

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

---

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

**ТРУДЫ**

**ВЫПУСК 354**

**ОБЩАЯ И СИНОПТИЧЕСКАЯ  
КЛИМАТОЛОГИЯ**

**ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК**



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ  
ЛЕНИНГРАД • 1975

## **СТРУКТУРА КОЛЕБАНИЙ ИНДЕКСОВ ШИРИНЫ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ ВБЛИЗИ ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА**

В ходе изменения таких климатических элементов, как температура воздуха и осадки установлено наличие широкого спектра циклических колебаний продолжительностью от 2 до 100 и более лет [1, 3]. Имеются указания о существовании и более длительных (сверхвековых) колебаний [4]. Из-за кратковременности рядов метеорологических наблюдений невозможно статистически обосновать наличие полувековых и вековых циклов и установить длительность сверхвековых циклов в колебаниях элементов климата. Поэтому для выявления длительных колебаний климата большую ценность представляют дендроклиматологические ряды, отражающие колебания некоторых важных элементов климата (температура воздуха, осадки, сток и др.) в течение последних сотен и даже тысяч лет.

Наиболее надежными индикаторами климатических условий прошлого являются годовые кольца древесных растений, произрастающих в экстремальных условиях, т. е. на границах их экологического и климатического ареалов. Так, например, на полярной границе леса, где растения не испытывают дефицита влаги, изменчивость величины годичного прироста деревьев в основном зависит от термических условий текущего вегетационного периода [4, 5]. Учитывая то обстоятельство, что наиболее значительные колебания температуры воздуха в течение последних десятилетий происходили в высоких широтах Советского Союза [6], в том числе и в районах, где проходит полярная граница леса, можно предположить, что длительные климатические циклы должны быть обнаружены и в дендроклиматологических рядах.

Для проверки этого предположения нами был произведен анализ цикличности в колебаниях индексов ширины годовых колец деревьев, произрастающих вблизи полярной границы леса в бассейне реки Таз. Для анализа были взяты три длительные дендроклиматологические шкалы по лиственнице сибирской, ели

сибирской и кедру сибирскому. Эти шкалы были получены на основе изучения ширины годовичных колец у ныне живущих старых деревьев, а также у археологической древесины, извлеченной при раскопках города Мангазеи. Поскольку шкалы по ели и кедру опубликованы [7, 8], мы дадим лишь краткую характеристику шкалы по лиственнице. По археологической древесине была построена шкала протяженностью 816 лет (с 1103 по 1918 гг.), а по современной древесине — за 346 лет (с 1624 по 1969 гг.). Эти шкалы перекрестились между собой на 295 лет (с 1624 по 1918 гг.). Впоследствии они были сращены и в результате этой операции была получена обобщенная шкала по лиственнице протяженностью 867 лет (с 1103 по 1969 гг.). Представленность отдельных временных отрезков этой шкалы модельными деревьями приведена в табл. 1. Большая часть шкалы (69% ее протяженности) основана на значительном количестве моделей (от 11 до 79 шт.). Наименьшим количеством моделей (1—5 шт.) обеспечен самый древний отрезок шкалы. В частности, шкала с 1103 по 1225 г. получена на основе изучения изменчивости ширины годовичных колец лишь у одной модели. Для построения шкалы по лиственнице было использовано 31 156 годовичных колец.

Таблица 1

**Представленность различных временных отрезков шкалы по лиственнице модельными деревьями**

Количество моделей, шт.	Временные промежутки шкалы (годы)	Всего	
		лет	%
51—79	1480—1604, 1766—1969	329	38
26—50	1399—1479, 1605—1618, 1718—1765	143	16
16—25	1361—1398, 1619—1637, 1684—1717	91	11
11—15	1341—1360, 1670—1683	34	4
6—10	1325—1340, 1638—1669	48	6
3—5	1305—1324	20	2
2	1226—1304	79	9
1	1103—1225	123	14
1—79	1103—1969	867	100

Анализ цикличности в колебаниях индексов ширины годовичных колец производился методами скользящего осреднения [6, 9] и автокорреляционных функций [1, 2]. Ввиду меньшей надежности отрезков шкал, основанных на небольшом (1—5 шт.) количестве моделей, для анализа цикличности использовались отрезки шкал, полученные на основе осреднения индексов прироста по шести и более моделям. Таким образом, по лиственнице был использован ряд с 1310 по 1969 г., по ели — с 1370 по 1969 г., по кедру — с 1273 по 1969 г.

