

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ НАУКА НА УРАЛЕ

Екатеринбург
2006

УДК 630* (420.5)

Составитель и ответственный за выпуск:
проф., д-р с.-х. наук **Н. Н. Чернов**

Редакционный совет:
проф., д-р с.-х. наук **Н. Н. Чернов**,
проф., д-р с.-х. наук **С. В. Залесов**,
проф., д-р биол. наук **А. К. Махнев**,
проф., д-р биол. наук **А. С. Чиндяев**

Рецензенты:
Ботанический сад УрО РАН
(Екатеринбург, директор Ботанического сада УрО РАН **С. А. Мамаев**)
Главный научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН,
проф., д-р биол. наук **А. К. Махнев**

Лесоводственная наука на Урале: / Монография. – Екатеринбург:
Уральский государственный лесотехнический ун-т, 2006. – 360 с.
ISBN 5-94984-099-2

В книге представлены исторические очерки об ученых. Приведены результаты совершенствования лесоводственных знаний за двухвековой период становления и развития практического и теоретического лесоводства на Урале.

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Агентства лесного хозяйства
по Ханты-Мансийскому национальному округу*

*На лицевой стороне обложки:
дендропарк Кузьминки в с. Ильинское Пермской области,
созданный в 1840–1850-х годах А. Е. Теплоуховым*

ISBN 5-94984-099-2

© Уральский государственный
лесотехнический университет,
2006

С. Г. Шиятов

Институт экологии растений и животных УрО РАН

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение динамики лесных экосистем и ведущих факторов внешней среды с использованием дендрохронологических принципов и методов было начато на Урале в начале 1960-х гг. Необходимость таких исследований была вызвана повышенным интересом к познанию динамических процессов, ежегодно происходящих в лесных экосистемах и в природной среде за длительные промежутки времени. Дендрохронологические исследования проводятся в основном в Институте экологии растений и животных (ИЭРиЖ) УрО РАН и в небольшом объеме в других научных учреждениях Урала, в частности, в Ботаническом саду УрО РАН, Институте биологии и Ботаническом саду Уфимского научного центра РАН.

Пионерами использования дендрохронологических методов на Урале были автор настоящей статьи и Г. Е. Комин. По их инициативе в середине 1970-х гг. в лаборатории экологии растений и геоботаники ИЭРиЖ была сформирована группа дендрохронологии, состоящая из 4 человек. В 1985 г. эта группа была переведена в лабораторию лесоведения, а в 1988 г. на ее основе была организована лаборатория дендрохронологии, которую возглавил С. Г. Шиятов. В настоящее время в составе этой лаборатории работают два доктора, 4 кандидата наук, один научный сотрудник без степени и три инженера. Лаборатория является ведущим специализированным научным учреждением в России, использующим в качестве основного инструмента дендрохроно-

логические принципы и методы для решения проблем лесной, региональной и глобальной экологии, климатологии и гидрологии. Районы исследования сосредоточены на территории всей России, однако основное внимание уделяется Уралу и северу Западной Сибири. Лаборатория дендрохронологии ИЭРиЖ тесно сотрудничает с российскими и зарубежными дендрохронологами как при проведении совместных экспедиций, так и при проведении анализа собранного материала и публикации совместных работ, и имеет высокий международный рейтинг.

Уральские дендрохронологи разрабатывают широкий круг вопросов, связанных с изучением пространственно-временной и циклической динамики лесных экосистем, функционирующих в экстремальных условиях местообитания (верхний, южный и полярный пределы произрастания древесной растительности, поймы рек, заболоченные и загрязненные территории), с реконструкцией различных параметров условий среды, особенно климатических и гидрологических, которые оказывают наиболее существенное воздействие на рост и развитие древесных растений. Кроме того, довольно большое внимание уделяется изучению влияния промышленных загрязнителей и вспышек массового размножения листогрызущих насекомых на прирост стволовой древесины с целью оценки реакции деревьев и древостоев на такие воздействия.

За последние 40 лет была проведена большая работа по разработке и усовершенствованию принципов и методов дендрохронологического анализа, позволяющих не только качественно, но и количественно оценить долю изменчивости прироста, обусловленную естественными и антропогенными факторами, и их использованию для решения фундаментальных проблем экологии, эмпирической климатологии и гидрологии. Основными достижениями можно считать следующие.

