

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ДЕНДРО- ХРОНОЛОГИЯ И ДЕНДРО- КЛИМАТОЛОГИЯ

Ответственные редакторы
акад. АН ЛитССР Л. А. Кайрюкштыс,
чл.-кор. АН СССР Г. И. Галазий,
д-р биол. наук С. Г. Шиятов



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1986

УДК 630* 561.24

Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986.

В сборник вошли материалы IV Всесоюзного совещания по дендроклиматологии и дендрохронологии (Иркутск, 1983). Подведены итоги и намечены перспективы дендрохронологических исследований в СССР. Рассмотрены новые методы изучения прироста древесины и методы интерпретации дендроматериалов смежными науками. Проведен глубокий анализ влияния биологических, ценологических и климатических факторов на годичный прирост, в результате чего выявлены циклические колебания радиального прироста древесины, на которых основывается сверхдолгосрочный прогноз климата. Изложены результаты реконструкции климатического режима различных регионов страны.

Книга рассчитана на экологов, ботаников, климатологов, лесоведов, географов.

Рецензенты П.Л. Горчаковский, В.А. Оболкин

ЦИКЛИЧНОСТЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ В ВЫСОКОГОРЬЯХ УРАЛА

С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа

Институт экологии растений и животных УНЦ АН СССР

Целью настоящего исследования являлось выявление наиболее важных (по вкладу в общую изменчивость ряда) циклов у полученных дендрохронологических рядов, выяснение степени связей и временных сдвигов между ними в зависимости от вида древесного растения, типа условий местообитания и положения района исследований в системе широтной зональности. Такие данные необходимы для производства дендрохронологического районирования, выявления факторов, определяющих изменчивость прироста деревьев и прогнозирования климатически обусловленных колебаний прироста.

В течение 1960–1975 гг. С.Г. Шиятовым был произведен сбор образцов древесины и построение 30 обобщенных и 8 генерализирован-

ных дендрохронологических рядов по хвойным видам древесных растений, произрастающих на верхней границе леса в различных природных провинциях Урала. В пределах Полярного, Приполярного и Северного Урала было выбрано по одному типичному для данной провинции высокогорному району, а в пределах Южного Урала – два района. Географическое положение районов сбора образцов древесины приведено в табл. 1. Протяженность Уральского высокогорного дендрохронологического профиля составила 1600 км (от верховьев р. Бол. Ханмей на Полярном Урале до массива Иремель на Южном Урале).

Анализ циклических колебаний индексов ширины годичных колец деревьев в пределах этого профиля представляет большой интерес. Можно проследить, как изменяется цикличность в радиальном приросте деревьев, которые произрастают на верхнем климатическом пределе своего существования в различных широтных ботанико-географических зонах (от лесотундры на севере до лесостепи на юге), где проявляется действие одного лимитирующего фактора – термического режима летнего периода /Полозова, Шиятов, 1979/. Кроме того, в высокогорьях можно легко подобрать контрастные типы условий местобитания (от сухих до заболоченных) и сравнить в них характер проявления цикличности.

Такому анализу способствуют еще и следующие обстоятельства. Во-первых, верхнюю границу леса в различных природных провинциях Урала практически образуют одни и те же виды хвойных – лиственница сибирская и ель сибирская. Поэтому из рассмотрения исключается такой важный фактор, как различия в эколого-биологических свойствах объектов исследования. Во-вторых, лесная растительность в высокогорных районах Урала слабо нарушена хозяйственной деятельностью человека, в связи с чем здесь легче можно выявить природные закономерности в колебаниях радиального прироста деревьев. В-третьих, сбор полевых материалов и их камеральная обработка производились по единым методикам, что также облегчает сравнительный анализ цикличности.

Методика исследований

Сбор образцов древесины (спилое и буровых образцов), которые использовались для построения дендрохронологических рядов, производился у следующих видов древесных растений: лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), ели сибирской (*Picea obovata*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Первые два вида произрастают на верхней границе леса во всех перечисленных выше природных провинциях Урала, а последний – лишь на Северном и Южном Урале. Поскольку в первую очередь исследовались климатически обусловленные колебания радиального прироста, то для анализа отбирались лишь такие модельные деревья, на прирост которых неклиматические факторы оказывали бы возможно меньшее влияние. Чтобы свести к минимуму влияние фитоценологических факторов, брались в основном оди-

Таблица 1

Краткая характеристика дендрохронологических рядов

Район сбора образцов древесины и его зональное положение	Номер ряда	Высота над ур. м., м	Вид древесного растения и древесины	Тип условий местобитания	Количество		Длительность ряда		Коэффициент чувствительности
					моделей, шт.	годичных колец, шт.	годы	лет	
Восточный склон Полярного Урала, бассейн р. Собь (66°45'–66°55' с.ш., 65°15'–66°05' в.д.), Тюменская область, зона лесотундры	1	150–300	Л (Ж)	П	21	4901	1541–1968	428	0,41
	2	150–300	"	3	8	1548	1594–1969	376	0,42
	3	150–300	"	Сх	9	1683	1648–1964	317	0,32
	4	150–300	"	Св	10	2120	1648–1964	317	0,36
	1–4	150–300	"	В	48	10252	1541–1969	429	0,37
	1–4а	150–380	Л (Ж+О)	В	71	14662	960–1969	1010	-
	5	150–300	Е (Ж)	П	11	2089	1637–1969	333	0,29
	6	550–700	Л (Ж)	Св	14	3157	1673–1970	298	0,43
	7	550–700	"	Сх	18	3474	1683–1970	288	0,37
	8	550–700	"	П	20	3790	1691–1969	279	0,39
Восточный склон Приполярного Урала, г. Неройка (64°30'–64°55' с.ш., 59°40'–60°15' в.д.), Тюменская область, подзона северной тайги	6–8	550–700	"	В	52	10421	1673–1970	298	0,38
	9	550–700	Е (Ж)	П	12	1599	1681–1969	289	0,29
	10	550–700	"	Св	4	789	1710–1969	260	0,36
	9–10	550–700	"	В	16	2388	1681–1969	289	0,33

Северный Урал, Кытлымский массив (59°30' - 59°40' с.ш., 59°00' - 59°20' в.д.), Свердловская область, подзона средней тайги	11	800-950	Л (Ж)	П	25	5069	1590-1969	380	0,35
	12	800-950	"	Св	23	3975	1598-1969	372	0,29
	13	800-950	"	Сх	22	4025	1599-1969	371	0,33
	11-13	800-950	"	В	70	13069	1590-1969	380	0,33
	14	800-950	Е (Ж)	Св	23	4106	1676-1969	294	0,21
	15	800-950	"	П	20	2580	1769-1969	201	0,23
	16	800-950	"	Сх	19	2389	1772-1969	198	0,27
	14-16	800-950	"	В	62	9075	1676-1969	294	0,22
	17	680-700	С (Ж)	Св	11	2824	1557-1969	413	0,24
Южный Урал, хр. Таганай (55°13' - 55°24' с.ш., 59°40' - 60°00' в.д.), Челябинская область, зона лесостепи	18	900-1100	Е (Ж)	Сх	16	2475	1735-1970	236	0,22
	19	900-1100	"	П	14	2002	1750-1970	221	0,27
	20	900-1100	"	Св	15	2390	1764-1970	207	0,29
	18-10	900-1100	"	В	45	6867	1735-1970	236	0,22
	21	600-650	"	Д	10	2899	1564-1970	407	0,20
	22	600-650	С (Ж)	Д	19	6996	1488-1970	483	0,20
	23	800-850	"	Сх	18	2503	1731-1970	240	0,20
	24	1150-1300	Е (Ж)	Сх	5	923	1699-1973	275	0,21
	25	1150-1300	"	П	14	2123	1709-1972	264	0,20
	26	1150-1300	"	Св	15	2544	1720-1972	253	0,24
	24-26	1150-1300	"	В	34	5590	1699-1973	275	0,18
	27	900-1000	"	Д	11	2473	1648-1973	326	0,23
	28	900-1000	Л (Ж)	Д	8	1503	1670-1973	304	0,25
	29	1000-1100	"	П	11	1549	1770-1972	203	0,31
	30	900-1000	С (Ж)	Д	22	6909	1469-1973	506	0,18

Примечание. Виды древесных растений: Л - листошица сибирская, Е - ель сибирская, С - сосна обыкновенная; дресина: Ж - живых деревьев, О - отмерших деревьев; типы условий местообитания: П - проточно и обильно увлажненные, Св - свежие, Сх - сухие, З - заболоченные, Д - долинные курумы, В - все типы.

