

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ

---

ВЫПУСК

55

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ АН ЛИТОВСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ АН ЛИТССР  
ЛИТОВСКАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГРУППА ВКАУ СССР  
МЕЖДУНАРОДНОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

---

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Выпуск 55

ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ

(Материалы к семинару при Институте математики и  
кибернетики АН Литовской ССР "СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ")

Под редакцией Я. Гикис

Институт математики и кибернетики Академии наук Литовской ССР  
Вильнюс 1982

ВИЛЬНЮС, 1982

LTSR MA MATEMATIKOS IR KIBERNETIKOS INSTITUTAS  
LTSR MA FIZIKINIŲ TECHINIŲ ENERGETIKOS PROBLEMŲ INSTITUTAS  
TARPTAUTINĖS AUTOMATINIO VALDYMO FEDERACIJOS TSRS  
AVNK LIUVOS TERRITORINĖ GRUPĖ

---

STATISTINĖS VALDYMO PROBLEMOS

55 leidinys

LOGINĖ SIGNALŲ ANALIZĖ

Medžiaga seminarui

Redagavo J. Gikys

Lietuvos TSR MA Matematikos ir kibernetikos institutas,  
Vilnius, 1982

---

INSTITUTE OF MATHEMATICS AND CYBERNETICS OF THE ACADEMY  
OF SCIENCES OF THE LITHUANIAN SSR  
INSTITUTE OF PHYSICAL AND TECHNICAL PROBLEMS OF POWER OF  
THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE LITHUANIAN SSR  
LITHUANIAN TERRITORIAL GROUP OF THE NATIONAL COMMITTEE  
OF AUTOMATIC CONTROL OF THE USSR

---

STATISTICAL PROBLEMS OF CONTROL

Issue 55

LOGICAL ANALYSIS OF SIGNALS

Papers for the seminar

Edited by J. Gikys

Institute of Mathematics and Cybernetics of the Academy  
of Sciences of the Lithuanian SSR, Vilnius, 1982

C O N T E N T S

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| J.Gikys, T.Bitvinskas, J.Kušlikis. Synchronization of annual tree-ring series for dendroscales .....                       | 9  |
| A.Čitavičius. Compilation synthesis of Russian speech.....                                                                 | 31 |
| A.Aleškevičiėne, V.Svetulėvičiėne. On the probabilities of moderate deviations for sums of independent random vectors..... | 65 |
| J.Patašius. Feature selection for autonomous recognition equipment .....                                                   | 81 |
| S.Moreika, A.Rudšionis. Investigation of speech shaping methods for pitch estimation .....                                 | 91 |
| Abstracts .....                                                                                                            | 99 |

УДК 007:581.522:634.948

# СИНХРОНИЗАЦИЯ РЯДОВ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ДЕНДРОШКАЛ

Юнас ГИКИС, Теодорас БИТВИНСКАС, Юзас КУШЛИКИС

Исследуются возможности применения известных методов синхронизации при составлении дендрошкал из сравнительно коротких рядов годичных колец, не превышающих 150-200 лет, собственных европейской сосны. Кроме того, исследуются характеристики уже имеющихся дендрошкал, а также рядов годичных колец отдельных деревьев.

I. Обзор методов синхронизации и постановка задачи. При долгосрочном прогнозировании климата для расшифровки бывших экологических и климатических условий необходимо иметь дендрошкалы на несколько тысяч лет назад. Чем дендрошкалы длиннее, тем точнее можно подобрать модель для аппроксимации климатических условий. Однако возраст европейской сосны, реликты которой наиболее часто встречаются в торфяниках, редко превышает 150-200 лет. А чтобы получить дендрошкалу на несколько тысяч лет назад, необходимо синхронизировать ряды годичных колец нескольких десятков деревьев со 100-процентной надежностью.

В радиотехнике синхронизацию обычно отождествляют с фазировкой, т.е. с согласованием фаз двух или более процессов. Это не составляет проблемы для несложных детерминированных процессов. Ряды

годовых колец, однако, являются достаточно сложными процессами, для описания которых обычно применяют методику случайных процессов, но фаза случайных процессов тоже случайна. В таком случае не может быть и речи о 100-процентной точности синхронизации: можно только синхронизировать относительно средней фазы с конечной точностью. Случайные процессы можно отождествлять относительно мгновенной фазы. Это делается путем нахождения наименьшего евклидова расстояния или наибольшего коэффициента корреляции перед тем, как нормированных процессов. Это достаточно общий принцип, и он применяется к синхронизации рядов годичных колец [1,2].

Прирост древесины - это функция сложной зависимости от климатических условий. Изменение климатических условий меняет взаимосвязь между отдельными индивидами и взаимосвязь с животным миром. Таким образом, приросты древесины у разных индивидов, росших в одно и то же время в одинаковых климатических условиях, разные.