1. Разработаны методики и компьютерные программы, позволяющие получать надежные древесно-кольцевые хронологии и новую информацию о динамике различных компонентов лесных экосистем и ведущих факторов среды, производить математико-статистическую оценку и моделирование динамики годичного радиального прироста древесных растений.

Важная методическая работа была выполнена Г. Е. Коминым (1970). Он провел измерение годичного прироста у всех деревьев сосны (212 шт.), произрастающих на пробной площади, и проанализировал изменение рангов деревьев по толщине за 1870–1963 гг. Оказалось,

что наибольшей устойчивостью обладают самые толстые и самые тонкие деревья. Для разных рангов деревьев и всего древостоя были вычислены средние значения прироста по диаметру. Сделан вывод, что в сомкнутых древостоях использование деревьев высших рангов наиболее перспективно для анализа прироста всего древостоя. В другой работе Г. Е. Комин (1970) дал анализ существующих методов вычисления индексов прироста и отметил, что они обладают существенными недостатками. Он предложил новый метод расчета динамической нормы прироста, основанный на получении биологических кривых роста для совокупности деревьев одного вида, но разного возраста.

Для расчета индексов прироста автором настоящей статьи (1986) был разработан «метод коридора», суть которого состоит в том, что для вычисления индексов прироста используется не средняя динамическая норма прироста, а максимально и минимально возможная, т. е. вычисляется процентное значение абсолютной величины годового прироста, заключенного между максимально и минимально возможным приростом в конкретный календарный год. Использование этого метода позволяет выявлять не только короткие (внутривековые), но и более длительные (вековые и сверхвековые) климатически обусловленные колебания прироста (Шиятов, 1975). В. С. Мазепой и Р. М. Хантемировым разработаны компьютерные программы для расчета индексов прироста, в том числе на основе «метода коридора» (INDEXA, CRD).

Разработана методика анализа распределения индексов прироста в каждом календарном году для извлечения из обобщенных хронологий более надежного климатического сигнала (Мазепа, 1982), а также методика внесения поправок в усредненные индексы, обеспеченные неодинаковым и недостаточным количеством модельных деревьев (Шиятов, 1980). В. С. Мазепой (1986) была проделана большая работа по оценке содержащихся в дендрохронологических рядах циклов различной длительности при помощи методов спектрального анализа и линейной фильтрации. С использованием дендрохронологии были разработаны методики определения времени образования шишек у лиственницы сибирской (Шиятов, 1970) и точной датировки ветровала и ветролома на примере южнотаежных темнохвойных лесов Среднего Урала (Шиятов, 1990). Л. И. Агафоновым (Агафонов, Штрук, Нубер, 2002) разработана оригинальная методика реконструкции скорости продвижения границ термокарстовых образований.

2. В ходе многолетних исследований изучены закономерности экзогенной и эндогенной регуляции сезонного развития и формирования годичного слоя древесины у основных лесообразующих видов (ели сибирской, пихты сибирской, кедра сибирского, сосны обыкновенной и березы повислой) в южнотаежных лесах Среднего Урала (Горячев, 1988; 1990; 1991; 1992; 1999; 2001). Выявлены особенности сезонного развития хвойных деревьев и установлена их связь со степенью активности камбия, что позволяет по фенологическим признакам судить о ходе формирования и относительной величине годичного слоя древесины. Определены средние сроки начала и окончания формирования годичного слоя древесины, начала формирования поздней древесины и период активного прироста, а также оценено изменение относительной скорости прироста в ходе формирования годичного слоя древесины.

Установлено, что в одном типе лесорастительных условий формирование годичного слоя древесины происходит более синхронно у хвойных деревьев со сходным темпом прироста в течение вегетационного периода. Особенности формирования годичного слоя древесины в разных типах лесорастительных условий во многом определяются спецификой почвенно-грунтовых условий и режимом водноминерального питания.

Выявлено, что у ели и пихты обильное семеношение снижает величину годичного прироста древесины до 40% и изменяет соотношение элементов ранней и поздней древесины в годичном слое, уменьшая в нем на 7–9% количество трахеид поздней древесины. Снижение величины радиального прироста на 2–14% в семенные годы отмечено Н. А. Мартыановым (1990) у сосны, лиственницы и пихты, произрастающих на Южном Урале.