ночно стоящие деревья, росшие в редицах и редколесьях. Особое внимание обращалось на то, чтобы участки, на которых производился отбор модельных деревьев, не были пройдены пожаром в течение последних нескольких сотен лет. Кроме того, не рассматривались модели на тех участках, где происходили существенные изменения почвенно-грунтовых условий, а также на участках, которые испытывали воздействие хозяйственной деятельности человека. Взятие образцов древесины производилось на высоте 20–70 см от поверхности земли. Модельные деревья отбирались во время маршрутных ходов с привязкой участков к следующим типам условий местообитания: сухим, свежим, проточно и обильно увлажненным, заболоченным и долинным курумам.

Сухие местообитания приурочены к вершинам сопок и отрогов, а также к перегибам рельефа. Почвы мелкие, щелбнистые и каменистые, их увлажнение происходит в основном за счет атмосферных осадков. В засушливые периоды растения могут испытывать недостаток почвенной влаги. На таких местообитаниях произрастают лишайниково-моховые и кустарничковые редколесья и криволесья.

Свежие местообитания располагаются на склонах крутизной до 10–20°. Весной и во время выпадения интенсивных жидких осадков грунты бывают переувлажнены, так как по этим участкам склона происходит поверхностный и внутрипочвенный сток воды. Почвы сравнительно развитые. Растения не испытывают недостатка в почвенной влаге. Здесь произрастают зеленомошные и разнотравно-кустарниковые редколесья и криволесья.

Проточно и обильно увлажненные местообитания приурочены к берегам ручьев и ложбинам стока. Они характеризуются наиболее богатыми аллювиальными и дерново-луговыми почвами, проточным и обильным увлажнением грунтов в течение большей части периода вегетации. На таких местообитаниях произрастают разнотравные парковые леса и редколесья, а также березовые криволесья.

Заболоченные местообитания вблизи верхней границы леса встречаются на пологих склонах и террасах преимущественно в северной половине Уральского хребта. Увлажнение грунтов избыточное и застойное. Они заняты осоково-гипновыми болотами, на которых произрастают одиночные деревья.

Долинные курумы, или "каменные реки", состоящие из хаотического нагромождения крупных кварцитовых каменных глыб, характерны для высокогорий Южного Урала. В отличие от склоновых курумов, приуроченных к наиболее крутым участкам склонов, долинные курумы занимают пологие ложбины стока у подножия склонов, в пределах верхней полосы горно-таежного пояса. Стекающая с вышерасположенных участков гор вода не может пробить русло среди каменных глыб и в то же время препятствует формированию здесь почвенного покрова. По периферии долинных курумов, где в отдельных местах скапливается мелкозем, произрастают одиночные или в виде небольших куртин очень угнетенные деревья. Медленный рост деревьев на таких местообитаниях обусловлен недостаточным минеральным питанием и резкими колебаниями влажности фрагментарных участков мелкозема. Долинные курумы расположены на 100–300 м ниже по склону, чем верхняя климатическая граница леса.

вом сравнения оценок спектральной плотности для различных рядов, и в то же время оно не является слишком маленьким. Второе число равнялось среднему значению между первым и третьим.

Для характеристики тесноты связи и временных сдвигов между циклами использовалась вычислительная процедура кросс-спектрального анализа – вычислялись коэффициенты когерентности и фазового сдвига. Коэффициент когерентности интерпретируется как квадрат коэффициента корреляции между двумя рядами на определенной циклической составляющей. Чем больше коэффициент когерентности, тем более связаны соответствующие циклы. Значения фазового сдвига несут информацию о временных характеристиках в проявлении соответствующих циклов. Два цикла одной длительности могут развиваться синхронно во времени, а могут быть сдвинуты относительно друг друга. Число временных сдвигов (число гармоник) равнялось 56. Когерентность между рядами оценивалась лишь для внутривековых циклов: для рядов внутри провинции – от 5 лет и выше, для рядов между провинциями – от 3 лет и выше.

Обработка дендрохронологических рядов при помощи спектрального и кросс-спектрального анализов была осуществлена В.С. Мазепой по разработанным им программам на языке ФОРТРАН-IV.

Циклические составляющие

В дендрохронологии под циклом обычно понимаются более или менее регулярные многолетние колебания показателей прироста деревьев. Сложность их выделения и математического описания состоит в том, что параметры циклов (длительность, амплитуда, фаза, форма) непостоянны во времени. Кроме того, каждая кольцевая серия, как правило, состоит из циклов различной длительности, которые, накладываясь друг на друга, еще больше усложняют их выделение. Трудности в описании и выделении циклов возникают также потому, что в большинстве случаев неизвестны причины их возникновения.

Чтобы избежать в какой-то мере эти сложности, был использован спектральный подход при характеристике цикла /Гренджер, Хатанака, 1972/. При этом анализировалась компонента дендрохронологического ряда, которая соответствует достаточно узкой полосе частот в спектральном разложении и мощность которой выше по сравнению с соседними частотами. Ширина полосы определяется эмпирически на массовом материале по аналогии с тем, как определять вариацию признака по выборке. Если спектральные оценки большинства исследуемых модельных временных рядов, т.е. рядов, полученных для отдельных модельных деревьев, дают всплеск на одной и той же узкой полосе частот, то эта полоса считается важной по вкладу в общую изменчивость рядов, а период, соответствующий средней частоте, можно считать параметром экзогенного цикла. Спектральный подход позволил определить те частотные полосы, которые одинаково важны для большинства обобщенных дендрохронологических рядов исследуемого района. При анализе графиков спектральной плотности для

Для каждой природной провинции было получено от 5 до 13 обобщенных и от 1 до 2 генерализированных рядов. Обобщенным называют ряд, полученный путем усреднения индексов ширины годовых колец у сравнительно небольшого количества модельных деревьев одного вида, произраставших в одном районе и в одном типе условий местобитания. Каждому обобщенному ряду был присвоен порядковый номер (от 1 до 30). Для построения таких рядов использовалось от 4 до 23 модельных деревьев (см. табл. 1). Генерализированным называют ряд, полученный путем усреднения индексов ширины годовых колец у значительного количества модельных деревьев одного вида, произраставших в одном районе, но в различных типах условий местобитания. Такие ряды можно строить лишь в том случае, когда наблюдается большое сходство в погодичной и многолетней динамике радиального прироста у деревьев, выросших в различных типах условий местобитания. Для построения генерализированных рядов использовалось от 16 до 71 модельного дерева. Таким рядам присваивался двойной номер, показывающий, какие обобщенные ряды использовались для их построения.

Ширина годовых колец деревьев измерялась по одному или двум случайным радиусам с точностью 0,025 и 0,017 мм. Индексы ширины годовых колец рассчитывались способом коридора /Шиятов, 1972/. После усреднения индексов прироста производилось внесение поправок в отрезки ряда, обеспеченные недостаточным и неодинаковым количеством моделей /Шиятов, 1980/. Всего было использовано 471 модельное дерево и измерено 91817 годовых колец прироста. В качестве моделей в основном использовались ныне живущие деревья. На Полярном Урале, кроме того, годовые кольца изучены у 23 образцов полуископаемой древесины лиственницы сибирской. Эти деревья отмерли в районе верхней границы леса 200–800 лет назад, и их остатки (стволы и пни) сохранились до настоящего времени на дневной поверхности. Протяженность полученных дендрохронологических рядов колеблется от 198 до 1010 лет (см. табл. 1).

Содержащиеся в дендрохронологических рядах длительные циклы (вековые, сверхвековые) выделялись при помощи скользящего осреднения /Комин, 1970/ и автокорреляционной функции /Дроздов, Григорьева, 1971/. Оценка параметров длительных циклов при помощи спектрального разложения довольно груба, так как длина исходных рядов не всегда позволяет добиться желаемой избирательности. Определение параметров внутривековых циклов производилось при помощи спектрального анализа /Гренджер, Хатанака, 1972/. Для каждого дендрохронологического ряда были получены две спектральные оценки – Тьюки–Хеннинга и Парзена. Причем каждая оценка вычислялась трижды для различного числа временных сдвигов. По существу, они представляют собой число частотных полос, для которых оценивается мощность спектра. Первое число временных сдвигов выбиралось равным одной трети длительности анализируемого ряда. Такое значение является, по-видимому, тем максимумом, при котором дисперсия оценки остается не слишком большой. Третье число всегда равнялось 35. Выбор такого значения связан прежде всего с удобст-

Полярного и Южного Урала по сходству спектров на отдельных частотных полосах выделялись экзогенные циклы, характерные для конкретного района. Ширина этих важных частотных полос составляет 0,02–0,03 цикл/год (рис. 1).

По длительности циклы обычно подразделяют на внутривековые (от 2 до 60 лет), вековые (от 60 до 120 лет) и сверхвековые (свыше 120 лет). Рассмотрим выраженность циклических составляющих по отдельным природным провинциям Урала. Результаты спектрального анализа приведены в табл. 2.