Первоначально анализ цикличности в колебаниях индексов ширины годовичных колец лиственницы, ели и кедра был проведен

по методике Г. Е. Комина [9], которая предусматривает использование в качестве фильтра среднюю скользящую. Изменяя период осреднения, временной ряд можно разложить на циклы различной длительности. Результаты такого разложения показаны на рис. 1. Верхние три кривые ( $L_1$ ,  $E_1$ ,  $K_1$ ) получены в результате сглаживания исходных рядов индексов прироста при помощи

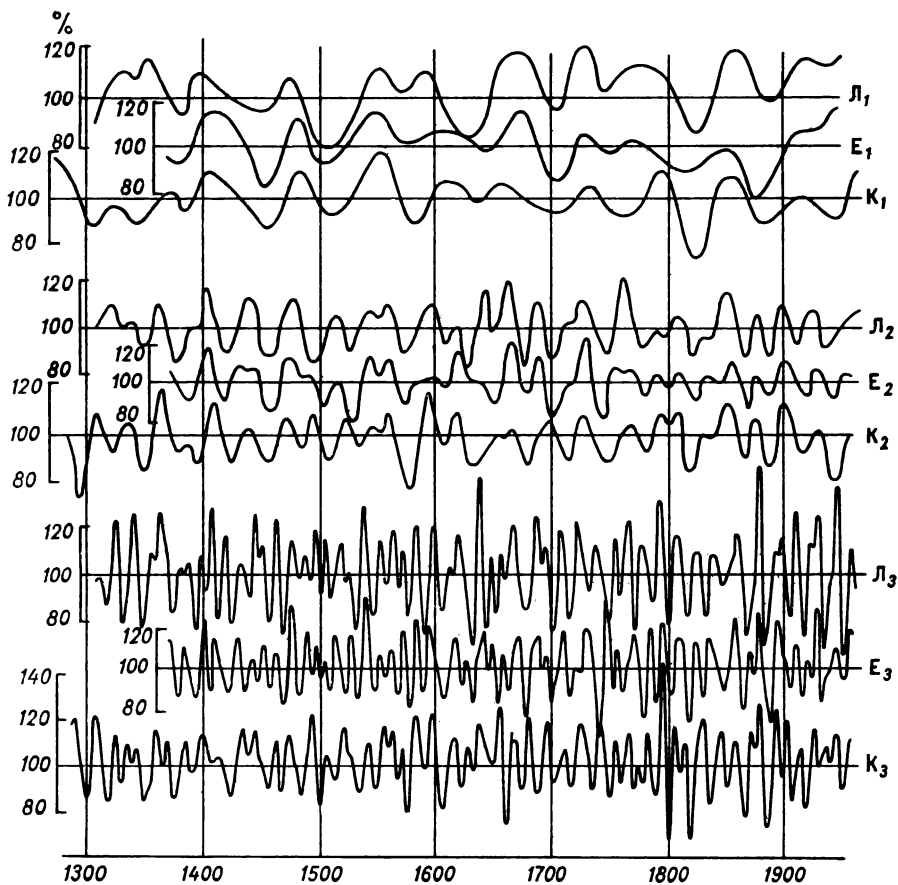


Рис. 1. Результаты разложения исходных рядов индексов ширины годичных колец лиственницы ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ), ели ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ) и кедра ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ).

30-летней средней скользящей с шагом в 10 лет. На этих кривых отчетливо выделяются циклы длительностью преимущественно от 50 до 70 лет, реже — порядка 40 и 80 лет. В ходе трех кривых в некоторые периоды наблюдается синхронность наступления экстремумов, но большей частью минимумы и особенно максимумы сдвигаются на 5—10 лет. Средняя амплитуда этих циклов колеблется от 15 до 20%. Кривые в средней части рис. 1 ( $L_2$ ,  $E_2$ ,  $K_2$ ) получены после исключения длинных циклов и сглаживания

нового ряда индексов прироста при помощи 15-летней средней скользящей с шагом в 5 лет. Экстремумы этих кривых также иногда совпадают, особенно в правой части. Однако в большинстве случаев наблюдается сдвиг фаз, а некоторые циклы имеют асинхронный ход. Кроме того, у ряда по ели появляется несколько дополнительных циклов, которые не проявились в лиственничном и кедровом рядах. Длина циклов, выделенных при помощи 15-летнего сглаживания, колеблется от 16 до 39 лет. Наиболее часто встречаются циклы длиной 18—20, 22—26 и 28—35 лет. Амплитуда этих циклов в среднем составляет 14—19%. Нижние три кривые ( $L_3$ ,  $E_3$ ,  $K_3$ ) получены в результате 5-летнего сглаживания с шагом в один год. Здесь также можно обнаружить как синхронные, так и асинхронные циклы. Высокие максимумы и глубокие минимумы обычно совпадают у всех трех рядов. Анализ распределения количества циклов по их длине показал, что наиболее часто встречаются циклы протяженностью 8—10 и 14—16 лет. Эти циклы имеют большую амплитуду (в среднем 27—32%). В дальнейшем при помощи 3-летнего сглаживания с усилением были выявлены самые короткие из имеющихся циклов (4—5-летний со средней амплитудой 17—22% и 2—3-летний со средней амплитудой 20—30%). На рис. 1 эти циклы не приведены из-за мелкого масштаба графика.

