

П.В.Ковалев, В.В.Иванов, А.П.Ковалев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОШЛОГО  
ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ГОДОВОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ  
И ЧИСЛАМ ВОЛЬФА

В условиях все увеличивающегося влияния антропогенного фактора на развитие природных процессов, особенно в связи с возможностями возникновения в природе по этой причине необратимых цепных реакций, которые могут отрицательно повлиять на природную среду, перед человеком все острее встает вопрос о необходимости прогнозирования развития природы как в целом, так и отдельных ее компонентов.

Одной из важнейших составных частей каждого ландшафта являются метеорологические условия, в значительной степени определяющие формирование других составляющих ландшафта и ландшафта в целом. Поэтому прогнозирование метеорологических условий нам представляется особенно важным.

Как известно, метеорологические условия подвержены ритмическим и квазиритмическим колебаниям. Устанавливаются различной длительности ритмы их колебаний, начиная от внутрисуточного до многовековых и более длительных. Именно ритмичность метеорологических условий представляет одну из возможностей сверхдолгосрочного их прогнозирования. Для этой цели необходимо установить и математически обобщить закономерности их ритмики в прошлом и разработать методики для экстраполяции (т.е. прогноза) в будущее. Для Фенноскандии попытка такого рода была сделана Г.Сиреном, который на основании изучения ритмичности годовых колец деревьев дал прогноз метеорологических условий до 2060 г. /2/.

Для выполнения этой большой и практически важной задачи — сверхдолгосрочного прогноза, необходимы длительные ряды метеорологических данных. В то же время известно, что сведений о метеорологических условиях прошлого очень мало и, кроме того, они имеют качественный и эпизодический характер, а периоды инструментальных метеорологических наблюдений невелики, и, как правило, не превышают 100 лет. Поэтому возникает необходимость удлинения рядов метеорологических наблюдений. Для восстановления метеорологических условий прошлого представляется возможным использовать некоторые косвенные методы, в частности информацию о метеорологических условиях, сохранившуюся в годовых кольцах деревьев. В целях контроля метеорологические условия восстанавливаются также по показа-

телям солнечной активности - числам Вольфа  $W$ , связь которых с метеорологическими условиями несомненна /7/.

Уже давно было доказано /6/, что приросты древесных пород по диаметру в значительной степени определяется метеорологическими условиями, причем особенно большое влияние на прирост деревьев оказывает тот метеорологический фактор, который в данном районе является недостаточным (например, температура на северной и верхней границах леса, количество осадков в районах недостаточного увлажнения и т.д.). Влияние этого ограничивающего фактора особенно хорошо выделяется при изучении годовых приростов деревьев.

Дендроклиматические исследования в России уже в XIX столетии проводились А.Н.Бекетовым /1/ и Ф.Н.Шведовым /2/, но после значительного перерыва особенно интенсивно они начали развиваться в нашем веке как за рубежом (А.Э.Дуглас, Е.Хентингтон и др.), так и в нашей стране /2,4/. Поэтому дендроклиматология является наукой молодой, еще испытывающей период становления, период интенсивной разработки методик и установления основных закономерностей. С каждым годом в дендроклиматологии увеличивается степень использования математических методов и ЭВМ, а также выводов и методик пограничных наук.

Одним из важнейших вопросов дендроклиматических исследований, вызывающим острые дискуссии, является вопрос о количестве модельных деревьев, необходимых для обеспечения обоснованного получения данных о метеорологических условиях прошлого. Существует два направления: использование массовых дендроклиматических материалов (обобщенные годовые приросты по многим деревьям) и использование годовых приростов отдельных деревьев, являющихся хорошими индикаторами.