Исследованиями В. М. Горячева (1988, 1999) установлено, что у деревьев в одном сообществе продолжительность и относительная скорость нарастания годичного слоя в течение вегетационного периода существенно различаются и эти характеристики определяют тип сезонного роста. Оказалось, что деревья со сходным типом сезонного роста произрастают на значительном удалении друг от друга, а в биогруппах, как правило, деревья имеют разный тип роста.

Наибольшее влияние на формирование годичного слоя древесины у хвойных оказывает термический режим воздуха вегетационного периода. Роль температурных условий является определяющей в период от начала реактивации камбия до начала формирования элементов

поздней древесины. Вклад влагообеспеченности в величину годового слоя древесины значительно ниже и проявляется в основном на заключительных этапах сезонного роста. Установлены абсолютные и относительные пределы температурных условий и влагообеспеченности, определяющие снижение и повышение интенсивности работы камбия в разные периоды его активности.

Изучение процессов роста и развития у сосны обыкновенной и ели сибирской на территориях с высоким уровнем антропогенного воздействия (рекреация, техногенное загрязнение) показало, что у сосны и ели отмечается снижение продолжительности жизни хвои, увеличивается степень ее повреждения и уменьшается продолжительность сезонного роста, что в целом приводит к снижению прироста древесины. У таких деревьев увеличивается диапазон погодичной изменчивости ширины годовых колец (Горячев, Карасева, 1999; Горячев, 2003).

3. Для различных районов Урала, восточной части Русской равнины и Западной Сибири построено свыше 350 обобщенных древесно-кольцевых хронологий по ныне живущим видам деревьев и кустарников. Длительность их составляет от 150 до 830 лет. Наиболее изученными с дендрохронологической точки зрения являются высокогорные районы Урала, север Западной Сибири, Средний и Южный Урал. Для проведения древесно-кольцевого анализа использовались в основном хвойные деревья, которые наиболее долговечны, содержат хорошо различимые годовые слои прироста и четкую реакцию различных параметров прироста (ширины годовых колец, ширины ранней и поздней древесины, плотности древесины) на изменение условий среды. Из произрастающих на Урале видов древесных и кустарниковых растений для проведения дендрохронологических и дендроклиматических исследований самыми перспективными оказались лиственница сибирская, сосна обыкновенная, ель сибирская, дуб черешчатый и можжевельник сибирский. Эти древесные виды достигают возраста 400–600 лет. Наиболее долгоживущим видом на Урале является можжевельник сибирский: С. Г. Шиятовым на Полярном Урале были найдены экземпляры, достигающие 850-летнего возраста.

4. Уральские дендрохронологи достигли больших успехов в построении длительных древесно-кольцевых хронологий, используя древесину давно живших деревьев и кустарников, остатки которых сохранились до настоящего времени как на поверхности почвы (сухостой и валеж), так и в новейших голоценовых отложениях (торфяных,

аллювиальных и озерных). Первым успешным опытом построения хронологий, которые по длительности превышают возраст живых деревьев, явилось построение 867-летней хронологии по лиственнице сибирской, 725-летней хронологии по ели сибирской и 697-летней хронологии по кедру сибирскому для севера Западной Сибири (нижнее течение реки Таз). Для продления этих хронологий вглубь веков была использована древесина, которая рубилась 300 – 400 лет тому назад для постройки деревянных сооружений города Мангазеи (Шиятов, 1972, 1973, 1975, 1977).

Позднее была получена 1360-летняя хронология по лиственнице сибирской для Полярного Урала (Шиятов, 1986; Shiyatov, 1995), основанная на использовании сухостоя и валежа, в большом количестве встречающегося на верхней границе леса. Примерно такой же длительности для Полярного Урала получена хронология по можжевельнику сибирскому (Шиятов, Хантемиров, Горланова, 2002). Наиболее длительная непрерывная хронология по лиственнице сибирской (7315 лет, с 5314 г. до н. э. до 2000 г. н. э.) построена для Южного Ямала (Shiyatov, Hantemirov, Schweingruder, 1996; Хантемиров, 2000; Hantemirov, Shiyatov, 2002). Для ее построения было использовано около 500 спилов полуископаемой древесины, захороненной в аллювиальных и торфяных отложениях бассейнов рек Хадытаяха, Ядаяхадыха, Танловаяха и Юрибей. Эта хронология является одной из наиболее длительных, полученных до сих пор для субарктических районов Северного полушария. Кроме того, она содержит в себе очень сильный климатический сигнал.