Интересующий нас климатический фактор в рядах годичных колец находится в нелинейной зависимости. Возрастной фактор, обычно сильно выраженный, влияет на синхронизацию, так как удлинять дендрошкалу позволяют ряды перекрывающихся во времени, но не полностью совпадающие.

Нормализация в [1,2] относительно возраста производится путем деления коэффициента годового прироста древесины на возрастной коэффициент, определяемый экспериментально для каждого индивида. Если исходный ряд годичных колец деревьев записать как

$$R_j^{(i)} = (r_{j,1}^{(i)}, r_{j,2}^{(i)}, r_{j,3}^{(i)}, \dots, r_{j,n^{(i)}}^{(i)}), \quad j = 1, 2, \quad (I)$$

где  $R_1^{(i)}$  - ряд колец ранней древесины,  $R_2^{(i)}$  - ряд колец поздней древесины,  $r_{j,n}^{(i)}$  - ширина  $n$ -того кольца,  $n^{(i)}$  - количество колец в  $i$ -том ряде, то нормализованный ряд, или ряд индексов годичных колец, примет вид

$$R_j^{*(i)} = r_{j,1}^{*(i)}, r_{j,2}^{*(i)}, r_{j,3}^{*(i)}, \dots, r_{j,n}^{*(i)}, \quad (2)$$

где

$$r_{j,n}^{*(i)} = \frac{r_{j,n}^{(i)}}{s_{j,n}^{(i)}}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, n^{*(i)} = n^{(i)} \quad (3)$$

$s_{j,n}^{(i)}$  является элементом кривой роста из ряда

$$s_j^{(i)} = s_{j,1}^{(i)}, s_{j,2}^{(i)}, s_{j,3}^{(i)}, \dots, s_{j,n}^{(i)}. \quad (4)$$

Кривые роста для отдельных рядов  $R_j^{(i)}$  отождествляются с низкочастотной составляющей этого ряда. Обычно кривые роста аппроксимируются аналитическим выражением. Подробности выбора аппроксимирующей функции и вычисления коэффициентов приведены в работе [1].

Для исключения влияния возраста дерева применяют и упрощенное преобразование

$$a_{j,n}^{(i)} = r_{j,(n-1)}^{(i)} - r_{j,n}^{(i)} \quad (5)$$

и

$$r_{j,n}^{*(i)} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{j,n}^{(i)} \geq 0 \\ -1, & \text{если } a_{j,n}^{(i)} < 0 \end{cases} \quad (6)$$

После преобразования (5) и (6) остается только информация о знаке изменения прироста древесины.

Исключение влияния возраста не решает задачи синхронизации, так как климатический фактор остается в неявной зависимости. Усреднение по множеству помогает выявить климатический фактор, однако перед усреднением необходимо провести синхронизацию. В общем случае задача синхронизации сводится к задаче распознавания одного и того же климатического фактора в разных рядах годовых колец - и таким образом установить время синхронизации

$$\tau^{(i,K)} = \underset{t}{\operatorname{argmin}} p_t^{(i,K)}, \quad \text{если } P_t^{(i,K)} > C$$

$$\tau^{(i,K)} - \quad \text{не существует, если } P_t^{(i,K)} \leq C, \quad (7)$$

где

$$P_t^{(i,K)} = \sum_e a_e \sum_j b_j \sum_{\sigma} \left[ x_e \left\{ r_{\sigma,j}^{(i)} \right\} - x_e \left\{ r_{\sigma,j}^{(K)} \right\} \right]^2, \quad (7a)$$

где  $x_e$  - элемент  $\vec{x}$  вектора специального преобразования элементов  $r_{\sigma,j}^{(i)}, r_{\sigma,j}^{(K)}$  рядов  $R_j^{(i)}$  и  $R_j^{(K)}$ ;  $a_e, b_j$  - константы. Примером преобразования могут быть нелинейные преобразования, подчеркивающие реперные годы.

К сожалению, теория распознавания также не дает рецептов для выделения признаков, в данном случае - климатических. Для этого необходимы опыт и интуиция. Конечно, некоторые приемы теории распознавания могут быть применены, например, кластерный анализ [3]. На это указывает такой пример: 10 деревьев, росших в одинаковых условиях, т.е. в одно и то же время и в той же местности, по годовому приросту в среднем отличаются на 12-20 %, в то время как при разделении их на три группы ошибка уменьшилась до 7-9 %. Некоторые индивиды из-за очень большого отклонения от среднего лучше вообще отбросить.

Достоверные результаты могли дать сотни реализаций или сотни деревьев, росших в одинаковых условиях. Конечно, такое количество индивидов из растущих в наши дни не проблема, но из более удаленных от нас веков количества таких экземпляров подыскать нельзя. Поэтому возникает проблема - или ничего не делать, или довольствоваться крайне ограниченным количеством индивидов, росших в одно и то же время. Таким образом, мы сталкиваемся с очень ограниченной возможностью интегрировать по множеству. Чем это можно компенсировать, или как решить задачу?

