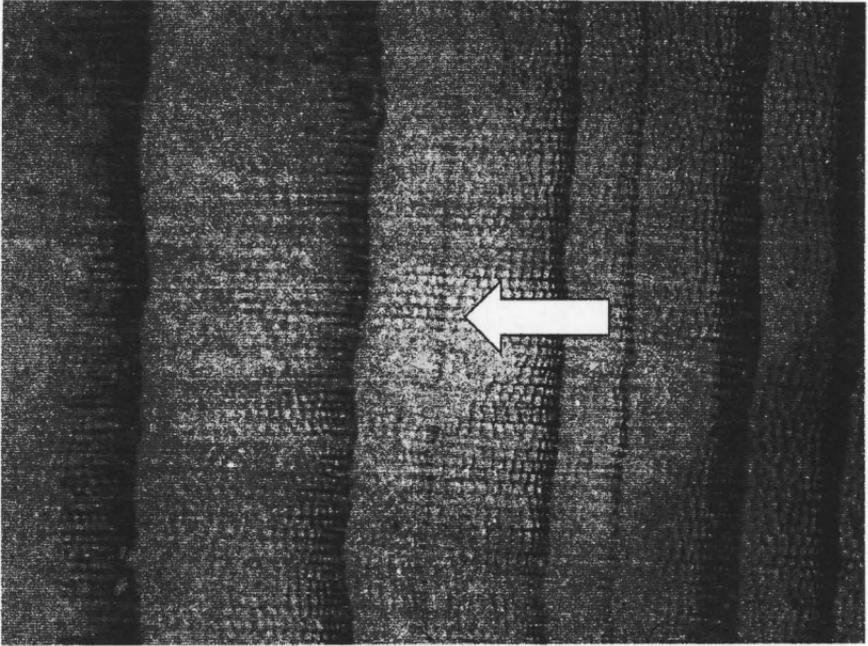
Узкие годовичные кольца могут быть распознаны лишь при хорошем качестве подготовки поверхности керна (ель, ельник кисличный, Муромцевское лесничество Владимирской области)



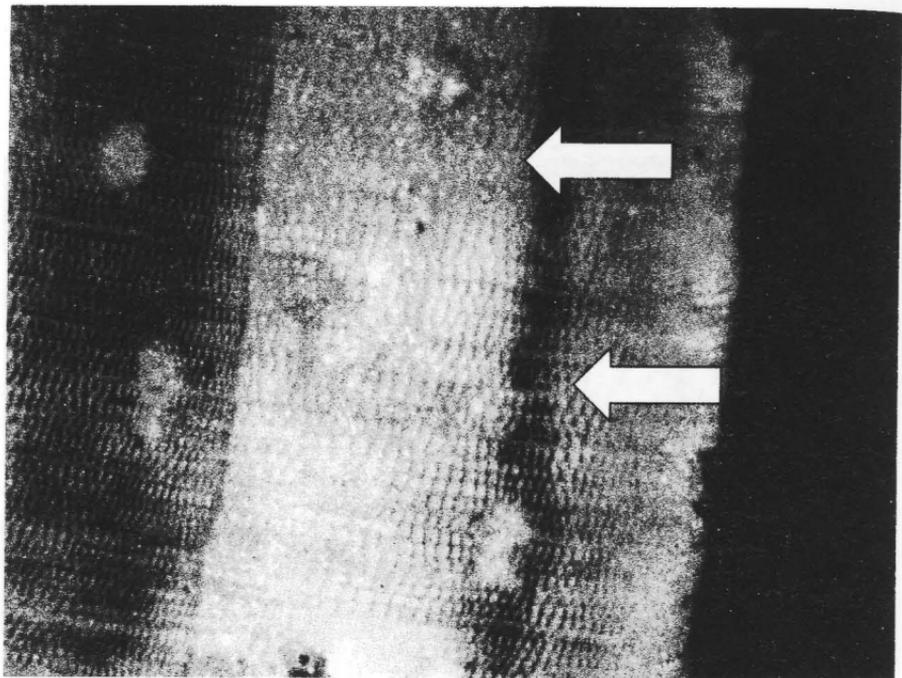
Выпадающее годичное кольцо (ель, ельник кисличный, Боровское лесничество Нижегородской области)



