

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

*Журнал выходит 6 раз в год  
Год издания четвертый*

# ***ЭКОЛОГИЯ***

№ 4



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»**

1973

УДК 634.0.561.24

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СХОДСТВА МЕЖДУ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМИ РЯДАМИ

*Г. Е. Комин, Ю. А. Пьянков, С. Г. Шиятов*

Рассматриваются существующие методы определения сходства дендрохронологических рядов. Предложен новый метод, основанный на использовании среднего значения косинусов углов, образованных векторами, каждый из которых отвечает изменению индексов ширины годичных колец между соседними годами.

При датировке годичных колец деревьев, при отборе моделей для дендроклиматологического анализа, при сопоставлении древесно-кольцевых рядов и при установлении зависимости между факторами внешней среды и ростом деревьев часто возникает необходимость иметь сведения о сходстве (связи) между сравниваемыми временными рядами.

Относительная и абсолютная датировка чаще всего производится визуально при помощи сопоставления рисунков колец непосредственно на срезах или на графиках («скелетных», простых или полулוגарифмических) (Douglass, 1919; Glock, 1937; Колчин, 1962). В основу этого метода положено распознавание характерных (в основном наиболее узких) колец и определение последовательности в чередовании узких и широких колец. Он широко используется благодаря простоте и небольшой трудоемкости, но дает только качественную оценку сходства временных рядов. Наиболее перспективно применение визуального метода в том случае, когда проявляется действие лимитирующего фактора.

В районах, благоприятных для роста деревьев, датировать образцы по характерным кольцам трудно, а часто и невозможно. В связи с этим при определении степени сходства кривых используют методы, основанные на учете характера колебаний размеров всех годичных колец. При сопоставлении временных рядов подсчитывают количество отклонений одинакового и противоположного знака для прироста за смежные годы (Hansen, 1941).

Б. Хубером (Huber, 1943) был разработан специальный вычислительный метод синхронизации кривых при помощи учета количества расхождений (несовпадений). Для оценки синхронности кривых он предложил вычислять коэффициент асинхронности (Gegenlaufigkeitswert), который показывает, какой процент отрезков кривой в пределах сравниваемого интервала обнаруживает противоположный ход. Сейчас чаще используют обратную величину — коэффициент синхронности — Gleichlaufigkeitswert — (Рудаков, 1952; Битвинскас, 1965; Liese, 1970). Недостатком метода синхронизации является то, что он не учитывает размахов колебаний в изменении величин прироста.

В последнее время при определении сходства кривых и датировке годичных колец начинают использовать более сложные и трудоемкие методы, требующие применения ЭВМ. Например, при датировке коротких рядов прироста деревьев производилось вычисление коэффициента корреляции для каждого возможного сочетания между образцами известного и неизвестного возрастов (Howland, Sharrock, Raskin, 1964).

При установлении тесноты связи между приростом деревьев и ходом факторов внешней среды широко используют коэффициент корре-

ляции (Glock, 1941, 1955; Schulman, 1945, 1951; Dobbs, 1951; Fritts, 1963). Однако он не всегда правильно отражает фактическую связь между временными рядами, в частности не учитывает степень синхронности сопоставляемых рядов. При высокой синхронности могут быть получены низкие значения коэффициента корреляции, если долговременные тенденции в изменении прироста будут иметь противоположный ход (Рудаков, 1952, 1971).

Предложенный Г. Е. Колиным (1970) коэффициент подобия, который является произведением коэффициента синхронности на коэффициент корреляции, хотя и лучше отражает степень сходства между временными рядами, но имеет те же недостатки, что и исходные коэффициенты.