Во-первых, значительно облегчить решение этой задачи могут сильные признаки, например, реперные годы, отличающиеся очень сильными отклонениями климата, что в свою очередь сильно сказывается на приросте древесины и ее качестве. Принцип реперных годов эффективно использован в работе [5].

Во-вторых, необходимо выделить насколько возможно больше признаков древесины; отдельно рассматривать ранний и поздний приросты древесины, ее плотности и другие возможные признаки. В данном случае задача сводится к задаче выделения основного тона речевого сигнала, когда по данным несколько мало надежных выделителей основного тона принимаются достаточно достоверные решения [4]. Последний метод иногда называют логическим, так как по мало надежным и коррелированным данным с помощью логических правил принимаются надежные решения.

Очень облегчает задачу радиоуглеродная датировка исследуемого образца. Однако из-за невысокой точности метод позволяет производить только грубую синхронизацию - в интервале 100-150 лет в среднем. Кроме того, в последнее время метод радиоуглеродной датировки подвергается некоторому сомнению ввиду неуверенности в постоянстве начальных условий.

2. Экспериментальные исследования методов синхронизации. В качестве экспериментального материала использовались ряды прироста древесины образцов, полученных из торфяника Ухпьялькю Тирелис (Плунгский р-н ЛитССР). Часть образцов датирована радиоуглеродным методом. Всего исследовалось около 100 рядов. Вначале ряды нормировались относительно возраста согласно выражению (3). Функции аппроксимации подбирались экспериментально, после чего вычислялись коэффициенты этих функций. Полученные ряды индексов годовых колец исследовались попарно. Определялись взаимнокорреляционные функции согласно выражению

$$Q_{(t)}^{(i, \kappa)} = \frac{\sum_{u=p(t)}^{q(t)} (r_u^{*(i)} - \sigma^{(i)}) \cdot (r_{u-t}^{*(\kappa)} - \sigma^{(\kappa)})}{\sqrt{\sum_{u=p(t)}^{q(t)} (r_u^{*(i)} - \sigma^{(i)})^2} \cdot \sqrt{\sum_{u=p(t)}^{q(t)} (r_{u-t}^{*(\kappa)} - \sigma^{(\kappa)})^2}} \quad (8)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \sigma^{(i)} &= \frac{1}{h(t)} \cdot \sum_{u=p(t)}^{q(t)} r_u^{*(i)}, \\ \sigma^{(\kappa)} &= \frac{1}{h(t)} \cdot \sum_{u=p(t)}^{q(t)} r_u^{*(\kappa)}, \\ p(t) &= \max (1, t+1), \\ q(t) &= \min (n^{(i)}-1, n^{(\kappa)}+t-1), \\ h(t) &= q(t) - p(t) + 1, \\ t &= n^{(\kappa)} + h_{\min}, -n^{(\kappa)} + h_{\min} + 1, \dots, n^{(i)} - h_{\min} - 1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$h_{\min}$  - минимально допустимое перекрытие рядов.

$$\begin{aligned} &\text{Возможное время синхронизации рядов } R^{*(i)} \text{ и } R^{*(\kappa)} - \\ &\tau^{(i, \kappa)} = \arg \max_t Q_{(t)}^{(i, \kappa)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для сравнения нами использованы и преобразования (5), (6), несущие информацию только о знаке изменения рядов годовых колец. Коэффициент сходства роста в данном случае вычисляется согласно выражению

$$M_{(t)}^{(i, \kappa)} = \frac{1}{2 h(t)} \sum_{u=p(t)}^{q(t)} |r_u^{*(i)} - r_{u-t}^{*(\kappa)}|. \quad (11)$$

Коэффициент  $q(t), p(t), h(t)$  вычислялись согласно (9), а время синхронизации - (10).

Исходя из полученных данных, мы пока не можем составить шкалу, достигающую нашего времени. Анализ результатов вычисления показывает, что корреляционный метод дает лучшие результаты, нежели метод "изменения знака прироста". При корреляционном методе более часто совпадают максимумы для рядов прироста ранней и поздней или суммарной древесины. Из полученных нами данных можно составить лишь

фрагменты шкалы. Таким образом, алгоритмы и программы [1,2] не дают удовлетворительных результатов при наших условиях. Продолжительность жизни нашей сосны слишком коротка, на порядок меньше чем калифорнийской *Pinus Aristata*. Увеличение на порядок исследуемых рядов позволило значительно увеличить время интегрирования при обработке, а тем самым и надежность синхронизации.