В настоящее время В. М. Горячевым строятся тысячелетние хронологии по ели сибирской, лиственнице сибирской и кедру сибирскому на основе использования археологической древесины с Надымского городища (низовье реки Надым). По лиственнице сибирской и кедру сибирскому уже построены непрерывные хронологии длительностью 1200 лет. Л. И. Агафоновым ведутся работы по построению 1000-летней древесно-кольцевой хронологии в нижнем течении реки Оби.

5. Большинство древесно-кольцевых хронологий, полученных на основе использования древесины как ныне живущих, так и давно погибших деревьев, были построены для целей реконструкции климатических условий прошлого, которые оказывают наиболее существенное влияние на рост и развитие деревьев и древостоев.

Показано, что хронологии, полученные для верхнего и полярного пределов произрастания древесной растительности, содержат в себе сильный климатический сигнал, в основном температуру воздуха летних месяцев (Шиятов, 1986; Graybill, Shiyatov, 1992; Шиятов, Мазепа, Фриттс, 1992; Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996; Хантемиров, Шиятов, Горланова, 1999). Некоторые субарктические хронологии, особенно по сосне обыкновенной, хорошо коррелируют с количеством осадков осенне-зимнего, зимне-весеннего и летнего периодов (Мазепа, 1999). На южном пределе произрастания древесной растительности основным лимитирующим фактором являются весенние и летние осадки (Кучеров, 1988; Оленин, Мазепа, 1987).

На основе выявленных корреляционных связей между индексами прироста и климатическими характеристиками было произведено большое количество точечных и пространственных реконструкций климатических условий за последние столетия, а по отдельным районам и за тысячелетия (Graybill, Shiyatov, 1992; Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996; Хантемиров, 1999, 2000; Hantemirov, Shiyatov, 2002).

Для огромной территории Урало-Сибирской субарктики (от Урала до Чукотки) произведено дендроклиматическое районирование. На основе изменчивости индексов прироста различных видов лиственницы показано, что в пределах субарктики они разделяются на 7 групп, каждая из которых содержит разное количество синхронных между собой хронологий. Каждая группа сходных хронологий занимает определенную территорию, которую предлагается называть дендроклиматическим районом. При движении с запада на восток выделены следующие субарктические дендроклиматические районы: Большеземельский, Западно-Сибирский, Таймырский, Анабарский северный, Анабарский южный, Яно-Колымский и Анюйский. Для каждого из 7 дендроклиматических районов получены генерализированные хронологии, отражающие региональные и глобальные изменения термического режима за последние 400 лет.

6. В 1960–1980-е годы большое внимание уделялось изучению цикличности в дендрохронологических рядах и связям прироста деревьев с солнечной активностью (Комин, 1963, 1970, 1974; Шиятов, 1975, 1986; Шиятов, Мазепа, 1986; Мазепа, 1986, 1990). Было выделено большое количество циклов различной длительности, от 2–3 до 160–180 лет. В одном ряду может быть выделено до 14–16 циклов различной длительности. Одни циклы характерны для ограниченной территории (например, цикл Брикнера), а другие прослеживаются на больших терри-

ториях (например, 11-летний цикл). Многие циклы (5-, 6-, 11-, 22-, 44- и 80-летний) совпадают по длительности, а иногда и по фазе, с циклами, выделенными в показателях солнечной активности. Как оказалось, связь прироста деревьев с некоторыми солнечными циклами изменяется во времени. Это было показано Г. Е. Коминым (1969) на примере сосняков Северного Казахстана: 11-летний цикл (с 7 по 10 по цюрихской нумерации) имел положительную корреляцию с индексами прироста сосны, а циклы с 11 по 17 – отрицательную.

В. С. Мазепой (1986) были разработаны полициклические модели роста древесных растений и изменчивости климатических факторов, основанные на аппроксимации каждого цикла при помощи синусоиды и сложения гармоник различной длительности. Эти модели использовались для долговременного (до 15–20 лет) прогнозирования индексов прироста и определяющих прирост климатических факторов. Например, прогноз теплообеспеченности вегетационного периода для Приобской лесотундры, разработанный в 1987 г., показывает хорошую оправдываемость вплоть до настоящего времени (Шиятов, Мазепа, 1995).