Для установления тесноты связи между длительными временными рядами В. Глок (Glock, 1942) предложил вычислять коэффициент тенденции  $t$ , учитывающий размеры синхронных изменений

$$t = \frac{\sum AB}{\sum |A| \cdot |B|},$$

где  $A$  — разница в величине прироста (климатического элемента) между соседними годами в одном ряду;  $B$  — то же в другом ряду. Если  $t=0$ , связи между кривыми нет; если  $t=+1,0$ , направления изменений отрезков кривых совпадают; если  $t=-1,0$ , направления изменений отрезков кривых противоположны. Недостатком  $t$  является то, что различные по величине и одинаково направленные приращения могут давать значительно большее произведение, чем незначительные, но равные приращения. Кроме этого, метод исключает из рассмотрения случаи, когда приращения в одном или обоих рядах равны нулю.

Американские исследователи также широко используют показатели оценки рядов прироста деревьев, например, коэффициент чувствительности, стандартное отклонение, характер распределения значения индексов и др. (Фритс, 1968). Хотя эти показатели непосредственно не отражают степени сходства кривых, однако они весьма полезны при отборе моделей, собранных в одном районе и перекрестно датированных друг с другом.

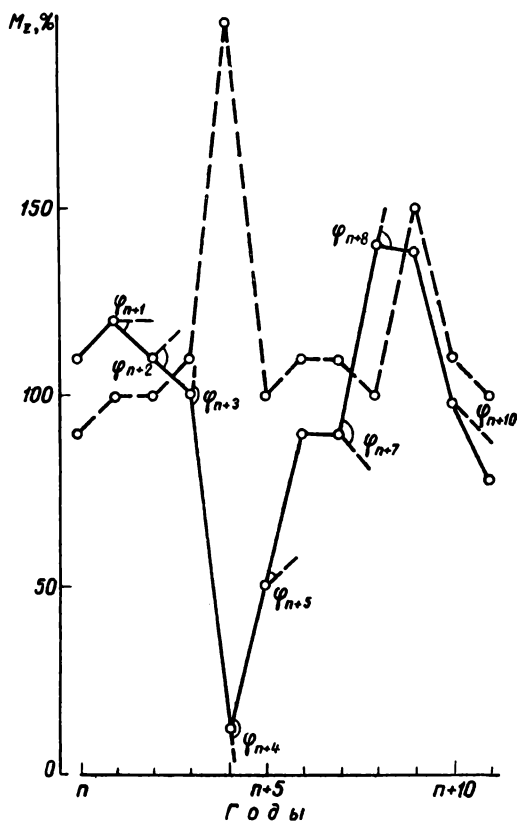
Поиски новых, более надежных методов, которые позволяли бы судить о действительном сходстве длительных временных рядов, продолжаются и в настоящее время. Мы предлагаем для оценки сходства временных рядов использовать среднее значение косинусов углов, образованных векторами, каждый из которых отвечает изменению индексов ширины годичных колец между двумя соседними годами. Формула для вычисления коэффициента сходства такова:

$$S = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} \cos \varphi_n, \quad (1)$$

где  $N$  — продолжительность сравниваемых рядов.

Теоретически значения  $S$  могут колебаться в пределах от  $-1$  до  $+1$ . Ряды, совпадающие по направлению и величине индексов, будут иметь значение  $S$ , равное  $+1$ . Если значения  $S$  отрицательные и близки к  $-1$ , то у сравниваемых кривых индексы имеют противоположный ход. При определении  $S$  необходимо учитывать соотношение масштабов, которые приняты для шкалы времени и шкалы значений индексов прироста. Применительно к дендрохронологическим рядам масштаб расстояния между соседними годами желательнее принимать равным единице.

На рисунке приведен пример построения углов между векторами изменения индексов ширины годичных колец двух рядов (A и B), для которых рассчитаны коэффициенты сходства. Для удобства графического изображения масштаб расстояния между соседними годами принят равным 10. Векторы, показывающие изменения величины индексов



Графики изменения индексов ширины годичных колец двух рядов A (-----) и B (—) и образуемые ими углы.