В табл. I приводится фрагмент из матрицы коэффициентов сходства и их аргументов, то есть возможных времен синхронизации. Первая строка каждого элемента матрицы отводится времени синхронизации, подсчитанному по (I0), (II), т.е. по знакам изменения. В скобках приводится величина коэффициента сходства, или максимальный коэффициент сходства для исследуемых рядов годовых колец. Во второй строке приводится время синхронизации, полученное корреляционным способом, т.е. согласно (8), (I0), а в скобках - коэффициент корреляции. Ниже диагонали приводятся коэффициенты для рядов прироста суммарной древесины; выше диагонали - для рядов прироста ранней древесины. Время синхронизации во втором случае берется с противоположным знаком. Единственная константа  $h_{min} = 50$  была одинаковой для обоих случаев. Конечно, это крайне мало, но ее увеличение связано с уменьшением максимально возможного сдвига одного ряда относительно другого и тем самым вероятности синхронизации.

Для наглядности на рис. I приведено расположение приведенных в табл. I образцов деревьев по оси абсолютного времени согласно радиоуглеродной датировке. Пунктиром показан интервал толеранции радиоуглеродного метода. Данные таблицы очень противоречивы, они часто противоречат и расположению образцов согласно радиоуглеродной датировке. По этим данным нельзя с большой достоверностью расположить образцы на временной шкале. Необходимо увеличить информацию с помощью увеличения числа образцов, особенно с радиокарбонной датировкой. Мы располагаем только 1/3 всех образцов, датированных радиокарбонным методом. Кроме рядов ранней и поздней древесины, необходимо иметь

Таблица I

| Шифры рядов | 1396                   | 1365                   | 1401                   | 1384                   | 1372                   | 1383                   |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1396        | $T, (M)$<br>$T, (Q)$   | 100(0,76)<br>79(0,59)  | 105(0,70)<br>+66(0,41) | 88(0,76)<br>-68(0,58)  | 87(0,66)<br>63(0,51)   | 103(0,73)<br>-15(0,69) |
| 1365        | -79(0,74)<br>-79(0,60) | 0(1,00)<br>0(1,00)     | -120(0,75)<br>65(0,47) | 94(0,76)<br>46(0,59)   | -91(0,68)<br>60(0,51)  | -94(0,84)<br>50(0,54)  |
| 1401        | -93(0,66)<br>+68(0,45) | 106(0,71)<br>-65(0,54) | 00(1,00)<br>00(1,00)   | -86(0,68)<br>-67(0,47) | 122(0,73)<br>-66(0,58) | 108(0,75)<br>100(0,45) |
| 1384        | -66(0,67)<br>68(0,53)  | 2(0,65)<br>-46(0,62)   | 62(0,67)<br>67(0,40)   | 00(1,00)<br>00(1,00)   | 100(0,73)<br>30(0,63)  | -98(0,71)<br>37(0,56)  |
| 1372        | -96(0,76)<br>-63(0,51) | -91(0,71)<br>-61(0,58) | -113(0,74)<br>66(60)   | -29(0,77)<br>-30(0,70) | 00(1,00)<br>00(1,00)   | -79(0,68)<br>-64(0,37) |
| 1383        | 15(0,66)<br>15(0,70)   | 94(0,84)<br>-50(0,57)  | -85(0,71)<br>69(0,43)  | -76(0,69)<br>-37(0,57) | 98(0,51)<br>-66(0,51)  | 00(1,00)<br>00(1,00)   |

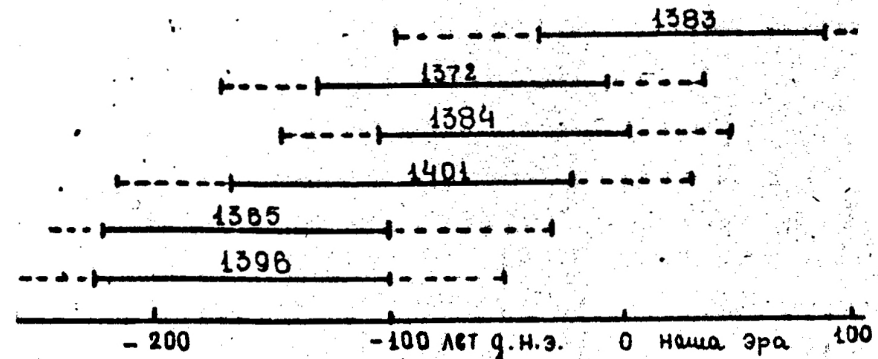


Рис. I. Расположение образцов (деревьев) по временной оси согласно радиоуглеродной датировке