Полярный Урал. Почти у всех полученных рядов был выделен сверхвековой цикл длительностью 160–180 лет. У самого длительного ряда 1–4а этот цикл повторился 4 раза (средняя длительность его оказалась равной 178 годам, а средняя амплитуда – 17,1%). У рядов 1, 2 и 1–4 при помощи метода автокорреляции выявился 250–260–летний, а у ряда 3 – 200–210–летний циклы. Из вековых циклов у всех рядов выделился 55–65–летний, а у рядов 1 и 1–4 – 110–120–летний циклы. При помощи спектрального разложения было выявлено значительное количество внутривековых циклов (см. табл. 2, рис. 1). Общими для рядов по лиственнице и ели оказались следующие: 2,1–2,2–, 3,3–3,7–, 3,9–4,4–, 5,3–6,0–, 8,8–9,6– и 21–24–летний. Характерными для рядов по лиственнице являются циклы длительностью 2,5–2,7; 10,0–11,5 и 16–18 лет, а для рядов по ели – 2,3–2,4; 12–14 и 32–34 года.

Приполярный Урал. Методом автокорреляции у рядов по лиственнице выявлен цикл длительностью 240–260 лет. Кроме того, у ряда 7 проявились циклы 130–135 и 215–220 лет. Из вековых циклов этим же методом у рядов по лиственнице выделен 120–130–летний цикл, а у рядов по ели – 90–100–летний. При помощи скользящего осреднения у рядов по лиственнице выделился цикл, средняя длительность которого у разных рядов колеблется от 59 до 65 лет. У рядов по ели средняя длительность этого цикла оказалась несколько большей (от 69 до 90 лет). Спектральным разложением выявлено значительное количество внутривековых циклов (см. табл. 2). Общими для рядов по лиственнице и ели являются циклы длительностью 2,1–2,2; 2,3–2,4; 2,8–3,1; 3,3–3,7; 3,9–4,4; 5,3–6,0; 6,7–7,2; 10,0–11,5; 16–18; 21–24 и 36–39 лет. Только у рядов по лиственнице проявился 26–29–летний цикл, а у рядов по ели – 12–14– и 41–45–летний.

Северный Урал. Из сверхвековых циклов у рядов по лиственнице при помощи метода автокорреляции выделен цикл длительностью 200–240 лет. У всех полученных рядов хорошо проявляется вековой 55–65–летний цикл, а у рядов по лиственнице, кроме того, – 110–120–летний. Спектральное разложение показало наличие общих для рядов по лиственнице, ели и сосне следующих внутривековых циклов: 2,5–2,7; 3,3–3,7; 3,9–4,4; 5,3–6,0; 10,0–11,5; 12–14; 16–18 и 21–24 года. Лишь у рядов по лиственнице и сосне выделились циклы длительностью 2,3–2,4 и 8,8–9,6 года. У рядов по лиственнице и ели общими оказались циклы длительностью 6,5–7,2 и 26–29 лет, у рядов по ели и сосне таким оказался цикл 2,1–2,2 года; 41–45–летний цикл выделился только у рядов по ели, 36–39–летний – лишь

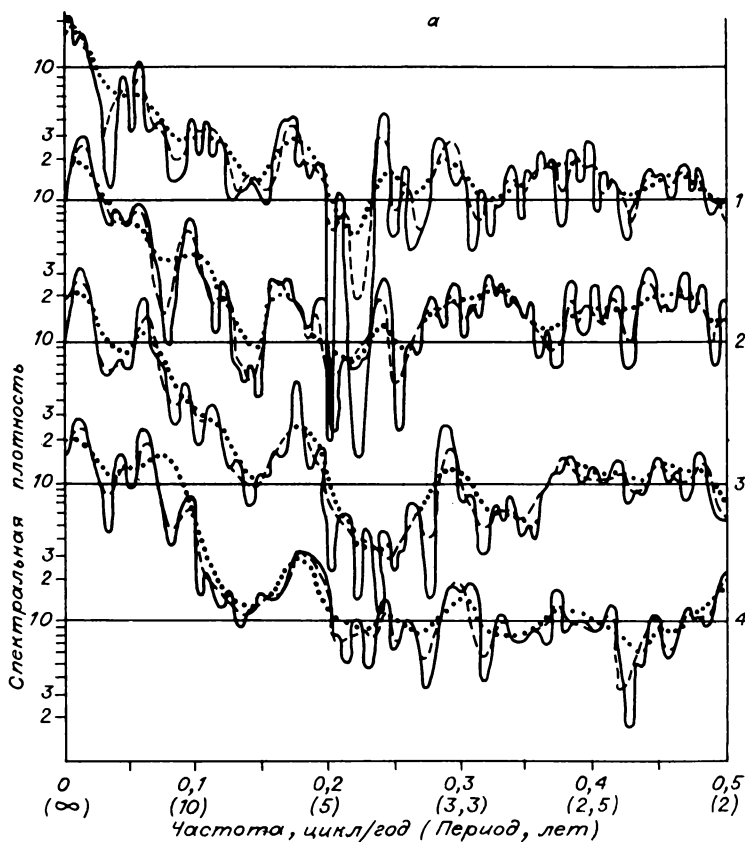
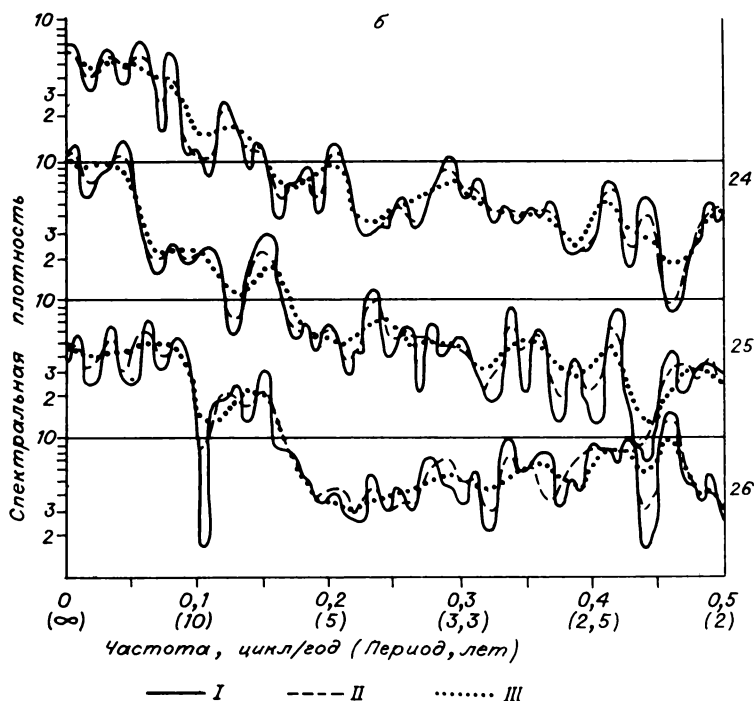


Рис. 1. Оценки спектральной плотности дендрохронологических рядов для Полярного Урала (а) и Южного Урала (массив Ирмель) (б).

Число гармоник M соответственно для рядов 1–4 для кривой: I – 142, 125, 105, 105; кривой II – 88, 80, 70, 70; кривой III – 35 (для всех). M соответственно для рядов 24–26 для кривой: I – 92, 88, 84; кривой II – 63, 61, 59; кривой III – 35 (для всех).

у рядов по лиственнице, а 32–34-летний цикл лишь у ряда по сосне 17 (см. табл. 2).

Южный Урал. У рядов по сосне и ели, полученных для долинных курумов, выделен 320–350-летний цикл. Ряды по ели 24 и 25 показывают наличие 200–220-летнего, а ряд по лиственнице 29 – 150–160-летнего цикла. Все полученные по этой провинции дендрохронологические ряды имеют вековой цикл, средняя длительность которого колеблется от 53 до 73 лет. У большинства дендрохронологических рядов присутствуют следующие внутривековые циклы: 2,1–2,2-, 2,8–3,1-, 3,3–3,7-, 3,9–4,4-, 6,5–7,2-, 7,5–8,4-, 10,0–11,5-, 12–14-, 16–18- и 26–29-летний (см. рис. 1). Для рядов по сосне спе-



шифичным является 32–34-летний цикл и отсутствуют циклы длительностью 21–24 и 4,6–5,0 лет. У рядов по лиственнице отсутствуют 2,3–2,4- и 26–29-летний циклы, у рядов по ели с верхней границы леса – 2,5–2,7-, 5,3–6,0- и 8,8–9,6-летний, у рядов по ели с долинных курумов – 6,5–7,2-летний (см. табл. 2).