Таким образом, изменяя период осреднения и последовательно исключая из исходных рядов индексов прироста самые длинные из имеющихся циклов, получили весьма широкий спектр циклических колебаний продолжительностью от 2 до 80 лет. Наиболее частую повторяемость имеют 2—3-, 4—5-, 8—10-, 14—16-, 18—20-, 20—26-, 28—35-, 39—42-, 50—70- и примерно 80-летний циклы.

Сопоставление сглаженных кривых, полученных по лиственничному, еловому и кедровому рядам (см. рис. 1), показывает, что синхронность снижается при рассмотрении все более коротких циклов. У самых крупных циклов (кривые  $L_1$ ,  $E_1$  и  $K_1$ ) наблюдаются лишь сдвиги экстремумов. У кривых  $L_2$ ,  $E_2$  и  $K_2$  имеются уже асинхронные циклы, а также дополнительные, не проявившиеся в других рядах. Количество асинхронных и дополнительных циклов увеличивается при рассмотрении кривых  $L_3$ ,  $E_3$  и  $K_3$ . Напрашивается вывод, что отдельные виды древесных растений, обладая различными эколого-биологическими свойствами, трансформируют короткие климатические циклы в большей степени, чем длинные. Возможно, что возникновение некоторых коротких циклов обусловлено внутренними ритмами жизнедеятельности деревьев, например, периодичностью плодоношения. Этот вопрос нуждается в дополнительной разработке.

Чтобы выявить сверхвековые циклы, исходные ряды индексов ширины годичных колец были сглажены при помощи 35-, 50- и 80-летнего скользящего осреднения. У ряда по лиственнице выявлены глубокие минимумы в первой четверти XVI, XVII и XIX вв., а последовательность циклов такова: около 200 лет (примерно  $3/4$  цикла), 100 лет, 200 лет и текущий цикл, по-видимому,

также 200-летний, начавшийся в первой четверти XIX в. Очередная фаза минимума текущего цикла должна проявиться в первой четверти XXI в. Обертоны 200-летнего цикла (80—100 лет) проявляются на его фоне, и только один цикл (XVI в.) выделяется как самостоятельный. У ряда по ели выделяется два сверхвековых цикла протяженностью 190 и 170 лет и примерно половина третьего цикла, начавшегося с глубокого минимума во второй половине XIX в. и находящегося в настоящее время в фазе максимума. Синхронности в проявлении сверхвековых циклов в еловом и лиственничном рядах не наблюдается. Что касается ряда по кедру, то в нем хорошо выделяются только внутривековые циклы. Возможно, что причинами снижения синхронности в ходе проявления сверхвековых циклов являются несовершенство методики расчета индексов прироста и включение в обработку модельных деревьев, содержащих небольшое количество годичных колец (60—120 шт.).

Результаты анализа цикличности дендроклиматологических рядов при помощи скользящего осреднения дают возможность проследить хронологическую последовательность проявления циклов различной длины. Однако, как видно из рис. 1, выделяемые таким методом циклы имеют различную степень значимости по частоте проявления и амплитуде и, следовательно, далеко не все должны учитываться при анализе. Выделение из общей массы циклов наиболее значимых производилось при помощи автокорреляционной функции и ее интеграла.

В работах [1, 2, 3] показано, что для автокорреляционного анализа нецелесообразно брать слишком длительные отрезки рядов в связи с изменением спектра циклов в различные временные периоды. Поэтому дендроклиматологические ряды были расчленены на последовательные 60-летия, для которых и рассчитывались автокорреляционные функции и их интеграл. Для того чтобы не пропустить циклы в местах членения отрезков ряда, он разбивался еще раз со сдвигом примерно на полпериода. Результаты расчета длительности, амплитуды и уровня неслучайности найденных циклов приведены в табл. 2.

Как уже было видно из рис. 1, колебания индексов ширины годичных колец не всегда синхронны у разных видов древесных растений. Это нашло отражение и в результатах автокорреляционного анализа. Наблюдается различие в длительности и амплитуде циклов у лиственничного, елового и кедрового рядов в отдельные периоды. Однако, у всех трех рядов преобладает внутривековой (брикнеровский) цикл длительностью от 30 до 50 лет. Особенно четко проявляется этот цикл у ряда по кедру. Вековой цикл (70—80 и более лет) выделен только у лиственничного ряда в течение двух периодов. После разбивки дендроклиматологических рядов на два периода по 300 лет автокорреляционный анализ показал следующее.