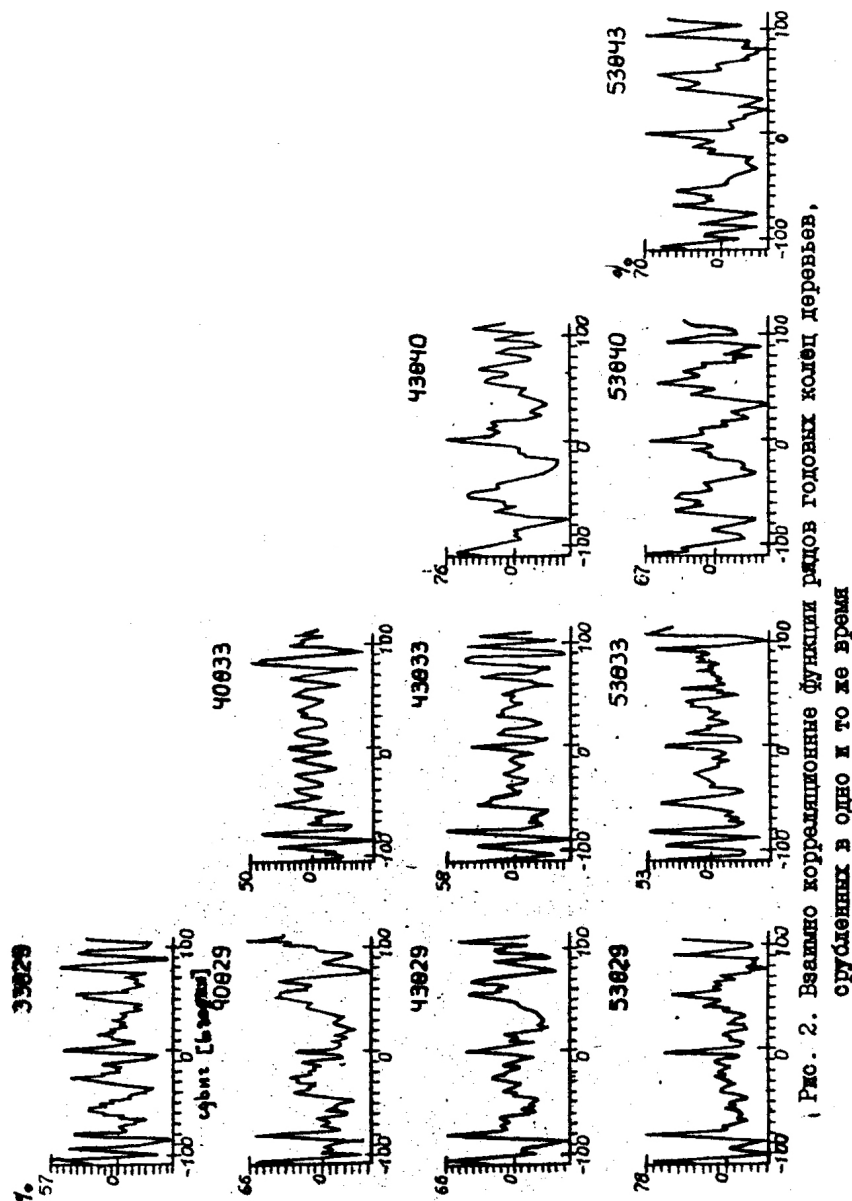


Рис. 2. Взаимно корреляционные функции рядов годовых колец деревьев, срубленных в одно и то же время

и ряды плотности древесины. Необходимо также провести более тщательное исследование вопроса подбора коэффициентов алгоритмов: наименьшего времени интегрирования при вычислении коэффициентов сходства, законов и констант аппроксимации при возрастной нормализации.

В нашем случае из-за краткости рядов пропадает информация о низкочастотных составляющих, которые крайне важны при синхронизации. Метод нормализации по возрасту исключает низкочастотные климатические составляющие, и особенно при коротких реализациях, так как в данном случае точнее аппроксимируются низкочастотные составляющие, которые мы не совсем справедливо относим к возрастным свойствам.

Для иллюстрации трудности синхронизации на рис. 2 приведены взаимно корреляционные функции рядов годовых колец деревьев, срубленных в одно и то же время; интервал интегрирования - 50 ординат.

3. Исследование характеристик дендрохронологических рядов и шкал. Исследования производились с целью улучшения точности синхронизации по мере изучения свойств рядов прироста древесины и имеющихся шкал. Сначала из-за простоты анализа (большая продолжительность) исследовали свойства шкалы *Pinus Aristata* из Белых Гор (Калифорния) [6]. Анализ спектра производился согласно [7]. Это обычный Фурье-анализ. Кроме того, для проверки минимальности по фазе ряда использовали преобразование по Гильберту логарифма амплитудного спектра. При анализе применялось прямоугольное окно, так как для низкочастотных составляющих форма окна не имеет значения ввиду продолжительного времени интегрирования, а для составляющих с продолжительным периодом интервал интегрирования настолько короток, что его нельзя сокращать плавным окном. Погрешности из-за прямоугольности окна можно учитывать при дальнейших исследованиях. На рис. 3, 4 приведены примеры спектров шкалы *Pinus Aristata* для разных максимальных периодов - 30 и 700 лет, а рис. 5 иллюстрирует спектраль-