Анализ циклических составляющих у полученных дендрохронологических рядов показывает, что набор циклов в различных природных провинциях Урала неодинаков. В пределах каждой провинции было выделено до 20–25 циклов различной длительности (внутривековых, вековых и сверхвековых). Больше всего выявлено внутривековых циклов благодаря высокой разрешающей способности спектрального метода. Количество этих циклов увеличивается при движении с севера на юг. Так, на Полярном Урале было выделено 15, а на Приполярном и Северном Урале – 18, а на Южном Урале – 19 внутривековых циклов (см. табл. 2). Большая часть выявленных циклов проявляется во всех природных провинциях, причем довольно большая группа этих циклов выделена у 70–90% имеющихся дендрохронологических рядов. Наиболее распространенными и общими для высокогорий Уральского хребта являются следующие циклы: 2,1–2,2; 2,8–3,1; 3,3–3,7; 3,9–4,4; 5,3–6,0; 10,0–11,5; 16–18; 21–24 и 55–65 лет. Ряд циклов проявляется преимущественно или исключительно в пределах одной или двух провинций Урала. Например, для Южного Урала характерны циклы

Таблица 2

Средняя длительность циклов, выявленных в дендрохронологических

Провинция	Номер ряда	Количество гармоник, шт.	Средняя							
			41-45	36-39	32-34	26-29	21-24	16-18	12-14	10,0-11,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Полярный Урал	1	142					23,7	17,8		10,5
		88					22,0	17,6		10,4
		35								
	2	125					25,0	17,9		10,9
		80					20,0	17,8		10,7
		35								10,0
	3	105					23,3	16,2		11,1
		70						15,6		10,8
	35									
4	105					23,3	16,2		11,1	
	70					23,3	17,5		10,8	
35										
1-4	143					23,8	16,8		10,6	
	89					22,3	17,8		10,5	
	35								10,0	
5	111			31,7		20,2		13,9		
	73					20,9		13,3		
	35									
Приполярный Урал	6	99		39,6	33,0		22,0	16,5		10,4
		67				26,8	22,3	16,8		10,3
		35					23,3			10,0
	7	96			32,0		24,0			
		65				26,0	21,7			10,0
		35					23,3			
	8	93		37,2			23,3	16,9		10,9
		64				25,6	23,3	16,0		10,7
		35								
	6-8	99					22,0	16,5		10,4
67					26,8	22,3	16,8		10,3	
35						23,3				

рядах при помощи спектрального разложения

длительность циклов, лет

8,8-9,6	7,5-8,4	6,5-7,2	5,3-6,0	4,6-5,0	3,9-4,4	3,3-3,7	2,8-3,1	2,5-2,7	2,3-2,4	2,1-2,2
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
9,2		7,1	5,8		4,2	3,5		2,6		2,2
9,3		7,0	5,9		4,2	3,5		2,6		
			5,8		4,1	3,5		2,6		2,2
	8,3		6,1		4,2		3,1			2,2
	8,4		6,2		4,2		3,1			2,2
			5,8		4,1		3,0			2,2
9,1			5,7			3,4	3,0	2,6		2,1
8,8			5,8			3,4	3,0	2,6		2,1
			5,8			3,3	3,0	2,6		2,1
9,1			5,5		4,2	3,3		2,7		
			5,6		4,1	3,3		2,7		
			5,4		4,1	3,3		2,7		
9,2		6,8	5,8		4,1	3,4		2,6		2,1
8,9		6,8	5,7		4,1	3,5		2,7		2,1
			5,8		4,1	3,5		2,6		2,1
8,9		7,2	5,5		4,0	3,3	2,9		2,4	2,1
9,1		7,0	5,6		4,1	3,4	2,9		2,4	2,1
8,8			5,8		4,1	3,3	2,8		2,4	2,1
		7,1	5,4		4,1	3,4	2,9	2,6	2,3	2,1
		7,1	5,4		4,2	3,4	2,9	2,6	2,3	2,1
		7,0	5,4		4,1	3,3	2,8	2,6	2,3	2,1
9,6	8,0		5,3		4,2	3,4	2,8		2,3	2,1
9,3	8,1		5,4		4,2	3,4	2,8		2,3	2,1
			5,4		4,1	3,5	2,8		2,3	2,1
		7,2	5,3		4,4	3,4	3,0	2,5	2,3	
		7,1	5,3		4,3	3,4	3,0	2,5	2,3	
		7,0	5,4		4,4	3,3	2,9	2,6	2,3	
		7,1	5,4		4,1	3,4	2,9		2,3	2,1
		7,1	5,4		4,2	3,4	2,9		2,3	2,1
			5,4		4,1	3,3	2,8		2,3	2,1

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Приполярный Урал	9	96		38,4			24,0	17,5		10,1	
		65	43,3							10,0	
		35								10,0	
	10	86	43,0					24,6		12,3	
		60	40,7					24,4		12,2	
		35									10,0
	9-10	96			38,4			24,0	17,5		
		65				32,5			16,3		10,0
		35									10,0
Северный Урал	11	126		36,0			19,4		12,6	10,5	
		81		40,5			20,3		12,5		
		35									
	12	124					27,6		17,7	12,4	10,3
		79					26,3		17,6	12,2	
		35									
	13	124		35,4				22,5	16,5	12,4	9,9
		79		39,5				22,6		12,2	9,9
		35						23,3			
	11-13	126		36,0			28,0	19,4	16,8	12,6	10,5
		81								12,5	10,1
		35									
	14	98					28,0		17,8		11,5
		66	44,0						16,5		11,0
		35									
	15	67					26,8	19,1		12,2	10,3
		51						20,4			10,2
35							23,3				
16	66	44,0					22,0		13,2		
	50						20,0		12,5		
	35						23,3				
14-16	98						24,5	17,8		11,5	
	66	44,0						18,9			
	35										
17	137					34,3	22,8	18,3	13,7	11,0	
	86					34,4			13,2	10,8	
	35									11,7	

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		6,4	5,6		4,1	3,6	2,8		2,4	2,1
		6,5	5,7		4,2	3,5	2,8		2,5	2,1
			5,8		4,1	3,5	2,8		2,4	2,1
9,6		7,2	5,5		3,8	3,4		2,6	2,3	2,1
9,4		7,2	5,5		3,8	3,4		2,7	2,3	2,1
			5,4		3,9	3,3		2,6	2,3	2,1
9,6		6,4	5,5		4,2	3,4	2,9	2,6	2,3	2,1
9,3		6,8	5,4		4,2	3,4	2,8	2,6	2,3	2,1
			5,4		4,1	3,5	2,8	2,6	2,3	2,1
8,7		7,0	5,3		4,3	3,4		2,7	2,3	
9,0		7,0	5,2		4,3	3,4		2,7	2,3	
8,8			5,4		4,4	3,3		2,7	2,3	
8,9		6,9	5,3		4,4	3,4	3,0	2,6	2,3	
8,8		6,9	5,3		4,3	3,4	3,0	2,6	2,3	
8,8			5,4		4,4	3,3	3,0	2,6	2,3	
8,9		6,9	5,3		3,9	3,4		2,7	2,4	
8,8		6,9	5,3		3,9	3,4		2,7	2,4	
8,8			5,4		3,9	3,3		2,7	2,3	
9,0		7,0	5,3		4,3	3,4		2,7	2,3	
9,0		7,0	5,2		4,3	3,4		2,7	2,3	
8,8			5,4		4,4	3,3		2,6	2,3	
		6,8	5,8		4,5	3,4			2,3	2,1
		6,9	5,7		4,6	3,5			2,3	2,1
		7,0	5,8		4,4	3,5			2,3	2,1
		7,1	5,4		4,5	3,4		2,5		2,1
			5,4		4,4	3,5		2,5		2,1
					4,4	3,5		2,5		2,1
	8,3	6,6			4,3	3,6	3,0	2,5		2,1
		6,7			4,3	3,6	3,0	2,5		2,1
					4,4	3,5	3,0	2,5		2,1
		6,8	5,8		4,5	3,5	2,8	2,5		2,1
		6,9	5,7		4,4	3,5	2,8	2,5		2,1
		7,0			4,4	3,5	2,8	2,5		2,1
9,1	8,3		5,5		3,9	3,3	2,9	2,5	2,3	2,1
8,8	8,2		5,2		3,9	3,3	3,0	2,5	2,3	2,1
			5,4		3,9	3,2	2,9	2,5	2,3	2,1

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Южный Урал	18	78				26,0	19,5			11,1	
		57				28,5				11,4	
		35						23,3			11,7
	19	74					29,6		16,4		10,6
		54					27,0		16,4		10,8
		35									
	20	69	46,0					23,0		12,5	10,6
		52									10,4
		35									11,7
	18-20	78					31,2			14,2	11,1
		57					28,5				11,4
		35									11,7
	24	92					26,3		16,7	12,3	10,2
		63					25,2		18,0	12,6	
		35							23,3		
	25	88						22,0		12,6	9,8
		61						24,4		12,2	10,2
		35						23,3			10,0
	26	84					28,0		15,3	12,0	
		59					29,5		14,8	11,8	
		35							14,0		
24-26	92					26,3		15,3	12,3		
	63					25,2		15,8	12,6		
	35										
21	135	45,0				27,0			14,2	10,0	
	85					28,3			14,2		
	35										
27	108						24,0	16,6		11,4	
	72						24,0	18,0			
	35										
22	161				35,8	26,8		17,9	12,9	11,1	
	98					28,0			13,1		
	35										
30	168				33,6	28,0		18,7	13,4	10,2	
	101					28,9			13,5		
	35								14,0		