Смоляные ходы. На первых этапах работы неопытные исследователи могут распознавать данную структуру как границу годичного кольца (ель, ельник черничный, Муромское лесничество Владимирской области)



«Светлое», с малой долей поздней древесины годичное кольцо. Может быть не замечено неопытным исследователем (ель, ельник черничный, Муромское лесничество Владимирской области)



«Ложное кольцо» в год последнего прироста. Отбор керна был произведен в тот период, когда камбий уже отложил клетки поздней древесины, однако процесс утолщения клеточной стенки не во всех клетках завершился. В результате одно годичное кольцо воспринимается неопытным лаборантом как два. Его можно отличить по расплывчатой с обеих сторон границе между ранними и поздними трахеидами (сосна, сосняк черничный, Боровское лесничество Нижегородской области)

Приложение 3 Современное оборудование для дендрохронологических исследований (раздел написан в соавторстве с С.Б. Пальчиковым)

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

Прибор LINTAB (рис. П1, П2) в настоящее время является наиболее удачной современной модификацией машины, принципы которой были придуманы шведским лесоводом Эклундом. Он был разработан Ф. Ринном в германской фирме RINNTECH в 1991 году и до настоящего времени продолжает совершенствоваться. В 2009 году прибор прошел сертификацию в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии; по результатам испытаний был зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений и допущен к применению на территории Российской Федерации. Общий вид прибора виден из рис. П1 Основной рабочий узел прибора представлен на рис. П2.