Наши исследования в верховьях р.Теберды (северный склон Большого Кавказа) показали, что различные деревья, даже растущие в непосредственной близости друг от друга, далеко неодинаково отражают своим приростом метеорологические условия периода роста, что показывает значительные колебания тесноты связи между показателями годовых приростов деревьев и метеорологическими данными за совпадающие сроки. Поэтому использование для дендроклиматического анализа большого количества деревьев вследствие осреднения может привести к ухудшению индикационных возможностей, поскольку при использовании массового материала будут включены как деревья, являющиеся хорошими индикаторами метеорологических условий, так и деревья с плохими индикационными качествами. В связи с этим, полагаем, что дендроклиматические анализы по небольшому числу деревь-

зв - хороших индикаторов являются более точными. При этом показатели прироста не следует обобщать, а для целей контроля производить для каждого модельного дерева самостоятельный дендроклиматический анализ.

Замеры годовых приростов деревьев нами производились по нескольким радиусам. Определялась теснота линейной связи, которая, как правило, оказывалась значительной (коэффициент корреляции 0,80-0,95).

Если теснота связи между замерами годовых приростов по отдельным радиусам оказывалась незначительной, дерево не использовалось для дальнейшего анализа, так как непропорциональность приростов по разным радиусам могла быть обусловлена влиянием биологических особенностей дерева, неточностью замеров, но не влиянием метеорологических условий.

С целью устранения влияния возраста деревьев на его прирост показатели годичных приростов деревьев определялись как отношения фактически измеренных годовых приростов по радиусам древесных срезов к значениям приростов, найденным по методу скользящей средней. Период ее скольжения определялся не волевым способом, а рассчитывался по методу наименьших квадратов путем сравнения дисперсии, найденной по разностям приростов, с дисперсией отклонений фактических приростов от соответствующих скользящих средних приростов. Расчет показателей прироста производился на ЭВМ. В программу закладывались значения приростов по всем измеренным радиусам и получали относительные показатели прироста.

Между показателями прироста деревьев, а также числам Вольфа и значениям метеорологических элементов вычислялись линейные коэффициенты корреляции, которые обычно оказывались малыми (менее 0,5), свидетельствующими о слабой линейной связи между коррелируемыми рядами данных. Вычисленные корреляционные отношения  $\eta$  тех же рядов данных показали тесную криволинейную связь между ними (табл. I) с небольшой ошибкой  $m$  и достаточно высокими показателями достоверности  $t$ .

Как известно /3/, любая криволинейная связь может быть аппроксимирована полиномом той или иной степени. При использовании полиномиальной связи значение корреляционного отношения несколько уменьшается и находится в пределах 0,7-0,8, т.е. связь все же остается тесной. Это свидетельствует, что принятие полиномиальной связи для наших расчетов оправдано. К такому же заключению приводит нас и сравнение расчетных трендовых метеорологических данных, полученных по полиномиальной зависимости, с фактическими (табл. 2).

Таблица 1

Показатели тесноты связи относительных показателей прироста ряда деревьев с метеорологическими данными

Дерево	Показатели корреляционной связи	T	$Y_{Г}$	$Y_{Л}$	$Y_{З}$	t	У
Пихта-1	$\eta$	0,73	0,73	0,85	0,76	0,80	0,70
	m	0,12	0,12	0,09	0,11	0,10	0,12
	t	6,3	6,1	9,6	6,8	7,8	5,7
Пихта-3	$\eta$	0,94	0,87	0,73	0,90	0,93	0,78
	m	0,06	0,09	0,12	0,07	0,07	0,11
	t	16,2	10,1	6,3	12,0	14,2	7,3
Пихта-4	$\eta$	0,73	0,61	0,56	0,65	0,68	0,58
	m	0,11	0,12	0,13	0,12	0,11	0,13
	t	6,8	5,0	4,3	5,5	6,0	4,6
Сосна-3	$\eta$	0,86	0,88	0,78	0,88	0,92	0,83
	m	0,09	0,08	0,11	0,08	0,07	0,09
	t	9,8	10,7	7,3	10,8	14,0	8,7

П р и м е ч а н и е. T - сумма положительных температур воздуха,  $Y_{Г}$  - осадки за гидрологический год,  $Y_{Л}$  - осадки за летний период,  $Y_{З}$  - осадки за зимний период, t - средняя годовая температура, У - годовое количество осадков

Явное выражение связи второй, третьей и т.д. степеней мы находим по способу П.Л.Чебышева /3/, используя формулы, приведенные в табл.3. При этом, кроме коэффициентов полинома, находятся критерии, показывающие возможность применения полиномиальной зависимости той или другой степени для данного ряда.