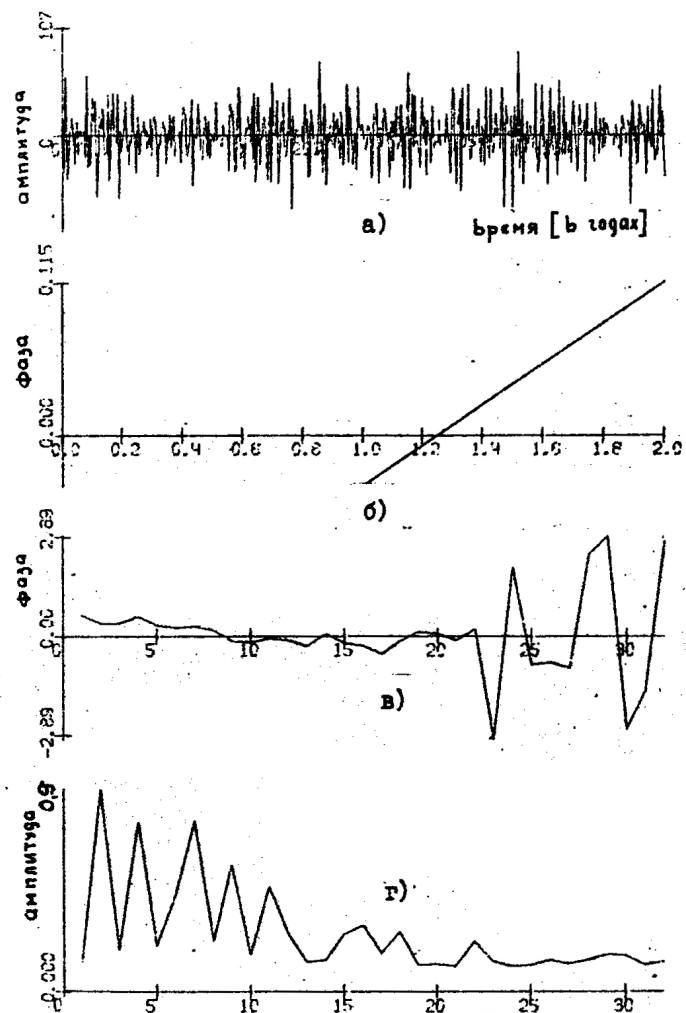


Рис. 3. Спектры *Pinus Aristata*. период [в годах]  
 а - анализируемая функция, б - фазовый спектр,  
 полученный из амплитудного, в - фазовый спектр,  
 г - амплитудный спектр

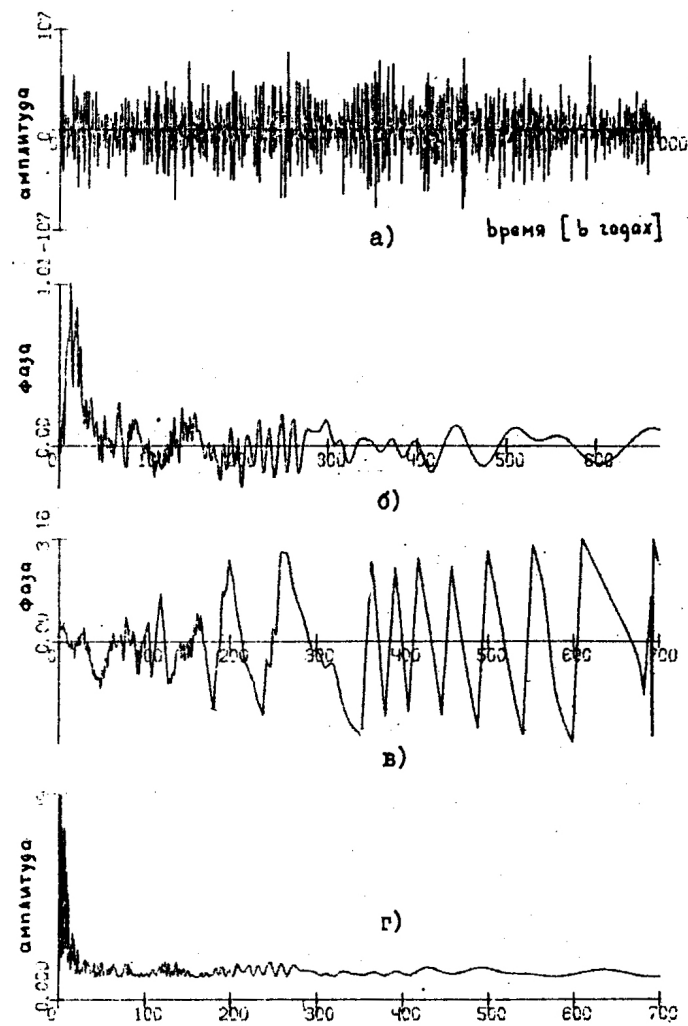


Рис. 4. Спектры *Pinus Aristata*. период [в годах]  
 а - анализируемая функция, б - фазовый спектр,  
 полученный из амплитудного, в - фазовый  
 спектр, г - амплитудный спектр