В период 1370—1669 гг. в лиственничном ряду выделен примерно 100-летний цикл, в еловом ряду — 60—65-летний.

Характеристики циклических колебаний индексов ширины годовых колец  
лиственницы (1), ели (2) и кедра (3), определенные автокорреляцией  
по 60-летним периодам

Период, годы	Длительность основных циклов (лет)			Амплитуда цикла (% по коррелограмме)			Вероятность случайного появления цикла (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1969—1910	18—20	—	50—55	25	—	35	0,05	—	0,001
1909—1850	18—20	18—20	20—22	25	15	30	0,1	0,3	0,3
1849—1790	50—60	15—20	50—55	20	15	30	0,15	—	0,001
			8—9			10			0,1
1789—1730	38—40	18—20	24—26	15	20	15	0,05	0,25	0,9
			3—4			10			0,1
1729—1670	35—40	55—60	30—40	25	20	30	0,01	0,01	0,001
1669—1610	70—80	40—45	30—40	30	15	15	0,001	4,5	1,0
			9—10			15			0,01
1609—1550	38—45	—	35—40	20	10	55	0,01	—	0,001
1549—1490	70—80	22—24	35—40	10	15	30	4,5	0,3	0,001
	15—18			10			4,5		
1489—1430	38—40	44—45	35—40	20	40	40	0,20	0,001	0,001
			5—6			15			0,01
1429—1370	45—48	44—45	40—42	45	30	35	0,001	0,001	0,001
1369—1310	16—20	35—38	30—32	15	20	45	0,05	1,2	0,001
1309—1245	—	—	35—40	—	—	50	—	—	0,001

Амплитуда этих циклов не превышает 10%. Автокорреляционный анализ ряда по кедру, как и при скользящем осреднении, не показал наличия вековых и сверхвековых циклов.

Как видно из табл. 2, длительность основных циклов изменяется в довольно широком диапазоне. Однако в этих вариациях иногда прослеживается определенная закономерность. Например, у ряда по лиственнице в большинстве случаев длительность циклов кратна наименьшей из приведенных в табл. 2 (15—20 лет) и выражается отношением 1 : 2 : 3 : 4. У рядов по ели и кедру эта закономерность выражена не столь четко.

Таким образом, исследование структуры колебаний дендроклиматологических рядов за последние 650—725 лет, полученных для районов Крайнего Севера, позволило выявить такие циклы в колебаниях индексов ширины годовых колец, какие наиболее часто встречаются в колебаниях элементов климата, в частности, в средней месячной температуре воздуха за последние 80—100 лет [1, 3]. Однако имеются и существенные различия. Если в дендроклиматологических рядах преобладают полувековые циклы, то в климатологических рядах — вековые. Что касается сверхвековых циклов, то обнаруженный методом скользящего осреднения 190—200-летний цикл у рядов по лиственнице и ели не проявился на автокоррелограмме в связи с незначительной его амплитудой (менее 10%). На основе анализа цикличности дендроклиматоло-

гических рядов за последние семь столетий можно высказать предположение, что современное потепление климата в высоких широтах, считающееся исключительным явлением в климатологии, по-видимому, представляет собой повторявшееся неоднократно в доинструментальный период событие.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1971. 158 с.
2. Дроздов О. А., Малкова И. В. К вопросу об использовании автокорреляционных функций для анализа очень длинных дендрохронологических рядов.— В сб.: «Дендроклиматохронология и радиоуглерод» (Материалы второго Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии), Каунас, 1972, с. 165—168.
3. Полозова Л. Г. Анализ цикличности колебаний средней месячной температуры воздуха в северном полушарии.— Труды ГГО, 1970, вып. 269, с. 36—73.
4. Erlandsson S. Dendro-chronological studies.— Stokholms Högskolas Geokronol. Inst., Data 23, Uppsala, 1936. 119 pp.
5. Mikola P. Temperature and tree growth near the northern timber line. In: "Tree growth" (ed. T. T. Kozłowski), The Ronald Press Company, New York, 1962, pp. 265—274.
6. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Л., Гидрометеиздат, 1966. 268 с.
7. Шнятов С. Г. Дендрохронологическое изучение ели сибирской в низовье реки Таз.— В сб.: «Дендроклиматохронология и радиоуглерод» (Материалы второго Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии), Каунас, 1972, с. 76—81.
8. Шнятов С. Г. Дендрохронологическая шкала кедр сибирского на северной границе его произрастания в долине р. Таз.— «Лесоведение», 1973, № 4, с. 40—45.
9. Комин Г. Е. Цикличность в динамике прироста деревьев и древостоев сосны таежной зоны Западной Сибири.— Изв. Сиб. отд. АН СССР, сер. биол., № 15, вып. 3, 1970, с. 36—44.