Степень полинома прекращаем повышать, если дальнейшее повышение незначительно изменяет отношение критерия корреляционного уравнения к его основной ошибке. В основном мы получали связь в виде полиномов второй и третьей степеней. Надо указать еще на одно обстоятельство, в силу которого мы не стремились повышать степень полиномов. Полученные формулы применяются для восстановления значений метеорологических условий времени роста дерева. При этом иногда независимый фактор (показатель прироста, числа Вольфа) выходил за пределы применимости формулы. В этом случае при большой степени полинома получаются очень большие ошибки.

Таблица 2

Сравнение сумм положительных температур воздуха по мс Теберда ( $T_{\Phi}$ ) с трендовыми значениями сумм положительных температур, рассчитанными по относительным показателям годовых приростов дерева ( $T_p$  с-3) и числам Вульфа ( $T_p W$ )

Год	$T_{\Phi}$	$T_p$ с-3	$T_{\Phi}-T_p$ с-3	$T_p W$	$T_{\Phi}-T_p W$
1926	2441	2494	47	2497	44
1927	2779	2477	302	2489	290
1928	2506	2492	14	2472	34
1929	2694	2474	220	2495	199
1930	2776	2485	291	2503	273
1931	2553	2429	124	2473	80
1932	2700	2494	206	2434	266
1933	2426	2333	93	2407	19
1934	2589	2450	139	2423	166
1935	2655	2494	161	2504	151
1936	2468	2452	16	2468	0
1937	2541	2494	47	2383	158
1938	2584	2480	104	2395	189
1939	2446	2491	45	2447	1
1940	2491	2460	31	2491	0
1941	2416	2489	73	2510	19
1942	2458	2487	29	2496	38
1943	2465	2494	29	2456	4
1944	2399	2450	51	2427	28
1945	2200	2474	274	2500	300
1946	2321	2430	109	2437	116
1947	2325	2394	69	2332	7
1948	2351	2410	59	2343	8
1949	2331	2493	162	2344	13
1950	2482	2403	79	2458	24
1951	2302	2491	189	2488	186
1952	2493	2480	13	2497	4
1953	2352	2415	63	2447	95
1954	2509	2491	18	2400	109
1955	2501	2494	7	2506	5
1956	2217	2489	272	2337	220
1957	2550	2485	65	2421	129
1958	2352	2425	73	2397	45

Продолжение табл.2

Год	$T_{\Phi}$	$T_p$ с-3	$T_{\Phi}-T_p$ с-3	$T_p W$	$T_{\Phi}-T_p$
1959	2183	2466	283	2335	152
1960	2374	2456	82	2388	14
1961	2361	2474	113	2507	146
Средняя ошибка			141		135

В то же время полиномиальную зависимость  $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$  можно рассматривать как многофакторную линейную зависимость

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2,$$

где  $X_1 = x$ ,  $X_2 = x^2$ .

Такое преобразование возможно, поскольку различные степени переменной являются линейно-независимыми функциями.

По программе на вычислительном центре вычисляем абсолютные индивидуальные ошибки, используя формулу /5/

$$S_p^2 = S^2 \left[ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x'_p)^2}{\sum x_i^2} \right]; S_p = \sqrt{S_p^2},$$

где  $S_p^2$  - уточненная дисперсия ошибок расчета,  $S_p$  - индивидуальная ошибка наблюдений  $x_p$ .

Затем находим относительную ошибку (%) по формуле

$$S_i = \frac{\Delta i}{y_i} \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta i$  - абсолютная индивидуальная ошибка,  $y_i$  - теоретическое (расчетное) значение изучаемого фактора.