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		6,5		4,9			3,1	2,7	2,4	2,1
		6,7		4,8			3,0	2,6	2,4	2,1
		7,0		4,7			3,0	2,6	2,4	2,1
	7,8	6,7	5,7	4,6			2,9		2,4	2,1
	7,7	6,8	5,7	4,7			2,9		2,4	2,1
				4,7			2,9		2,4	2,1
	7,7	6,6		4,9	4,2	3,3	2,9		2,4	2,1
	7,4	6,5		5,0	4,2	3,4	3,0		2,4	2,1
	7,8			5,0	4,1	3,3	2,9		2,4	2,1
	7,4	6,5		4,9	4,2	3,3	2,9		2,4	2,1
	7,1			5,0	4,2	3,3	2,9		2,4	2,1
	7,0				4,4	3,3	2,9		2,4	2,1
	8,0	6,8		4,8		3,4	2,8		2,4	
	7,9	6,6		4,8		3,4	2,8		2,4	
	7,8			5,0		3,3	2,8		2,4	
		6,5		5,0	4,3	3,6	2,8		2,4	2,1
		6,8		4,9	4,2	3,6	2,8		2,4	2,1
		6,4			4,1	3,7	2,8		2,4	2,1
	7,6	6,7			4,2	3,5	2,9		2,3	2,2
	7,9	6,9			4,2	3,5	2,9		2,4	2,2
		7,0			4,1	3,5	2,9		2,4	2,2
	8,0	6,8	5,6		4,3	3,4	3,0		2,4	2,2
	7,9	6,6	5,5		4,2	3,4	3,0		2,4	2,2
		7,0			4,1	3,3	2,9		2,4	2,2
9,0	7,9		6,0	4,9	4,1		3,0	2,6		2,1
8,9	8,1		6,1	5,0	4,0		3,0	2,6		2,1
8,8				5,0	4,1		3,0	2,6		2,1
9,0	7,4		6,0		4,3	3,4	3,1		2,4	2,1
9,0	7,6		6,0		4,4	3,4	3,1		2,4	2,1
	7,8				4,4	3,5	3,0		2,4	2,1
9,5	8,3		5,6		4,2	3,7	3,0	2,5		2,2
9,3	8,2		5,6		4,2	3,7	2,9	2,5		2,2
	7,8		5,4		4,1	3,7	2,9	2,5		2,2
9,1	8,4	6,9	5,9		4,6	3,8		2,5	2,3	
9,2	8,4	7,0	5,8		4,6	3,8		2,5	2,3	
			5,0		4,4	3,7		2,5	2,3	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Южный Урал	23	80			32,0			16,0	12,3		
		57		38,0		28,5		16,3			
		35									
	28	101							16,8		11,9
		68							17,0	12,4	
		35									
	29	68						19,4			10,5
		51						20,4	17,0		11,3
		35									10,0

длительностью 4,6–5,0 и 7,5–8,4 года, для Приполярного и Северного Урала – 36–39 и 41–45 лет, для Северного и Южного Урала – 12–14 лет. В северной половине Урала более четко проявляются такие крупные циклы, как 160–180- и 110–120-летних.

Имеются также циклы, проявляющиеся преимущественно в дендрохронологических рядах, полученных для определенного вида древесного растения. Так, для рядов по сосне характерен 32–34-летний цикл, для рядов по ели – 12–14- и 41–45-летний, для рядов по лиственнице – 16–18-летний.

Типы условий местообитания практически не оказывают влияния на набор циклических составляющих в дендрохронологических рядах, полученных в пределах Полярного, Приполярного и Северного Урала. Такое влияние прослеживается лишь в пределах высокогорий Южного Урала, где ослаблена роль общего лимитирующего климатического фактора /Полозова, Шиятов, 1979/. Об этом свидетельствует и более частая смена длительности циклов у рядов с различных типов условий местообитания по сравнению с районами, расположенными севернее.

Анализ циклических колебаний на основе массового дендрохронологического материала позволяет высказать некоторые соображения о реальности существования тех или других циклов, а также в некоторой мере об их природе (экзогенные или эндогенные). Полученные материалы показывают, что широко известный в литературе 11-летний цикл, к которому обычно относят колебания длительностью от 7 до 14 лет, состоит из четырех самостоятельных циклов (7,5–8,4-, 8,8–9,6-, 10,0–11,5- и 12–14-летнего). Точно так же Брикнеровский цикл, к которому относят колебания длительностью от 25 до 50 лет, у нас разделился на самостоятельные циклы длительностью 26–29, 32–34, 36–39 и 41–45 лет. В интервале от 60 до 120 лет было выделено три самостоятельных вековых цикла – 55–65-, 80–90- и 110–120-летних. На основе анализа цикли-

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	8,4		5,5		4,2	3,5	2,9	2,5		2,2
	8,1		5,4		4,2	3,5	2,9	2,5		2,2
	8,8		5,8		4,4	3,5	2,9	2,5		2,2
9,6	8,4	7,0	5,9	4,9	4,2	3,3		2,6		2,2
	8,5	7,2	5,9	4,9	4,3	3,2		2,6		2,2
			5,8	5,0	4,1	3,2		2,6		2,2
		7,2		5,0	4,3		2,9	2,6		2,2
		7,3		5,1	4,3		2,8	2,6		2,2
		7,0		5,0	4,1		2,9	2,6		2,2

ческих колебаний у одного дендрохронологического ряда трудно решать вопрос о том, является ли тот или другой цикл обусловленным внешними или внутренними факторами. Если же по данному району имеется несколько рядов и у большинства из них выделяется всплеск спектральной плотности на одной и той же частоте, то имеются веские основания считать этот цикл экзогенным.

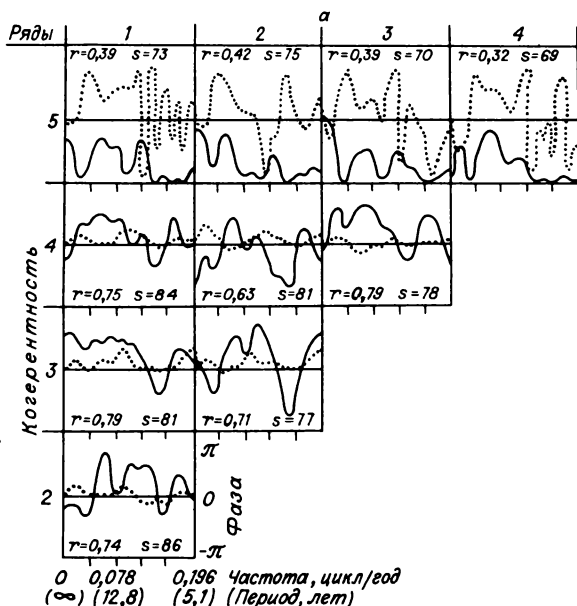
Теснота связи и фазовые сдвиги между циклами

Полярный Урал. В этой провинции проанализировано 4 дендрохронологических ряда по лиственнице (1-4) и один ряд по ели (5). Графики функций когерентности и фазового сдвига для различных пар рядов приведены на рис. 2, а.

Связи между рядами по лиственнице, полученными для различных типов условий местообитания, достигают очень высоких значений. Коэффициент корреляции между этими рядами колеблется в пределах от 0,63 до 0,79, а коэффициент синхронности – от 77 до 86%. Значения коэффициента когерентности очень высокие для большинства частот и составляют 0,70-0,85. Исключение составляет частотная полоса, соответствующая периодам в 6,7-8,0 лет. Когерентность на этих частотах снижается до 0,2-0,3, что связано с отсутствием цикла такой длительности в спектральном разложении. Особенно высокая когерентность наблюдается на частотах, соответствующих периодам меньше пяти лет. Фазовые сдвиги на этих частотах отсутствуют. Необходимо отметить большое совпадение всплесков и провалов у графиков функции когерентности и спектральной плотности. На Полярном Урале не обнаружено различий по проявлению цикличности у рядов по лиственнице, полученных для различных типов условий местообитания. Обобщенные ряды по лиственнице можно объединить в генерализованные.

Рис. 2. Оценка когерентности и фазового сдвига между дендро-хронологическими рядами по лиственнице (1-4) и ели сибирской (5) (а), собственно по лиственнице сибирской (б) и ели сибирской (в) для различных природных провинций Урала.