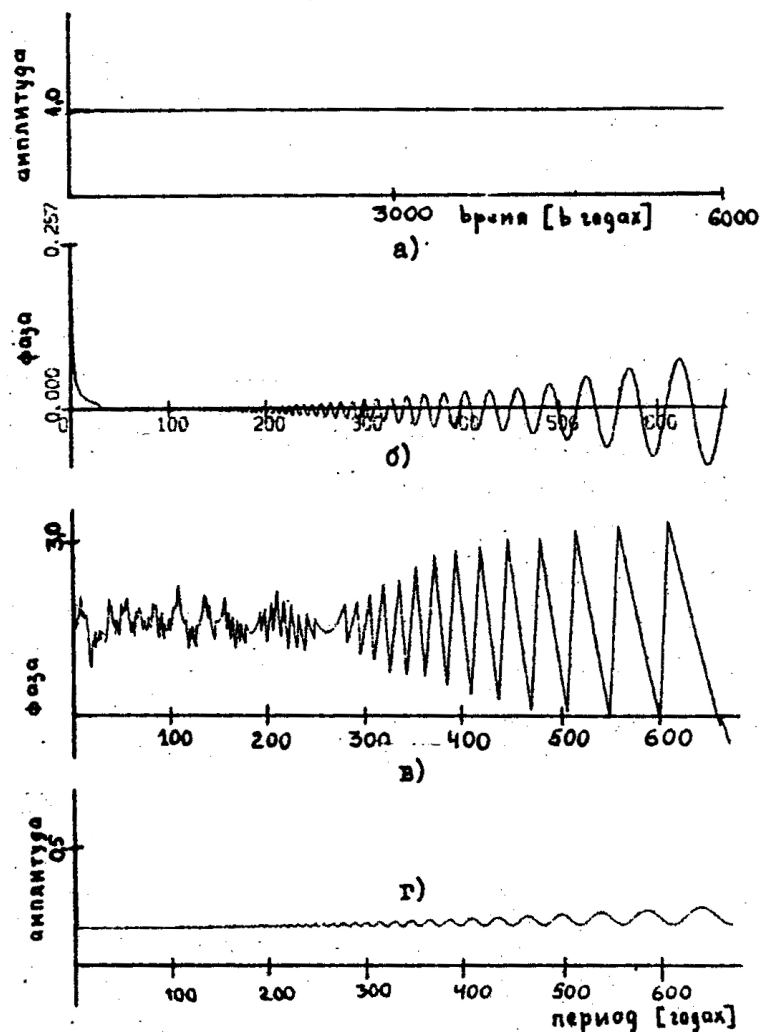


Рис. 5. Спектры прямоугольного окна

ную функцию прямоугольного окна: буква а - фрагмент исследуемого сигнала, буква б - преобразование Гильберта логарифма амплитудного спектра, в - слегка усредненный фазовый спектр и г - амплитудный спектр (линейный). Численные значения амплитудных спектров для коротких периодов или высоких частот приведены в таблицах 2 и 3. Здесь обращают на себя внимание спектры всей длины шкалы (7100 лет). Наиболее сильная составляющая двухгодичная, затем 4, 7, 9, 11 и 22 лет. Это значит, что происходит сильное изменение от года к году, однако через 2 года они наиболее сильные. Что означает период 7 и 9 лет - нам не ясно, 11 и 22 - это, конечно, эхо солнечных изменений. Очень интересно, что спектры отдельных кусков продолжительностью 1400 лет значительно отличаются от общего спектра. По-видимому, эти различия нельзя объяснить только погрешностями дискретизации (от года к году), которых никак не избежать. Не зная структуры, невозможно точно подсчитать погрешность анализа, кроме самых грубых интегральных оценок. При уменьшении интервала интегрирования до 200 лет в спектре очень сильно возрастают высокочастотные составляющие (табл. 3). По-видимому, низкочастотные составляющие являются результатом обилия каких-то очень низких частот, поэтому чем больше интервал интегрирования, тем они меньше, а высокочастотные составляющие должны увеличиваться, так как в результате нормализации они очень ослаблены и по короткой реализации их трудно установить. Мы заметили, что с переходом от одного тысячелетия к другому в фазовом спектре средних периодов 50-200 лет остается некоторое сходство. Также при просмотре 6 диапазонов на тысячу лет замечено и медленное постоянное изменение фазового спектра. Переходя от одного участка к другому, мы оставляли фазы базовых функций специально постоянными по отношению к началу исследуемого сигнала.