В результате расчетов, проведенных на ЭВМ, мы получили такие зависимости одного из метеорологических показателей - суммы положительных температур  $T$  для метеостанции Теберда от показателей прироста  $M$  и показателей солнечной активности  $W$ .

$$T_{c-3} = 2692,16 - 22,99 M + 0,382 M^2 - 0,001722 M^3,$$

$$T_p - W = 2372,74 + 6,516 W - 0,0912 W^2 + 0,000307 W^3.$$

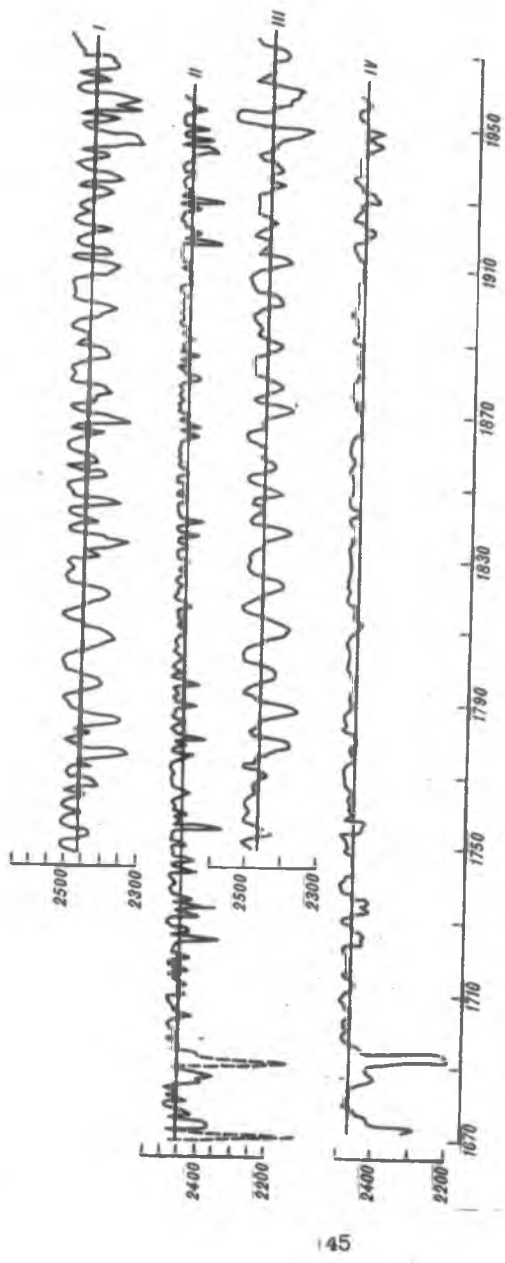
По приведенным формулам производилось восстановление трендовых значений  $T$  с 1674 по 1961 г. по показателям прироста дерева

Таблица 3

Формулы, используемые при восстановлении метеорологических условий прошлого по годовым кольцам деревьев

Уравнение	Основная ошибка уравнения	Критерий	Основная ошибка критерия	Отношение критерия к его основной ошибке
$y_1 = \bar{y} + r_{xy}^{(1)} \frac{\delta_x}{\delta_y} (x - \bar{x})$		$\xi_1 = r_{xy}^2 - r_{xy}^4$	$\sigma_{\xi_1} = \sqrt{\frac{\xi_1}{n}}$	$\frac{\xi_1}{\sigma_{\xi_1}}$
Линейное уравнение				
	$\sigma_{xy}^{(1)} = \delta_y \sqrt{1 - r_{xy}^2}$			
$y_2 = y_1 + \sigma_y \frac{b_1}{a_1} \left[ \frac{(x - \bar{x})^2}{\sigma_x^2} - r_{xy}^{(1)} \left( \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \right) - 1 \right]$		$\xi_2 = \xi_1 - \frac{b_1^2}{a_1}$	$\sigma_{\xi_2} = \sqrt{\frac{\xi_2}{n}}$	$\frac{\xi_2}{\sigma_{\xi_2}}$
Уравнение второго порядка				
	$\sigma_{xy}^{(2)} = \delta_y \sqrt{1 - r_{xy}^2 - \frac{b_1^2}{a_1}}$			
$y_3 = y_2 + \sigma_y \frac{b_2}{a_2} \left[ \frac{(x - \bar{x})^3}{\sigma_x^3} - r_{xy}^{(2)} \left( \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \right) - r_{xy}^{(1)} \left( \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \right)^2 - \frac{b_1}{a_1} \left( \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \right) - 1 \right]$		$\xi_3 = \xi_2 - \frac{b_2^2}{a_2} - \frac{a_1 b_1}{a_2 a_1}$	$\sigma_{\xi_3} = \sqrt{\frac{\xi_3}{n}}$	$\frac{\xi_3}{\sigma_{\xi_3}}$
Уравнение третьего порядка				
	$\sigma_{xy}^{(3)} = \delta_y \sqrt{1 - r_{xy}^2 - \frac{b_1^2}{a_1} - \frac{a_1 b_1}{a_2 a_1}}$			