7. В последние годы значительное внимание уделяется анализу таких патологических структур древесины, как морозобойные повреждения (морозобойные кольца) и не успевшие одревеснеть клетки поздней древесины (светлые кольца), которые образуются в результате воздействия таких экстремальных климатических факторов, как заморозки и холодная вторая половина лета. Показано, что наиболее часто такие повреждения формируются в субарктических районах и у темнохвойных деревьев и кустарников (Гурская, 2000; Хантемиров, Горланова, Шиятов, 2002).

Была разработана классификация морозобойных повреждений, основанная на степени повреждения клеток и положении поврежденного слоя клеток в пределах годичного кольца. Выявлено, что морозобойные кольца образуются лишь в нижней части ствола и у деревьев, диаметр которых не превышает 4–5 см, а толщина коры не более 3 мм.

У кустарникового вида (*Juniperus sibirica*) в связи с небольшой высотой и малой толщиной коры морозобойные повреждения формируются в любом возрасте. В некоторые годы в годичном кольце формируется два морозобойных повреждения, в такие годы длительность безморозного периода в условиях лесотундры сокращается до 2–3-х недель (Гурская, Шиятов, 2002). Светлые кольца формируются по всей длине ствола и на любом удалении от сердцевинного кольца.

На основе абсолютной датировки времени формирования морозобойных и светлых колец произведена реконструкция заморозков и длительных похолоданий в течение вегетационного периода за последние 1200 лет для Полярного Урала и Южного Ямала (Hantemirov, Gorlanova, Shiyatov, 2003). Показано, что частота заморозков значительно возрастает в холодные периоды, которые, например, наблюдались в начале и конце XIX в. Наиболее сильные заморозки проявляются синхронно на больших территориях. Так, заморозки 1259, 1601 и 1884 гг. наблюдались в пределах всего Северного полушария и, скорее всего, были вызваны наиболее крупными вулканическими извержениями, приводящими к резкому кратковременному похолоданию в результате выброса в атмосферу большого количества вулканических газов.

8. В течение последних 15 лет в пойме Средней и Нижней Оби и на прилегающих плакорных местообитаниях ведется изучение влияния гидрологического режима на радиальный прирост древесной растительности и использование выявленных зависимостей для реконструкции различных гидрологических параметров за длительные промежутки времени (Агафонов, 1995, 1998, 1999, 2000, 2001). Показана связь индексов радиального прироста деревьев с изменениями таких основных элементов гидрологического режима Оби, как водность (сток) периода открытого русла в мае – октябре, дата начала половодья и его продолжительность, максимальный уровень половодья. Рассматриваются как пространственные, так и временные аспекты динамики радиального прироста деревьев в связи с меняющимися гидролого-климатическими условиями территории в рамках последних пяти столетий.

Выявлено как прямое влияние гидрологического режима Оби на радиальный прирост деревьев в результате затопления и подтопления полами водами, так и опосредованное, которое заключается в формировании специфических климатических условий в пойме и на прилегающих плакорных территориях. Последнее проявляется в отепляющем и охлаждающем влиянии стока Оби на атмосферный воздух. Сильное отепляющее воздействие оказывают полые воды в мае, что связано с приносом большого количества тепла с юга, и в сентябре – октябре, что связано с эмиссией тепла из обской воды на фоне общего сезонного снижения температуры воздуха. Охлаждающее влияние наблюдается в июне – июле, в период максимального затопления поймы, когда происходит поглощение солнечной радиации из-за низкого альбедо водной поверхности и затрат энергии на испарение.

Показано, что прирост деревьев чутко реагирует на гидролого-климатические изменения, происходящие в пойме и на сопредельных с ней местообитаниях. Для лиственных видов деревьев, произрастающих в зоне затопления и подтопления, характерна синхронность динамики радиального прироста с динамикой водности Оби: максимальные приросты наблюдаются в годы повышенного стока, а минимальные — в периоды его снижения. Исключения составляют годы с экстремально высокими и продолжительными (до 130 дней) половодьями, когда величина радиального прироста резко снижается или формируются годовичные кольца с аномальной клеточной структурой. Такие годовичные кольца являются реперами для реконструкции лет с экстремальными половодьями в прошлом.