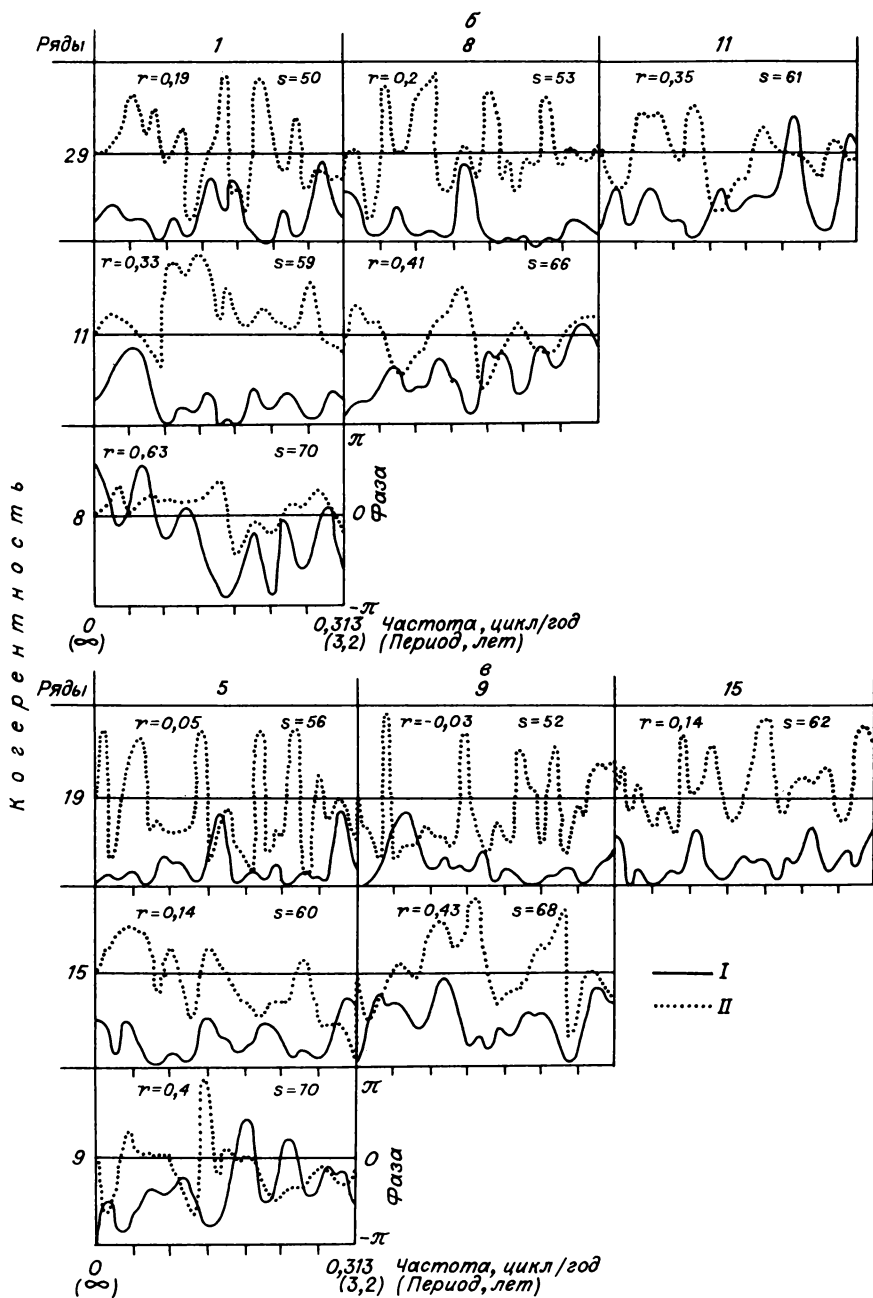
Коэффициенты: I - корреляции r ; II - синхронности s , %



Когерентность между рядами по ели и лиственнице снижается и достигает лишь средних значений (0,3-0,5). Только на некоторых частотах, соответствующих циклам длительностью свыше 64, 16-24, 8-10 и 3,5-4,0 года, связь сравнительно высокая. Связь на циклах свыше 25 лет существует без значительного по отношению к длине самих циклов фазового сдвига. Однако ход более мелких циклов в ряду по ели отстает от соответствующих циклов в рядах по лиственнице для 21-24-летнего цикла на 4-5 лет, для 8,8-9,6-летнего на 2-3 года, для 3,3-3,7-летнего на 1-2 года. Чем мельче цикл, тем больше фазовый сдвиг (по отношению к длине цикла). Но циклы короче трех лет синхронны. Датировка между рядами по ели и лиственнице надежная (коэффициент синхронности колеблется в пределах 69-75%). Значения коэффициента корреляции между рядами по ели и лиственнице снижены в результате фазового сдвига в ходе некоторых циклов и составляют 0,39-0,42.

Приполярный Урал. В этой провинции кросс-спектральному анализу подверглись 3 ряда по лиственнице (6-8) и 2 ряда по ели (9, 10).

Показатели связи между рядами по лиственнице, полученными для различных типов условий местообитания, достигают больших значений (коэффициент корреляции составляет 0,76-0,82, коэффициент синхронности - 78-83%). Графики функции когерентности показывают, что ряды по лиственнице хорошо связаны на всех частотах. Когерентность колеблется в пределах 0,60-0,80. Исключение составляет частотная полоса, соответствующая периодам 7,5-8,6 лет. Низкая когерентность на этой полосе объясняется незначительной мощностью спектра у изученных рядов. Кривые, показывающие изменение коэффициента, почти повторяют кривые спектральной плотности этих рядов. Сдвиг фаз



отсутствует. Таким образом, на Приполярном Урале не наблюдается различий в проявлении цикличности у рядов по лиственнице, полученных для различных типов условий местообитания, поэтому на их основе можно строить генерализированные ряды.

Между рядами по ели корреляционная связь равна 0,49, а коэффициент синхронности – 73%. Когерентность даже на некоторых частотах не столь велика по сравнению с той, которая имеется между рядами по лиственнице, и достигает 0,45–0,55 на следующих циклических составляющих: 28–37, 9,3–10,2 и короче 6,6 лет. Сдвиг фаз на этих частотах отсутствует. Отмеченные выше частотные полосы наиболее важны при характеристике связи между рядами по ели. Об этом свидетельствует также большое сходство графиков функции когерентности и спектральной плотности. Сдвиг фаз несколько увеличивается лишь на тех частотах, на которых когерентность низка, т.е. в интервалах между важными частотами.

Связи между рядами по ели и лиственнице однотипны и практически не зависят от типа местообитания (коэффициент корреляции колеблется в пределах 0,22–0,32, коэффициент синхронности – от 64 до 71%). Важными циклами, на которых когерентность достигает значений 0,4–0,6, являются следующие: 21–24; 10,2–11,2; 6,2–7,0; 5,3–5,6 и 3,0–3,5 года. Наблюдается заметный сдвиг фаз на частоте, соответствующей циклу 21–24 года. Она составляет 5–6 лет в сторону отставания циклов в рядах по ели по сравнению с рядами по лиственнице. Умеренная связь по 10,0–11,5-летнему циклу не прерывает значимого сдвига фаз. На цикле 6,5–7,2 года имеется фазовый сдвиг на 2–3 года в сторону отставания его хода в рядах по ели. Перекрестная датировка между рядами по ели и лиственнице возможна.

Северный Урал. Анализ функций когерентности и фазового сдвига произведен у трех рядов по лиственнице (11–13), трех рядов по ели (14–16) и одного ряда по сосне (17).

Корреляционные связи между рядами по лиственнице довольно высоки (0,57–0,74). Коэффициент синхронности варьирует в пределах 78–80%. По значениям коэффициента когерентности можно выделить ряд важных частотных полос, в пределах которых его значения достигают 0,7–0,8. Эти же частотные полосы выделяются и в спектральном разложении каждого из изученных рядов. В интервалах между важными частотами когерентность падает и составляет 0,3–0,4. Сдвиг фаз на всем частотном интервале отсутствует. Здесь также не существует различий в проявлении цикличности у рядов, полученных для различных типов условий местообитания. Обобщенные ряды по лиственнице можно объединять в генерализированные. Перекрестная датировка между этими рядами надежная.

Высокие связи имеются и между рядами по ели (коэффициент корреляции 0,53–0,71, коэффициент синхронности 72–77%). Когерентность на частотах, соответствующих циклам 22–30; 10,0–12,4; 6,6–7,0 и 5,0–5,3 года, достигает 0,5–0,8. Сдвиг фаз в проявлении этих циклов отсутствует. Кривые изменения коэффициента когерентности и фазовых сдвигов показывают, что различия по типам условий местообитания отсутствуют, хотя связи несколько меньше, чем между рядами по лиственнице. Объединение рядов по ели в генерализированные возможно, перекрестная датировка между ними надежная.