Примечание.  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2$  выражаются через основные моменты.



Расчитанные по показателям прироста дерева и числам Вольфа суммы положительных температур воздуха для мс Тесерда.



(сосна-3) и с 1749 по 1974 г. по числам Вольфа. При этом также вычислялись индивидуальные ошибки получаемых результатов. При подсчете индивидуальных ошибок мы рассматривали выведенную полиномиальную зависимость как многофакторную линейную модель.

Отбор данных для использования, найденных по показателям прироста дерева и показателям солнечной активности, производился по индивидуальным ошибкам. Поскольку независимые факторы прогнозировались по двум формулам, т.е. как функции показателей прироста дерева  $M$  и функции чисел Вольфа  $W$ , то при отборе данных использовались обе эти зависимости и выбирались те данные, которые характеризовались наименьшими индивидуальными ошибками.

Расчетные данные приведены на рисунке, где показаны трендовые значения сумм положительных температур воздуха для мс Теберда, рассчитанные по числам Вольфа (I) и по относительным показателям прироста сосны-3 (II). Даются также рассчитанные по числам Вольфа суммы положительных температур с 3-летним сглаживанием (III) и рассчитанные по относительным показателям прироста сосны-3 суммы положительных температур с 3-летним сглаживанием (IV). На них хорошо просматриваются ритмы, изучение которых, особенно наиболее длительных, представляет большой интерес для сверхдолгосрочного прогнозирования. Пунктиром показаны данные, рассчитанные по показателям, выходящим за границы применения формулы.

На основании изложенного, можно сделать некоторые выводы.

1. Годичные кольца деревьев и числа Вольфа содержат информацию о метеорологических условиях прошлого, трендовые значения которых можно рассчитать.

2. Одновременный расчет трендовых значений метеорологических показателей прошлого по годичным кольцам деревьев и числам Вольфа дает возможность взаимоконтроля получаемых данных.

3. Рассчитанные для прошлого на сотни лет трендовые значения метеорологических элементов, дают возможность контроля разрабатываемых методик прогноза метеорологических элементов, а также могут быть использованы для разработки новых методик прогнозирования, базирующихся на установленной ритмичности метеорологических условий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б е к е т о в А.Н. О влиянии климата на возрастание сосны и ели. - В кн.: Труды I-го съезда русских естествоиспытателей. - СПб.: 1968, с. III-163.

2. Б и т в и н с к а с Т.Т. Дендроклиматические исследова-

ния. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 172 с.

3. М и т р о п о л ь с к и й А.К. Техника математических вычислений. - М.: Физматгиз, 1961. - 480 с.

4. Р у д а к о в В.Е. Метод изучения влияния колебаний климата на толщину годовых колец. - ДАН АрмССР, 1951, с.75-79.

5. Ч е т ы р к и н Е.М. Статистические методы прогнозирования. - М.: Статистика, 1977. - 200 с.

6. Ш в е д о в Ф.Н. Дерево как летопись засух. - В кн.: Дендроклиматохронология и радиуглерод (Материалы 2-го Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии). - Каунас: 1972, с.17-26.

7. Э й г е н с о н М.С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. - Львов: Изд. Львовского ун-та, 1957. - 230 с.