ширины колец между соседними годами, образуют между собой определенные углы от  $\varphi_n$  до  $\varphi_{n+10}$ . Эти углы и их косинусы имеют следующие значения:

$\varphi_n = 0^\circ;$	$\cos 0^\circ = 1,00$
$\varphi_{n+1} = 45^\circ;$	$\cos 45^\circ = 0,71$
$\varphi_{n+2} = 90^\circ;$	$\cos 90^\circ = 0,00$
$\varphi_{n+3} = 168^\circ;$	$\cos 168^\circ = -0,98$
$\varphi_{n+4} = 161^\circ;$	$\cos 161^\circ = -0,95$
$\varphi_{n+5} = 50^\circ;$	$\cos 50^\circ = 0,64$
$\varphi_{n+6} = 0^\circ;$	$\cos 0^\circ = 1,00$
$\varphi_{n+7} = 123^\circ;$	$\cos 123^\circ = -0,54$
$\varphi_{n+8} = 90^\circ;$	$\cos 90^\circ = 0,00$
$\varphi_{n+9} = 0^\circ;$	$\cos 0^\circ = 1,00$
$\varphi_{n+10} = 22^\circ;$	$\cos 22^\circ = 0,93$

$$\sum_n^{n+10} \cos \varphi_n = 2,81$$

Чтобы получить среднее значение коэффициента сходства между рядами, приведенными на рисунке, необходимо алгебраическую сумму значений косинусов углов (2,81) разделить на общее количество углов (11). Коэффициент сходства между этими рядами получится равным 0,26.

Для составления программы вычисления коэффициента сходства на ЦЭВМ «Проминь-2» формула (1) была преобразована следующим образом. Известно, что скалярное произведение двух векторов равно произведению длин (модулей) этих векторов на косинус угла между ними

$$\bar{A} \bar{B} = AB \cos \varphi. \quad (2)$$

Из (2) следует, что

$$\cos \varphi = \frac{\bar{A} \bar{B}}{AB}. \quad (3)$$

Принимая значения  $\bar{A} = (C, A_{n+1} - A_n)$  и  $\bar{B} = (C, B_{n+1} - B_n)$ , а  $A = \sqrt{C^2 + (A_{n+1} - A_n)^2}$  и  $B = \sqrt{C^2 + (B_{n+1} - B_n)^2}$  и подставляя эти значения в (3), получаем

$$\cos \varphi = \frac{C^2 + (A_{n+1} - A_n)(B_{n+1} - B_n)}{\sqrt{C^2 + (A_{n+1} - A_n)^2} \sqrt{C^2 + (B_{n+1} - B_n)^2}}, \quad (4)$$

где  $C$  — масштаб расстояния между соседними годами относительно индексов ширины годичных колец.

Получаем формулу для вычисления коэффициента сходства в развернутом виде

$$S = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{C^2 + (A_{n+1} - A_n)(B_{n+1} - B_n)}{\sqrt{C^2 + (A_{n+1} - A_n)^2} \sqrt{C^2 + (B_{n+1} - B_n)^2}}. \quad (5)$$

Программа составлена на основе уравнения (5) и позволяет производить вычисление коэффициента сходства между рядами любой продолжительности; алгебраическая сумма косинусов углов накапливается частями, по 70 значений.

Для проверки предложенного метода определения сходства было взято 6 рядов индексов прироста деревьев, полученных для лиственницы и ели в низовье р. Таза. Краткая характеристика этих рядов приведена в табл. 1. Вычисленные между рядами коэффициенты сходства приведены в табл. 2. Масштаб расстояния между соседними годами был принят равным 1.