Несмотря на наличие сравнительно слабых связей между рядами по лиственнице и ели (коэффициент корреляции 0,10–0,42, коэффи-

ент синхронности 54–61%), на некоторых частотах существует неплохая связь. На полосе частот, соответствующей периодам 22,4–28 лет, коэффициент когерентности составляет 0,5. У рядов по ели наблюдается запаздывание фаз циклов по сравнению с рядами по лиственнице на 2–3 года. Ряд по ели с сухих условий местообитания показывает несколько большие связи со всеми рядами по лиственнице – коэффициент когерентности равен 0,5–0,6, особенно на 55–65-, 21–24- и 10,0–11,5-летнем циклах, причем отставание фаз на первом цикле составляет 6–8 лет, а на третьем – 1,0–1,5 года. 21–24-летний цикл в рядах по ели и лиственнице с сухих местообитаний проявляется синхронно.

Связи между рядом по сосне и рядами по лиственнице и ели слабые (коэффициент корреляции изменяется от 0,27 до 0,37, а коэффициент синхронности – от 58 до 66%). Когерентность между рядами по сосне и лиственнице невысокая, даже на наиболее важных частотах, соответствующих периодам 18,7–22,4; 10,2–11,2 и 5,3–6,6 лет (0,25–0,35). Первый цикл отстает на 2–3 года в ряду по сосне, а ход второго и третьего циклов синхронен.

Коэффициент когерентности между рядами по сосне и ели на отдельных циклах различен, и эти различия в основном связаны с условиями местообитания, для которых получен тот или другой ряд по ели. Так, ряд по сосне показывает хорошую связь на 11,2–12,4-летнем цикле (коэффициент когерентности 0,73) с рядом по ели, полученным для сухих условий местообитания, и на 7,5–8,6-летнем цикле (коэффициент когерентности 0,6) с рядом по ели со свежих условий местообитания. Связь между рядом по сосне и рядом по ели (проточно и обильно увлажненные местообитания) сравнительно слабая (коэффициент когерентности равен 0,30–0,35), и только на частотах, соответствующих периодам 12,4 и 7–8 лет. Сдвиг фаз на указанных частотах отсутствует.

Южный Урал (хр. Таганай). Для этого района коэффициенты когерентности рассчитаны для 4 рядов по ели (18–21) и 2 рядов по сосне (22, 23).

Между рядами по ели, полученными для верхней границы леса, имеются неплохая корреляционная связь (0,48–0,65) и высокая синхронность (69–78%). На кривых, показывающих изменение коэффициента когерентности, выделяется несколько важных по тесноте связи частотных полос, соответствующих периодам 28, 10,2–11,2 и 6,6–7,0 года, на которых коэффициент когерентности достигает больших значений (0,7–0,8). Сдвиг фаз на этих циклах отсутствует. Графики функции когерентности очень сходны между собой. Аналогичны и оценки спектральной плотности изученных рядов.

Связи между рядами по ели, полученными для верхней границы леса и долинных курумов, значительно слабее (коэффициент корреляции 0,19–0,33, коэффициент синхронности 59–65%). Кроме того, между ними резко снижается связь на 7,6-летнем цикле, поскольку он отсутствует у ряда 21 (долинные курумы). Наблюдается незначительный сдвиг фаз. Объединение рядов по ели с верхней границы леса и долинных курумов производить нельзя из-за различий в циклической структуре этих рядов.

Ряды по сосне показывают между собой слабые связи (коэффициент корреляции 0,26, коэффициент синхронности 67%). Когерентность между этими рядами низкая (0,2–0,3) для циклов, длительность которых превышает 5,6 года, и резко увеличивается (до 0,5) для более коротких циклов. Сдвиг фаз на коротких циклах отсутствует. Объединение рядов по сосне, построенных для верхней границы леса и долинных курумов, производить нельзя из-за слабых связей на циклах крупнее 5,6 года. Перекрестная датировка рядов с этих условий местообитания возможна.

Ряд по сосне с долинных курумов не коррелирует с рядами по ели, полученными для верхней границы леса. Коэффициент корреляции колеблется от 0,01 до 0,06. Синхронность между ними также отсутствует (53–55%). Связь между рядом по сосне и рядами по ели с долинных курумов слабая (коэффициент корреляции 0,28, коэффициент синхронности 58%). Показатели коэффициента когерентности на 28- и 8–9-летнем циклах слабые, и наблюдается сдвиг примерно на четверть цикла.

Ряд по сосне 23, полученный в районе верхней границы леса, показывает очень слабую связь с рядами по ели для верхней границы леса (коэффициент корреляции 0,09–0,21, коэффициент синхронности 56%). Слабые связи (до 0,3–0,4) наблюдаются лишь по отдельным циклам (14–16 и 7,5–8,4 года).

Южный Урал (массив Иремель). Для этого района анализ коэффициентов когерентности выполнен по отношению к 4 рядам по ели (24–27), 2 рядам по лиственнице (28, 29) и одному ряду по сосне (30).

Ряды по ели с верхней границы леса показывают между собой низкие корреляции (0,25–0,32) и синхронность (53–67%). Когерентность достигает средних значений (около 0,5) на отдельных циклах, но такие связи различны для разных условий местообитания. О сдвигах фаз говорить не приходится, так как эти связи слабы. Объединение рядов по ели с верхней границы леса для разных типов условий местообитания нежелательно. И хотя синхронность между рядами по ели слабая, перекрестная датировка возможна.

Ряд по ели с долинных курумов показывает слабую связь с рядами по ели, полученными для верхней границы леса (коэффициент корреляции 0,11–0,25, коэффициент синхронности 53–64%). Значимых связей по отдельным циклам не наблюдается. Датировка между такими рядами затруднительна.

Между рядами по лиственнице, как всегда, связь хорошая (коэффициент корреляции равен 0,66, а коэффициент синхронности – 75%). Выделяется ряд важных частотных полос, на которых когерентность достигает значений 0,6–0,7. Таковыми являются циклы крупнее 56 лет, а также 18,7–22,4; 7,5–8,0; 5,9–6,2 года. Сдвиг фаз на всех частотах отсутствует. Перекрестная датировка между рядами по лиственнице возможна.

Интересно соотношение циклов между рядами по ели и лиственнице, полученными для долинных курумов. Корреляционная связь между этими рядами отсутствует (0,04), коэффициент синхронности сос-

тавляет всего 57%. Однако когерентность на циклах 16–18; 7,5–8,0 и 5,1–5,3 года сравнительно высокая и достигает 0,4–0,5. Наблюдается сдвиг фаз примерно на 25–30% от длины циклов в сторону отставания их экстремумов в рядах по ели.

Связи между рядом по сосне и рядами по ели несколько выше, чем между рядом по сосне и рядами по лиственнице. Но и они очень слабы или отсутствуют (коэффициент корреляции 0,09–0,26, коэффициент синхронности 53–61%). Такие же слабые связи зафиксированы по большинству циклов. Лишь на некоторых циклах, в основном коротких, коэффициент когерентности достигает 0,4.

Анализ когерентности был также произведен между рядами по лиственнице и ели, полученными для различных природных провинций Урала. Для того чтобы исключить из рассмотрения влияние типов условий местообитания на проявление цикличности, сравнение рядов по лиственнице делалось для проточно и обильно увлажненных местообитаний, а рядов по ели – для свежих местообитаний. Такой выбор был скорее связан с наличием соответствующего материала, чем с постановкой определенных задач. Кривые изменений коэффициента когерентности и фазового сдвига для рядов по лиственнице приведены на рис. 2,б, а для рядов по ели – на рис. 2,в.

Ряды по лиственнице. Анализ функций когерентности проведен по рядам 1, 8, 11 и 29.

Наиболее тесные связи имеются между рядами Полярного и Приполярного Урала (коэффициент корреляции равен 0,63, а коэффициент синхронности – 70%). Особенно хорошие связи наблюдаются на частотах, соответствующих вековому и сверхвековому циклам, а из внутривековых – длительностью 18,7–22,4; 8,6–9,3; 5,1–5,3; 4,1–4,3 и 3,4–3,5 года (коэффициент когерентности составляет 0,5–0,8). Сдвиг фаз отсутствует.

Теснота связи между рядами, полученными для Полярного и Северного Урала, гораздо более слабая (коэффициент корреляции 0,33, коэффициент синхронности 59%). Наиболее высокие значения когерентности выявлены для частот, соответствующих периодам 18,7–22,4; 7,0–7,5; 5,1–5,3; 4,1–4,3 и 3,4–3,5 года (коэффициент когерентности достигает 0,2–0,5). Сдвиг фаз отсутствует. Необходимо отметить, что графики функций когерентности, отражающие степень связи по циклам, между Полярным–Приполярным и Полярным–Северным Уралом очень сходны между собой. Однако между рядами Полярного и Северного Урала значения коэффициента когерентности гораздо меньше. Кроме того, сильно занижены связи на вековых и сверхвековых циклах.