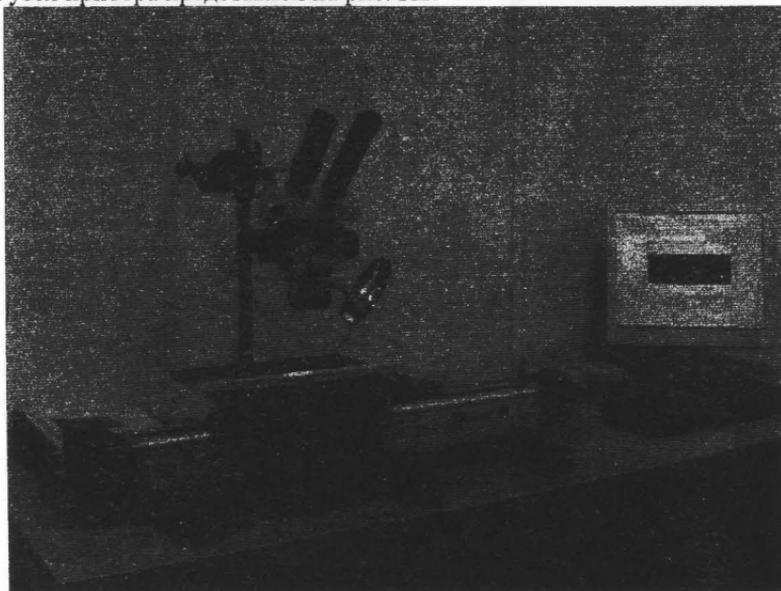


Рис. П1 Общий вид прибора LINTAB

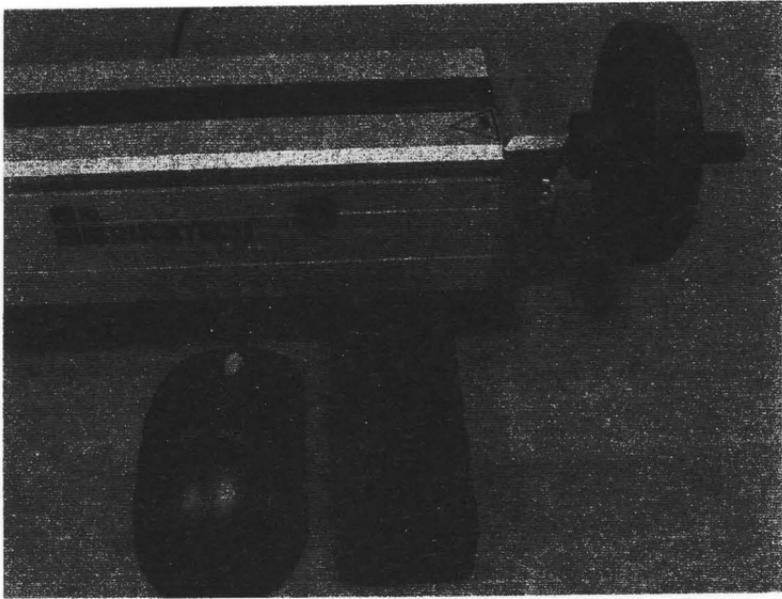


Рис. П2 Основной рабочий узел LINTAB

Одним из достоинств прибора является его простота в обращении. Исследуемый дендрохронологический образец располагают на рабочем столе прибора. Пористый материал, которым покрыт рабочий стол, обеспечивает стационарное положение образца на поверхности, препятствует его скольжению и случайным сдвигам. Исследователь наблюдает поверхность образца в бинокулярный микроскоп (в случае, представленном на рис. П1 прибор укомплектован бинокулярным микроскопом отечественного производства МБС 10). Шкала, нанесенная на один из окуляров микроскопа, позволяет вести измерения образца.

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

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

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

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

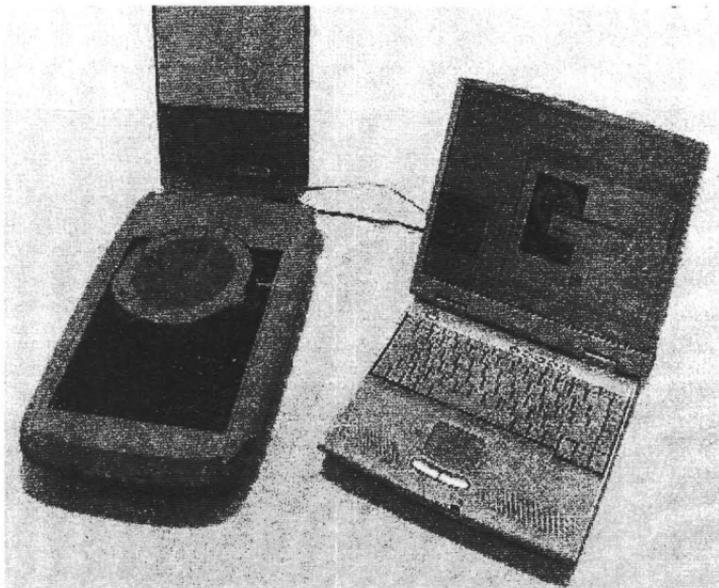


Рис. ПЗ Общий вид установки для работы с программой LIGNOVISION

Первым этапом для работы с LIGNOVISION является подготовка поверхности образца древесины, для чего могут использоваться очень острые режущие инструменты, либо наждачная бумага. Для увеличения контрастности структур древесины рекомендуется использовать порошок ме-

ла, либо растительное масло. Второй этап – это получение сканированного изображения (рис. П4).

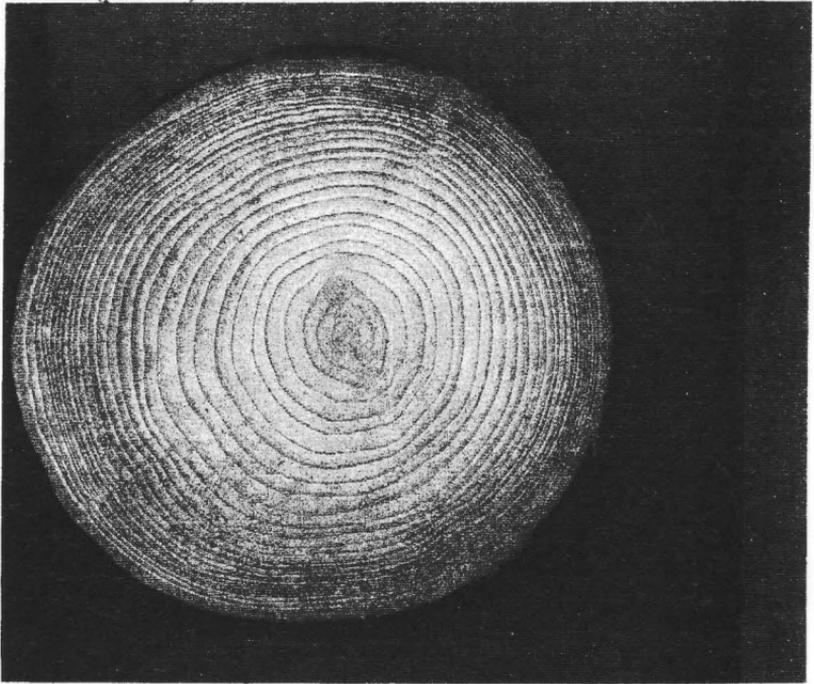


Рис. П4 Изображение поверхности спила ели европейской, пригодное для обработки в программе LIGNOVISION