В динамике радиального прироста хвойных видов на прилегающих к пойме плакорных местообитаниях выявлена обратная связь с динамикой водности Оби — периодам лет с высокой водностью соответствуют периоды лет пониженного радиального прироста и, наоборот, в годы низкой водности наблюдается повышенный прирост у хвойных. Это объясняется изменениями температурного режима атмосферного воздуха, динамически связанного с изменениями стока Оби.

На основе выявленных связей между радиальным приростом древесных растений и гидролого-климатическими параметрами произведена погодичная реконструкция водности (стока) Нижней Оби, дат начала и продолжительности половодий, их максимальных уровней за последние 300–500 лет. Использование особенностей отепляющего эффекта стока в сентябре – октябре на древесную растительность припойменных местообитаний позволило реконструировать температуру октября за последние 200 лет.

9. Абсолютная датировка времени появления и гибели деревьев и определение их истинного возраста от начальной точки роста (гипокотилы) открыло новые возможности при изучении возрастной структуры древостоев и динамики лесных экосистем. Было показано (Комин, 1963, 1966; Шиятов, 1965, 1967), что в экстремальных для произрастания древесной растительности условиях (верхняя граница леса, заболоченные территории) формируются циклично- и ступенчато-разновозрастные древостои в связи с чередованием климатических периодов, благоприятных и неблагоприятных для лесовозобновления и формирования возрастных поколений. Так, в девственных заболоченных лесах Лозьво-Пельымского междуречья Г. Е. Коминым (1963) было показано, что возобновление и развитие древостоев в значительной

степени зависят от циклических колебаний климата различной длительности. В наиболее неблагоприятных местообитаниях влияние оказывают 11-летние циклы, а в более благоприятных — более длительные (76-летние). Г. Е. Комин (1981) внес значительный вклад в разработку теории циклической динамики лесов, которая наиболее четко выражена в экстремальных условиях местообитания в связи с непрерывно меняющимися температурными и гидрологическими условиями.

Датировка времени появления живых деревьев, а также времени появления и отмирания сухостоя и валежа на верхней границе леса в горах Полярного Урала при помощи дендрохронологических методов позволила произвести детальную реконструкцию динамики верхней границы леса за последние 1350 лет (Shiyatov, 1993, 1995). Показано, что в Средние века (VIII – XIII вв.) был теплый период, когда верхняя граница поднималась выше в горы на 60–80 м по сравнению с ее современным положением. Затем наступило похолодание, так называемый Малый ледниковый период, которое продолжалось до начала XX в. В течение последних 80–90 лет климатические условия для произрастания древесной растительности снова стали благоприятными, средняя летняя температура воздуха возросла на 0,7°C, а зимняя – на 1,2°C. В результате этого на многих склонах верхняя граница распространения лиственничных редин, редколесий и сомкнутых лесов поднялась выше в горы на 40 – 60 м. Однако древесная растительность на многих склонах в связи с кратковременностью периода современного потепления еще не достигла тех высотных позиций, которые она занимала в Средние века. Наиболее заметные изменения произошли на участках, обеспеченных семенным материалом, т. е. в пределах ранее существовавших редин и редколесий. Сомкнутость крон, густота и продуктивность древостоев возросли в среднем в 4–5 раз, а степень облесенности в пределах подгольцового пояса увеличилась с 11 до 27% (Шиятов, Мазепа, 2002).

Абсолютная датировка полуископаемой древесины при помощи радиоуглеродного метода, собранной в аллювиальных и торфяных отложениях Южного Ямала, дала возможность реконструировать основные этапы развития древесной растительности и сдвиги полярной границы леса на Ямале за последние 10500 лет (Хантемиров, Шиятов, 1999). Наиболее северное положение полярной границы леса наблюдалось в раннем голоцене (10500–7400 лет назад), а наиболее южное – в позднем голоцене (последние 3700 лет). Обращает на себя внима-

ние резкое отступление к югу полярной границы леса, которое произошло около 1700 г. до н. э.

На основе массовых дендрохронологических датировок сохранившихся до настоящего времени остатков деревьев, в основном лиственницы сибирской, показано, что в позднем голоцене происходили сравнительно незначительные (до 5 км) смещения этой границы, что обусловлено отсутствием длительных и значимых изменений климата в это время (Хантемиров, Сурков, 1996; Hantemirov, Shiyatov, 2002).