Связи между рядами по лиственнице Полярного и Южного Урала слабые (коэффициент корреляции 0,19, коэффициент синхронности 50%). Для этих рядов характерны слабые связи на циклах крупнее 8–9 лет. Хорошая связь (коэффициент когерентности 0,45–0,55) имеется на циклах 6,6–7,5; 5,6–5,9; 4,1–4,3 и 3,5–3,6 года. Ход этих циклов синхронен.

Между рядами Приполярного и Северного Урала связи достигают средних значений (коэффициент корреляции 0,41, коэффициент синхрон-

ности 66%). Наиболее сильные связи наблюдаются на следующих циклических составляющих: 16,0–18,7, 8,6–9,3, 5,3–5,9, 4,1–4,3, 3,4–3,6 (коэффициент когерентности достигает 0,35–0,55). Сдвиг фаз отсутствует или небольшой.

Интересно отметить высокую связь между рядами Приполярного и Южного Урала на 7-летнем цикле (коэффициент когерентности 0,6). Сдвиг фаз отсутствует. В целом корреляционная связь между рядами 8 и 29 низкая и составляет 0,2, а синхронность отсутствует (53%).

Степень связи между рядами по лиственнице Северного и Южного Урала достигает средних значений (коэффициент корреляции 0,35, коэффициент синхронности 61%). Однако проявление 7,0–7,5-, 4,1–4,5- и 3,2–3,3-летнего циклов у этих рядов синхронно, когерентность на этих циклах составляет 0,3, 0,7 и 0,6 соответственно (см. рис. 2, б).

Из результатов кросс-спектрального анализа для рядов по лиственнице в пределах Уральского высокогорного профиля можно заключить, что хорошая когерентность (до 0,5–0,8) существует лишь на циклах длительностью 16–18; 8,8–9,6; 4,1–4,3 и 3,4–3,5 года. Сдвиг фаз на этих циклах отсутствует в пределах всего профиля. Перекрестная датировка между рядами, полученными для северной и южной оконечности профиля, отсутствует. Поэтому объединять ряды по лиственнице по всему Уралу нельзя. Между ними имеются существенные различия в циклической структуре. Датировку и объединение древесно-кольцевых серий можно производить лишь в пределах Полярного, Приполярного и Северного Урала.

Ряды по ели. Оценки когерентности и фазового сдвига в пределах Уральского высокогорного профиля были получены на основе анализа рядов 5, 9, 15 и 19.

Как и у рядов по лиственнице, самые высокие связи были зафиксированы между рядами Полярного и Приполярного Урала (коэффициент корреляции 0,4, коэффициент синхронности 70%). Коэффициент когерентности достигает значений 0,4–0,7 на следующих циклических составляющих: 9,3–10,2; 5,3–5,9; 4,1–4,5 и 3,3–3,6 года. Сдвиг фаз на этих частотах практически отсутствует.

Связь между рядами по ели Полярного и Северного Урала слабая (коэффициент корреляции 0,14, коэффициент синхронности 60%). Коэффициент когерентности достигает невысоких значений (0,25–0,40) и лишь на следующих циклических составляющих: свыше 56 лет, 22,4–28,0; 7,0–8,0; 4,7–5,1 и 3,2–3,4 года. Между этими циклами наблюдаются фазовые сдвиги, особенно на мелких циклах. Перекрестная датировка между рядами по ели Полярного и Северного Урала затруднена.

Отсутствует связь при сопоставлении рядов по ели Полярного и Южного Урала (коэффициент корреляции 0,05, коэффициент синхронности 56%). Очень слабые связи и на отдельных циклах, за исключением двух частотных полос, а именно: 6,2–7,0 и 3,3–3,5 года, на которых коэффициент когерентности составляет соответственно 0,40 и 0,43. На этих циклах отсутствует и сдвиг фаз (см. рис. 2, в).

Довольно хорошие связи зафиксированы между рядами по ели При-

полярного и Северного Урала (коэффициент корреляции 0,43, коэффициент синхронности 68%). Прослеживается наиболее тесная связь на следующих циклических составляющих: 22,4–37,3; 8,6–10,2; 4,3–4,9; 3,3–3,5 года (коэффициент когерентности на этих частотах колеблется от 0,3 до 0,5). Сдвиг фаз на них отсутствует.

Корреляционные связи между рядами Приполярного и Южного Урала отсутствуют (коэффициент корреляции равен – 0,03, коэффициент синхронности – 52%). По кривой изменения коэффициента когерентности (см. рис. 2, в) можно судить о наличии некоторой связи на 16–18-летнем цикле (0,40). Оценка сдвига фаз недостоверна, так как связи слабые.

Связи между рядами по ели Северного и Южного Урала слабые (коэффициент корреляции 0,14, коэффициент синхронности 62%). На отдельных циклах (10,2–11,2; 4,1–4,3 года) коэффициент когерентности достигает значений 0,30–0,35.

Как видно из приведенных данных, связи между рядами по ели и отдельными циклическими составляющими значительно менее тесные, чем у рядов по лиственнице. Они более или менее выражены при сопоставлении рядов, полученных для соседних северных провинций Урала. В пределах всего профиля прослеживается связь лишь на циклах 4,1–4,5 и 3,3–3,6 года.

Анализ связи и синхронности как между дендрохронологическими рядами, так и между отдельными циклическими составляющими в зависимости от вида древесного растения, типа условий местообитания и района исследования позволяет сделать следующие заключения.

Наиболее тесную связь и синхронность показывают ряды по лиственнице. Это свидетельствует о том, что лиственница сибирская более отзывчива на изменение внешних, в частности климатических, факторов по сравнению с елью сибирской и сосной обыкновенной. Причинами этого, по-видимому, являются такие эколого-биологические особенности лиственницы, как светолюбие, листопадность, способность максимально использовать термические условия летнего периода для накопления стволовой древесины. Это подтверждается и таким фактом, что у рядов по ели зафиксировано запаздывание в проявлении экстремумов циклов по сравнению с рядами по лиственнице. В высокогорьях Урала лиственница является видом, наиболее пригодным при проведении дендроклиматологических исследований.

В северных провинциях (Полярный, Приполярный и Северный Урал) типы условий местообитания практически не оказывают влияния на структуру цикличности и тесноту связи между циклами у рядов, полученных по одному виду древесного растения. Вероятно, это связано с действием общего лимитирующего климатического фактора на рост деревьев в различных местообитаниях, в данном случае теплообеспеченности вегетационного периода. На Южном Урале такого четкого проявления действия общего лимитирующего фактора не наблюдается. Поэтому здесь теснота связи и синхронность между рядами и циклами гораздо более слабая.

Самые высокие показатели связи и синхронности между рядами и отдельными циклами получены для Полярного Урала. При движении

к югу эти показатели постепенно снижаются и наименьших значений достигают на Южном Урале.

Наиболее тесные связи установлены при сравнении рядов, полученных для соседних природных провинций, особенно между Полярным – Приполярным и Приполярным – Северным Уралом. Снижение связи между рядами и отдельными циклами по мере удаления районов исследований связано в первую очередь с изменением циклической структуры дендрохронологических рядов. По набору циклических составляющих, тесноте связи и синхронности между рядами и циклами изученную территорию можно разделить на два крупных района – северный, куда входят Полярный, Приполярный и Северный Урал, и южный, включающий лишь Южный Урал.

Поскольку природа циклов, выделенных в дендрохронологических рядах, в большинстве случаев неизвестна или имеются лишь некоторые предположения, то установить их реальность и климатическую значимость можно только на массовом материале. В связи с этим при анализе циклическости желательно иметь хотя бы несколько рядов, полученных по одному виду древесного растения в пределах однородного климатического района.

Литература

- Гренджер К., Хатанака М. Спектральный анализ временных рядов в экономике. – М.: Статистика, 1972. – 312 с.
- Дроздов С.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 158 с.
- Комин Г.Е. Циклическость в динамике прироста деревьев и древостоев сосны таежной зоны Западной Сибири. – Изв. СО АН СССР, 1970, № 15. Сер. биол. наук, вып. 3, с. 36–44.
- Полозова Л.Г., Шиятов С.Г. Влияние климатических факторов на радиальный прирост деревьев в высокогорных районах Урала. – Тр. ГГО, 1979, вып. 403, с. 114–128.
- Шиятов С.Г. Дендрохронологическое изучение ели сибирской в низовье реки Таза. – В кн.: Дендроклиматохронология и радиоуглерод. (Материалы II Всесоюз. совещ. по дендрохронологии и дендроклиматологии). Каунас: изд. Ин-та ботан. АН ЛитССР, 1972, с. 76–81.
- Шиятов С.Г. Пути устранения неоднородности дендрохронологических рядов. – В кн.: Продуктивность и рациональное использование растительности Урала. Свердловск, 1980, с. 90–100.