

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

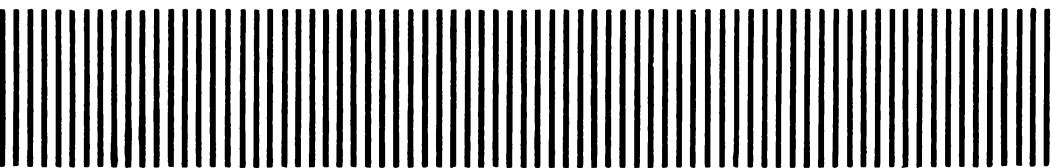
ЭКОЛОГИЯ

6

Ноябрь — декабрь

1979

Издательство «Наука»



УДК 58.056+581.143.31

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ИНДЕКСОВ ПРИРОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В ТАЗОВСКОЙ ЛЕСОТУНДРЕ И ИХ ПРОГНОЗ

Б. Л. Берри, А. А. Либерман, С. Г. Шиятов

По ранее предложенной методике (Берри и др., 1976) выделены детерминированная (тренд, периодические функции) и случайная компоненты у 867-летнего дендрохронологического ряда, который отражает в основном термические условия летнего периода. Путем суммирования 12 наиболее представительных гармоник и тренда получена хорошая аппроксимация с фактическим рядом, сглаженным при помощи 11-летней средней скользящей. Это позволило сделать прогноз колебаний индексов прироста лиственницы сибирской до 2200 г. без учета изменений климата, которые могут быть вызваны антропогенными воздействиями.

Анализ периодических колебаний временных рядов часто сдерживается их недостаточной длительностью. В последнее время одним из авторов получен дендрохронологический ряд по лиственнице сибирской (*Larix sibirica*) для низовой р. Таза (Западная Сибирь) за 867 лет (с 1103 по 1968 гг.). Ряд содержит не только короткие, но и длинные (вековые и сверхвековые) циклы, поскольку для его построения использовались лишь старые (235—537-летние) модельные деревья, а индексы прироста рассчитывались методом коридоров (Шиятов, 1975).

У этого дендрохронологического ряда по предложенной ранее методике (Берри и др., 1976) были выделены детерминированная (тренд, периодические функции) и случайная компоненты. Детерминированная часть ряда представлялась сложнопериодической функцией с линейным трендом:

$$Y_{(t)} = a + bt + \sum_{j=1}^n A_j \cos \left(\frac{2\pi t}{T_j} - \varphi_j \right), \quad (1)$$

где $a + bt$ — линейная часть уравнения; A_j , T_j , φ_j — амплитуда, период и фаза j -й косинусоиды.

Отличие указанного метода от других способов выделения скрытой периодичности заключается в самом алгоритме, примененном для поиска амплитуд и периодов гармонических составляющих выражения (1). Обычно в методах спектрального анализа конечной целью является лучшая аппроксимация исходного ряда суммой синусоид или косинусоид, период которых меняется по определенному закону. При этом случайные составляющие ряда аппроксимируются так же хорошо, как и его детерминированная часть, а выделенная периодичность не всегда соответствует реальной периодичности процесса. При разработке предлагаемого метода точность аппроксимации временного ряда не являлась основным критерием, так как реальные процессы могут содержать разные доли закономерного и случайного.

Предполагается, что колебания имеют во времени некоторый разброс по величинам амплитуд и периодов от некоторого среднего значения A_j и T_j . Поиск этих средних значений проводится при аппроксимации ряда одиночными гармониками, кратными шагу временного ряда.

Здесь критерием выбора величин A_j и T_j служит минимальное среднее квадратичное отклонение от исследуемого массива данной косинусоиды по сравнению с близкими по периоду косинусоидами, т. е. из множества близких периодов выбирается один, который больше всех соответствует исследуемому ряду. Таким образом выделяются несколько реальных гармоник, наиболее представительных для всей имеющейся длины временного процесса, а с их помощью затем проводятся аппроксимация и прогноз значений ряда. Ошибка такой аппроксимации фактически отражает действие случайных факторов, которые не могут быть представлены в детерминированной части ряда. Эта величина содержит дополнительную информацию о структуре ряда.

Расчетное начало координат относилось к середине ряда, т. е. к 1536 г. Расстояние в годах от середины ряда по направлению временной оси до первого максимума периода T_j определялось по формуле

$$\Delta T_j = \frac{\varphi_j}{2\pi} T_j. \quad (2)$$

Коэффициенты функции определялись в два этапа: сначала была выделена линейная часть (для изученного ряда $a=99,5$; $b=0,0015$), затем остаток ряда аппроксимировался независимо различными периодами, кратными шагу массива (1 год), до значений периода, соизмеримых с длиной ряда.