10. Дендрохронологические методы используются для оценки реакции лиственных древостоев, в основном березовых и дубовых, на дефолиацию во время вспышек массового размножения листогрызущих насекомых и реконструкции таких вспышек в прошлом (Кучеров, 1988, 1990; Колтунов, 1993; Колтунов, Пономарев, Федоренко, 1998). Сложность такого анализа заключается в том, что эти вспышки, как правило, приурочены к засушливым годам и приходится применять специальные методические приемы, чтобы оценить влияние каждого из этих совместно действующих факторов. Показано, что в широколиственных и мелколиственных лесах Южного и Среднего Урала вспышки массового размножения листогрызущих насекомых за последние полтора столетия повторялись через каждые 11 лет и были приурочены к минимальным значениям или ветвям спада солнечной активности. При этом интенсивность вспышек возросла в последние 50 лет по сравнению с предыдущим столетием, что связано со снижением устойчивости древостоев в результате хозяйственной деятельности человека.

11. В конце 1980 – начале 1990-х гг. на Среднем Урале были проведены работы по изучению содержания некоторых химических элементов (K, Ca, Mg, Mn, Zn, Al, Fe, Cu, Ni) и радиоактивных изотопов (Sr-90) в годичных слоях древесины у сосны обыкновенной и березы бородавчатой (Hantemirov, 1992; Хантемиров, 1996). Эти исследования должны были ответить на вопрос: можно ли использовать химический состав древесины для изучения истории загрязнения окружающей среды токсическими металлами и радионуклидами. Работы проводились в окрестностях медеплавильного завода и на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа. Было показано, что распределение химических элементов в годичных слоях во многом зависит от физиологических процессов, происходящих в древесине: концентрация одних металлов существенно отличалась в ядровой и заболонной древесине, другие металлы накапливались на границе

ядра и заболони, содержание третьих уменьшалось от центра к периферии.

Были предложены методы стандартизации, которые позволили устранить изменчивость содержания в древесине некоторых элементов, не связанную с внешними воздействиями. На основе полученных индексов была произведена реконструкция поступления токсических веществ в древесные растения в прошлом. Уровень загрязнения влияет на содержание в годичных слоях древесины таких элементов, как Al, Zn, Fe и Cu, в то время как содержание калия и магния определяется физиологическими процессами, происходящими в дереве. Наиболее подходящим элементом для целей индикации промышленных загрязнений оказалась медь, а Sr-90 хорошо отражает историю радиоактивного загрязнения как на глобальном, так и локальном уровнях.

Влияние атмосферных загрязнителей и климатических условий на ширину годичных колец лиственницы и ели изучалось в Норильском промрайоне (Ившин, 1991, 1992; Ivshin, Shiyatov, 1995). Показано, что древесно-кольцевой анализ перспективен для ранней диагностики техногенных загрязнений в условиях Крайнего Севера. Относительный вклад климатических и техногенных факторов хорошо оценивается регрессионными моделями, описывающими связи индексов прироста с климатическими факторами. Показано, что состояние древостоев в условиях атмосферного загрязнения существенно ухудшается в период с неблагоприятными климатическими условиями.

Таким образом, уральскими дендрохронологами за последние 40 лет выполнены важные и разносторонние исследования с использованием методов древесно-кольцевого анализа, имеющие отношение к лесным и экологическим проблемам. Кроме того, дендрохронологические методы широко использовались для точной датировки древесины исторических и археологических памятников. Следует отметить массовые абсолютные датировки деревянных сооружений средневекового г. Мангазеи (Шиятов, 1980), Казымского городка (Колин, 1975), Николаевского монастыря Верхотурья (Горячев, 1997), поселения Ярте VI на Ямале (Шиятов, Хантемиров, 2000), Надымского городища и других памятников в низовье реки Оби (Шиятов, Мазепа, Хантемиров, Горячев, 2000). Эта древесина была использована для продления древесно-кольцевых хронологий вглубь веков и тем самым для реконструкции природных условий далекого прошлого.

В последнее время все более широкое применение получают методы реконструкции климатических условий на основе содержания в

годовых слоев древесины стабильных изотопов, в частности углерода и кислорода (Waterhouse, Barker, Carter, Agafonov, Loader, 2000; Saurer, Schweingruber, Vaganov, Shiyatov, Siegwolf, 2001). Весьма перспективно использование древесно-кольцевого анализа для решения проблем глобальной и региональной экологии, а также в изучении естественной и антропогенной динамики лесных экосистем.