Затем, после определения направления, по которому будут вестись измерения, запускается процедура автоматического распознавания годовичных колец. Полностью автоматическое распознавание годовичных колец имеет недостаточную для дендрохронологических исследований точность, поэтому как вспомогательная процедура используется визуальный контроль и ручная корректировка результатов автоматического распознавания с помощью компьютерной мыши. Данные, полученные при работе с LIGNOVISION (рис. П5) могут быть сохранены в формате, пригодном для последующей их статистической обработки в программе TSAP-Win и работы в табличном процессоре Microsoft Excel.

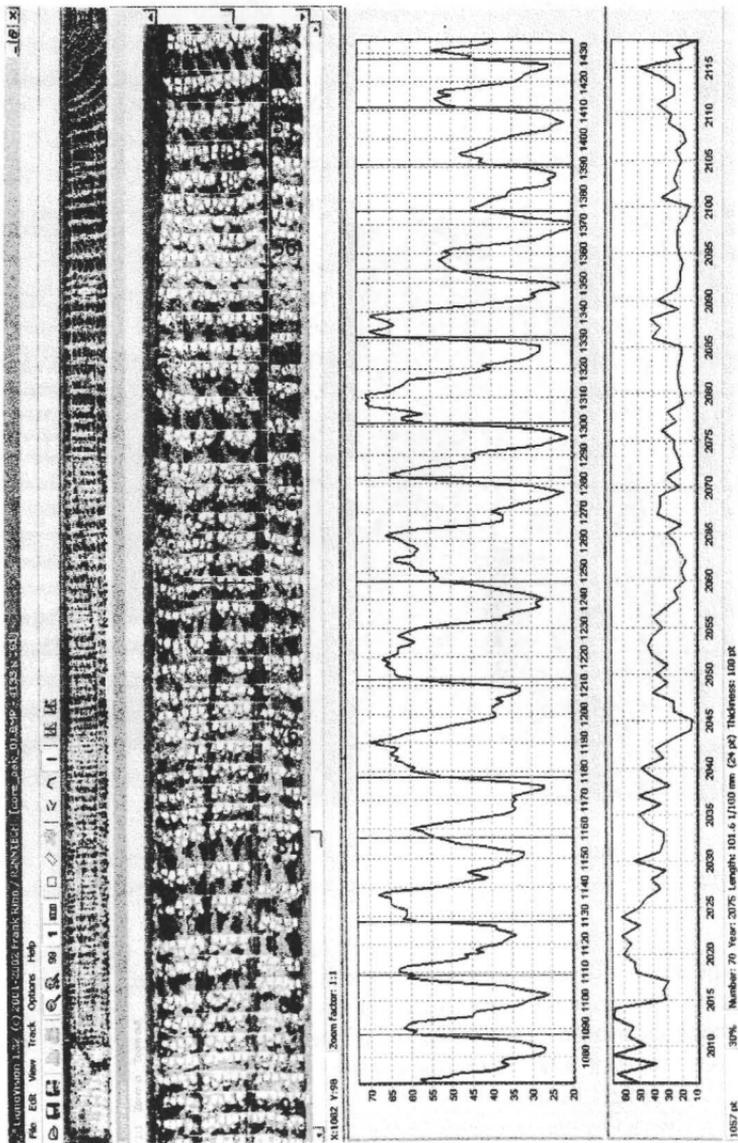


Рис. П15 Рабочее окно программы LIGNOVISION

Помимо ширины годичного кольца в программе возможно измерение ширины слоя поздней и ширины слоя ранней древесины. Кроме того, в LIGNOVISION предусмотрены возможности для обработки не только изображений, полученных путем простого сканирования, но и путем сканирования рентгеновскими лучами на установке LIGNOSTATION (рис. П6). LIGNOVISION в комплекте с LIGNOSTATION позволяет определять такие параметры образца древесины как минимальная и максимальная плотность, плотность слоев ранней и поздней древесины.