Представительность периода оценивалась по комплексному безразмерному параметру P_j , включающему количество обнаруженных периодов $\frac{S}{T_j} - 0,5$ (S — длительность ряда, T_j — длительность периода; считается, что обнаружение периода возможно при $S > 0,5T_j$), относительную амплитуду A_j/a (A_j — амплитуда периода, a — среднее значение индексов прироста ряда), достоверность выделения амплитуды A_j/ϵ ($\epsilon=28,2$ — средняя квадратичная ошибка аппроксимации исследуемого ряда):

$$P_j = \left(\frac{S}{T_j} - 0,5 \right) \cdot \frac{A_j}{a} \cdot \frac{A_j}{\epsilon}. \quad (3)$$

По формуле (3) можно сопоставлять достоверность гармоник разной амплитуды и длины периода, выделенных из рядов разной протяженности. Длительные периоды могут быть соизмеримы с длиной исследуемого ряда; хотя они часто представительны по амплитуде, по количеству повторений их представительность мала. Из-за этого не всегда точно может быть определена и длительность периодов.

Для объединения представительности, амплитуды и числа повторений периодов была использована простая геометрическая закономерность пилообразных колебаний (рис. 1), из которой следует, что один период с двойной амплитудой может быть разложен на два периода с единичной амплитудой. Поэтому представительности гармоник по амплитуде и числу повторений при определении общей представительности периода выступают как сомножители. Амплитуды нормированы величинами среднего значения индексов прироста a и ошибкой аппроксимации ϵ .

Если ошибка аппроксимации стремится к нулю, то представительность всех периодов стремится к бесконечности. Представительность гармоник возрастает с увеличением амплитуд и длительности исследуемого ряда и уменьшается при снижении этих величин.

В таблице приведены характеристики 12 наиболее представительных гармоник дендрохронологического ряда, полученных в соответст-

вни с формулой (1). Длительность большинства из них соответствует или близка длительности циклов, выделенных разными авторами в природных процессах. Отсутствие короткопериодных составляющих связано с тем, что программа в настоящее время позволяет проводить аппроксимацию одновременно только двенадцатью гармониками. Короткопериодные циклы имеют небольшую амплитуду и малую достоверность ее выделения. Для прогноза и аппроксимации были выбраны наиболее представительные по амплитуде циклы, так как они в основном определяют фоновые значения прироста деревьев.

В фактическом ряду по лиственнице вклад случайных факторов образует величину индекса прироста 28,2% — это минимальная средняя

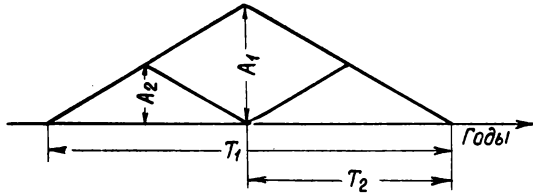


Рис. 1. Взаимосвязь амплитуд и периодов пилообразных колебаний (A , T — амплитуда и период колебаний, $T_1 = 2T_2$, $A_1 = 2A_2$).

квадратичная погрешность приближения ряда, полученная с учетом погодичных данных. Суммарный вклад случайных факторов почти втрое превышает максимальные амплитуды выделенных гармоник. По отношению к значению среднего индекса ряда вклад случайных факто-

Наиболее представительные гармоники в колебаниях индексов прироста лиственницы сибирской

T_j , лет	Φ_j , рад	A_j , %	$\frac{S}{T_j} - 0,5$, шт.	Амплитуда относительная		P_j
				к среднему значению ряда A_j/a	к ошибке аппроксимации ряда A_j/ϵ	
12	1,74	4,16	71,9	0,04	0,147	0,422
20	2,20	5,40	43,0	0,05	0,191	0,410
37	1,96	6,70	22,9	0,07	0,238	0,382
110	1,06	11,1	7,4	0,11	0,394	0,320
62	2,36	8,00	13,5	0,08	0,284	0,306
24	1,35	4,80	35,7	0,05	0,170	0,303
41	2,24	6,50	20,6	0,06	0,230	0,285
92	5,65	8,60	9,0	0,09	0,305	0,245
76	3,91	7,20	10,9	0,07	0,255	0,195
170	1,42	10,4	4,6	0,10	0,370	0,171
50	2,18	4,20	16,9	0,04	0,150	0,101
350	2,46	7,50	2,0	0,08	0,266	0,042

ров представлен той же величиной 28,2%, так как среднее значение близко к 100 (99,5), т. е. в данном случае среднее квадратичное отклонение совпадает с величиной отклонения от среднего прироста. Основной вклад случайной составляющей связан с короткопериодными колебаниями длительностью 2—4 года.

Сглаживание фактического дендрохронологического ряда при помощи 11-летней средней скользящей уменьшило среднюю квадратичную ошибку аппроксимации более чем в два раза (12,9%). Как видно из рис. 2, наблюдается хорошее соответствие сглаженного фактического ряда с рядом, полученным путем суммирования 12 наиболее представи-

тельных гармоник, указанных в таблице, и тренда. Это дает нам возможность прогнозировать долговременные колебания прироста лиственницы и термических условий летнего периода в данном районе. Следует лишь отметить, что прогноз не учитывает изменений климата, которые могут быть вызваны деятельностью человека.