Таблица 1

Тип условий местообитания	Лиственница		Ель	
	№ ряда	Колич. моделей	№ ряда	Колич. моделей
Обильно и проточно увлажненные . . . . .	1	29	4	21
Свежие . . . . .	2	22	5	15
Сухие . . . . .	3	22	6	22
Сухие . . . . .	3а	11	—	—
Сухие . . . . .	3б	11	—	—

Данные табл. 2 показывают наличие высокой степени сходства между рядами одной древесной породы, причем коэффициент сходства между рядами у лиственницы выше, чем у ели. Для оценки сходства

Таблица 2

№ ряда	1	2	3	4	5
2	0,765	—	—	—	—
3	0,747	0,777	—	—	—
4	0,392	0,551	0,515	—	—
5	0,394	0,372	0,450	0,636	—
6	0,414	0,385	0,569	0,665	0,718

в пределах однородной группы модельных деревьев третий ряд был разбит на две равные части (по 11 моделей в каждой). Как и следовало ожидать, при сопоставлении рядов 3а и 3б (см. табл. 1) получена максимальная величина коэффициента сходства (0,814).

Предлагаемый метод определения сходства временных рядов может быть использован при различного рода дендрохронологических и дендроклиматологических исследованиях. С помощью коэффициента сходства можно производить относительную и абсолютную датировку колец у древесины неизвестного возраста, осуществлять отбор модельных деревьев, сходно реагировавших на изменения внешних условий, и исключать модели, которые имеют резко выраженные индивидуальные особенности в характере роста; определять степень сходства между рядами годовичных колец, полученными как в пределах одного района, так и в пределах районов, удаленных друг от друга. Кроме того, этим методом можно устанавливать тесноту связи между внешними факторами среды и показателями годовичного прироста древесных растений.

Институт экологии растений и животных  
УНЦ АН СССР

Поступила в редакцию  
6 июля 1972 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Битвинская Т. Т. К вопросу о применении дендроклиматических методов в лесном хозяйстве. Докл. ТСХА, вып. 115, 1965.
- Колчин Б. А. Дендрохронология Новгорода. Сов. археология, 1962, № 1.
- Комин Г. Е. Оценка прироста древостоев по модельным деревьям для дендроклиматологического анализа. Тр. Института экологии растений и животных УФАИ СССР, вып. 77, 1970.
- Рудаков В. Е. К вопросу о мере силы связи приближенных закономерных зависимостей. Изв. Молд. филиала АН СССР, № 4—5 (7—8), 1952.
- Рудаков В. Е. О некоторых методах установления сходства в колебаниях годовично-прироста деревьев в дендрохронологических и дендроклиматических целях. В сб. Радиоуглерод, Вильнюс, 1971.
- Фритс Г. Дендрохронология. В сб. Четвертичный период в США, т. 1, М., изд. «Мир», 1968.
- Dobbs C. G. A study of growth rings in trees. Pt. 1. Review and discussion of recent work. Forestry (England), 1951, 24, № 1.
- Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. Carnegie Inst. Wash., Publ. 289, 1919.
- Fritts H. C. Computer programs for tree-ring research. Tree-Ring Bull., 1963, 25, № 3—4.
- Glock W. S. Principles and methods of tree-ring analysis. Carnegie Inst. Wash., Publ. 486, 1937.
- Glock W. S. Growth rings and climate. I. Bot. Rev., 1941, 7, № 12.
- Glock W. S. A rapid method of correlation for continuous time series. Amer. J. Sci., 1942, 240, № 6.
- Glock W. S. Growth rings and climate. II. Bot. Rev., 1955, 21, № 1—3.

- Hansen H. P. Ring growth in three species of conifers in Central Washington. *Ecology*, 1941, 22, № 2.
- Howland H. C., Sharrock G., Raskin J. A digital computer method for dating short tree ring series. *Nature (England)*, 1964, 201, № 4917.
- Huber B. Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, № 6, 1943.
- Liese W. Einführung in die dendrochronologische Methode. Mitt. der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Reinbek bei Hamburg, № 77 (Holzbiologie), Hamburg, 1970.
- Schulman E. Tree-ring hydrology of the Colorado River basin. *Univ. Arizona Bull.*, 1945, 16, № 4.
- Schulman E. Tree-ring indices of rainfall, temperature and river flow. *Compendium of Meteorology*, Amer. Meteor. Soc., 1951.
-