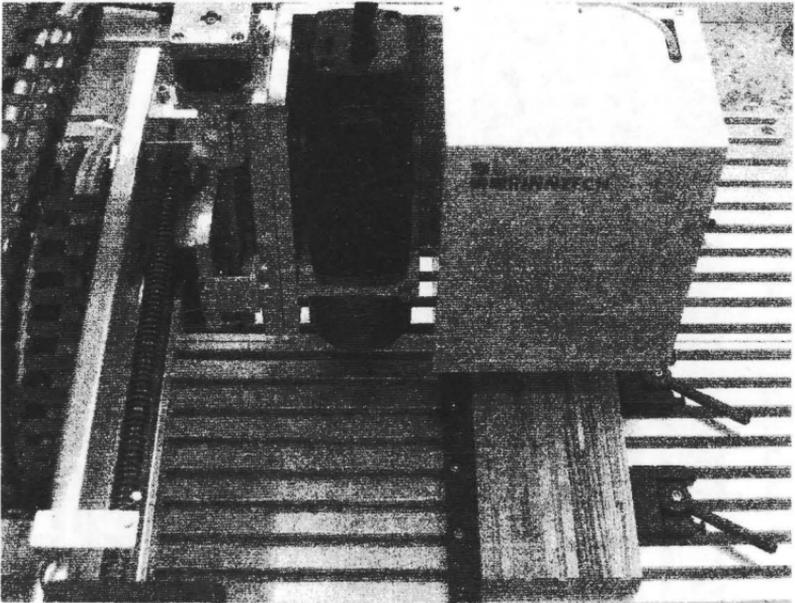


Рис. П6 Установка LIGNOSTATION позволяет получить наиболее подробную информацию о параметрах изменчивости годичных колец

Сбор дендрохронологической информации представляет первый этап необходимый для решения исследовательской либо экспертной задачи. За ним в обязательном порядке должен следовать аналитический этап. В силу того, что лесоводственно ориентированная дендрохронология только начинает формироваться как самостоятельное научное направление комплексы аппаратно-программных средств для решения приоритетных для лесоводства задач в большинстве своем не разработаны. Одной из первых программ такого рода была специализированная программа GROWLINE (Липаткин, Мазитов, 1997). Наилучшим образом она подходит для реше-

ния задач установления времени гибели сухостоя; времени рубки дерева; поиска выпадающих годичных колец в насаждениях, где имели место вспышки численности хвое и листогрызущих вредителей. Первая версия этой программы была разработана в 1995 году применительно к среде MS DOS. Программа до настоящего времени широко используется в научной работе и в учебном процессе во МГУЛ. Применение программы DOS BOX позволяет адаптировать ее для работы в среде Microsoft Windows.

В 2008 – 2009 году в лаборатории дендрохронологии ООО «ЗДОРОВЫЙ ЛЕС» был разработан комплекс аппаратно-программных средств, предназначенный для анализа дендрохронологической информации с целью решения задачи идентификации места происхождения древесины.

Несомненно, что дальнейшее развитие лесоводственной дендрохронологии потребует создания других специализированных программных комплексов. Современное оборудование для сбора дендрохронологической информации позволяет осуществлять этот процесс быстро и эффективно, оно во многом освобождает исследователя от рутинной технической работы и позволяет сосредоточиться на анализе получаемых результатов. Создание специализированных программ для анализа дендрохронологической информации позволит сделать процедуру анализа доступной широкому кругу специалистов и надежной, что в итоге позволит шире внедрять методы дендрохронологического анализа в лесохозяйственную практику.

Научное издание

Румянцев Денис Евгеньевич

**ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ЛЕСОВОДСТВЕННОЙ
ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ**

*В авторской редакции
Компьютерный набор и верстка автора*

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы на 2010 г.

Подписано в печать 27.04.2010. Формат 60×90 1/16. Бумага 80 г/м²
Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 6,8.
Тираж 300 экз. Заказ № 151.

Издательство Московского государственного университета леса. 141005,
Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.
E-mail: izdat@mgul.ac.ru

По вопросам приобретения литературы издательства ГОУ ВПО МГУЛ
обращаться в отдел реализации.
Телефон: (498) 687-41-33, E-mail: kurilkina@mgul.ac.ru