Поскольку ряды индексов прироста лиственницы в данном районе отражаят в основном термические условия летнего периода (Полозова, Шиятов, 1975), то похолодание климата на севере Западной Сибири ожидается в конце XX—начале XXI, второй половине XXI и в течение

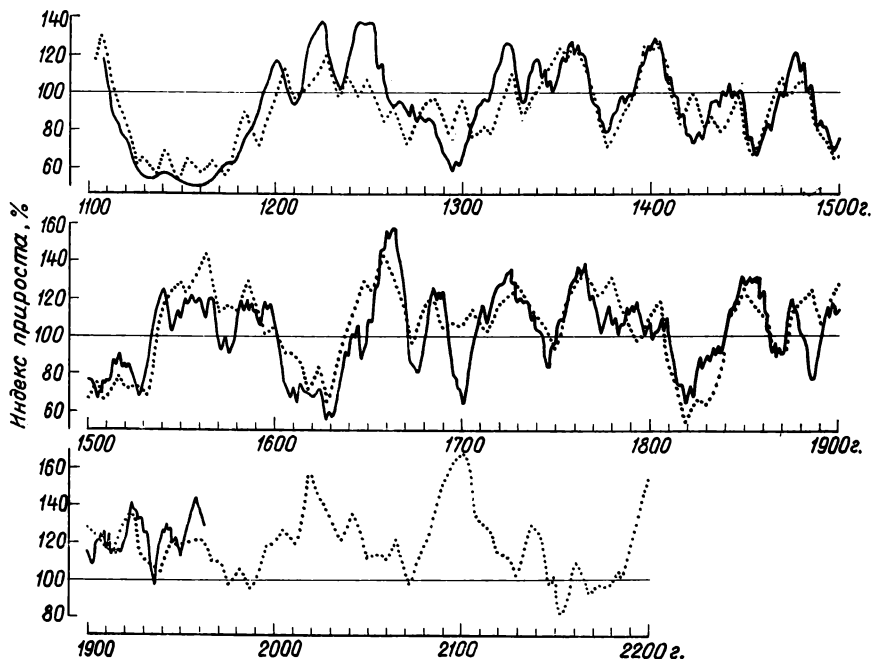


Рис. 2. Колебания индексов прироста лиственницы сибирской, сглаженных при помощи 11-летней средней скользящей (—) и значения аппроксимирующей функции $Y(t)$ по двенадцати наиболее представительным гармоникам и тренду (.....).

почти всего XXII столетий, а потепление климата — в первой половине XXI, на рубеже XXI—XXII, в конце XXII столетий (см. рис. 2). Необходимо при этом учитывать то обстоятельство, что линейная часть уравнения $(a + bt)$, возможно, представляет собой восходящую фазу очень длительного периода, характеристики которого не могут быть установлены у изученного ряда. Поэтому в пределах прогнозируемого отрезка ряда (1969—2200 гг.) значения индексов прироста могут оказаться несколько завышенными.

Полученный прогноз в общих чертах совпадает с результатами других исследователей. Так, например, по данным Б. И. Сазонова (Дружинин и др., 1974), снижение солнечной активности ожидается в следующие периоды: 1980—1990, 2070—2080, 2160—2190 гг. Как раз в эти отрезки времени прогнозируется наиболее сильное снижение прироста лиственницы (см. рис. 2). Согласно расчетам И. В. Максимова (1970), в результате изменения солнечной активности ледовитость северных морей в настоящее время увеличивается и в 1982—1992 гг. достигнет уровня конца прошлого столетия. Довольно хорошее совпадение сверх-

долгосрочных прогнозов, полученных несколькими авторами на разном фактическом материале, увеличивает их надежность.

Московский госуниверситет
имени М. В. Ломоносова
Институт экологии растений и животных
УНЦ АН СССР

Поступила в редакцию
14 февраля 1979 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Берри Б. Л., Либерман А. А., Лукьянова Л. М., Турманина В. И. Колебания климата Хибин, Карпат, Кавказа, Забайкалья. — В сб. Ритмика природных явлений. Тезисы докл. к III совещ. (Ленинград, 30 ноября 1976 г.). Л., Географич. о-во СССР, 1976, с. 98—101.
- Дружинин И. П., Сазонов Б. И., Ягодинский В. Н. Космос — Земля. Прогнозы. М., «Мысль», 1974, 286 с.
- Максимов И. В. Геофизические силы и воды океана. Л., Гидрометеиздат, 1970, 447 с.
- Полозова Л. Г., Шиятов С. Г. Влияние термического режима на радиальный прирост деревьев в различных условиях их местообитания. — Экология, 1975, № 6, с. 30—35.
- Шиятов С. Г. Сверхвековой цикл в колебаниях индексов прироста лиственницы (*Larix sibirica*) на полярной границе леса. — В сб. Биоэкологические основы дендрохронологии. Материалы к симпозиуму 12-го международного ботанического конгресса (Ленинград, июль 1975 г.). Вильнюс — Л., 1975, с. 47—53.
-