Отличие фазового спектра шкалы и отдельных ее кусков от гильбертова преобразования логарифма амплитудного спектра указывает на

Таблица 2

| Т - период (в годах) | Интервал интегрирования от начала шкалы (в годах) |           |           |           |           |           |           |             |
|----------------------|---------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
|                      | 0-1000                                            | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-6000 | 6000-7100 | Только окно |
| 1                    | 0,128                                             | 0,415     | 0,136     | 0,104     | 0,112     | 0,255     | 0,153     | 2,0100      |
| 2                    | 0,885                                             | 0,639     | 2,330     | 1,406     | 2,113     | 0,426     | 0,235     | 0,0988      |
| 3                    | 0,185                                             | 0,907     | 0,199     | 1,770     | 1,979     | 0,341     | 2,124     | 0,0999      |
| 4                    | 0,744                                             | 1,340     | 1,036     | 0,630     | 0,834     | 0,840     | 0,613     | 0,0998      |
| 5                    | 0,202                                             | 1,965     | 0,356     | 0,782     | 0,593     | 1,128     | 1,751     | 0,0998      |
| 6                    | 0,431                                             | 1,861     | 0,462     | 0,913     | 0,386     | 1,061     | 1,909     | 0,0999      |
| 7                    | 0,746                                             | 2,501     | 0,518     | 0,182     | 1,954     | 1,619     | 0,320     | 0,0998      |
| 8                    | 0,222                                             | 0,591     | 0,736     | 0,843     | 0,631     | 1,386     | 1,437     | 0,0998      |
| 9                    | 0,555                                             | 0,657     | 1,419     | 0,749     | 1,420     | 1,180     | 1,679     | 0,0999      |
| 10                   | 0,1629                                            | 0,416     | 0,873     | 0,310     | 0,449     | 0,797     | 0,746     | 0,0998      |
| 11                   | 0,459                                             | 1,238     | 0,385     | 0,948     | 0,277     | 0,888     | 0,668     | 0,1004      |
| 12                   | 0,253                                             | 0,507     | 0,640     | 0,309     | 0,354     | 0,274     | 1,150     | 0,1004      |
| 13                   | 0,131                                             | 0,236     | 0,466     | 0,193     | 0,213     | 0,373     | 0,722     | 0,1006      |
| 14                   | 0,138                                             | 0,826     | 0,250     | 0,126     | 0,262     | 0,241     | 0,368     | 0,998       |
| 15                   | 0,253                                             | 0,657     | 0,358     | 0,2356    | 0,416     | 0,293     | 0,372     | 0,1004      |
| 16                   | 0,291                                             | 0,585     | 0,289     | 0,266     | 0,259     | 0,259     | 0,865     | 0,1009      |
| 17                   | 0,169                                             | 0,194     | 0,114     | 0,284     | 0,668     | 0,246     | 0,430     | 0,1002      |
| 18                   | 0,263                                             | 0,561     | 0,244     | 0,167     | 0,267     | 0,331     | 0,332     | 0,0990      |
| 19                   | 0,117                                             | 0,262     | 0,310     | 0,380     | 0,179     | 0,135     | 0,500     | 0,1013      |
| 20                   | 0,121                                             | 0,474     | 0,272     | 0,287     | 0,127     | 0,174     | 0,246     | 0,0998      |
| 21                   | 0,112                                             | 0,495     | 0,341     | 0,248     | 0,115     | 0,146     | 0,181     | 0,1014      |
| 22                   | 0,202                                             | 0,266     | 0,100     | 0,271     | 0,148     | 0,271     | 0,451     | 0,1007      |

Таблица 3

| Т- период (в годах) | Интервал интегрирования от начала шкалы (в годах) |         |         |         |         |         |
|---------------------|---------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                     | 0-200                                             | 100-300 | 200-400 | 300-500 | 400-600 | 600-800 |
| 1                   | 0,134                                             | 0,587   | 0,143   | 0,317   | 0,976   | 0,887   |
| 2                   | 0,348                                             | 3,424   | 0,416   | 1,304   | 4,057   | 6,146   |
| 3                   | 1,211                                             | 1,259   | 1,658   | 1,667   | 1,495   | 1,449   |
| 4                   | 3,099                                             | 5,223   | 8,398   | 1,555   | 3,402   | 6,800   |
| 5                   | 8,377                                             | 1,865   | 3,530   | 4,577   | 2,304   | 2,714   |
| 6                   | 4,546                                             | 0,717   | 2,233   | 9,207   | 9,055   | 4,538   |
| 7                   | 4,987                                             | 4,726   | 0,302   | 4,044   | 4,496   | 6,664   |
| 8                   | 4,747                                             | 2,682   | 2,482   | 5,270   | 3,923   | 0,778   |
| 9                   | 1,268                                             | 3,147   | 6,345   | 2,497   | 6,204   | 3,320   |
| 10                  | 1,624                                             | 2,283   | 1,754   | 0,516   | 1,435   | 2,010   |
| 11                  | 2,585                                             | 5,238   | 1,673   | 3,383   | 3,100   | 3,293   |
| 12                  | 1,310                                             | 1,702   | 0,884   | 1,255   | 1,164   | 2,482   |
| 13                  | 0,985                                             | 2,349   | 1,716   | 1,839   | 0,770   | 0,806   |
| 14                  | 1,767                                             | 1,022   | 1,706   | 1,797   | 2,550   | 1,381   |
| 15                  | 1,155                                             | 1,761   | 1,556   | 2,089   | 1,885   | 1,645   |
| 16                  | 0,269                                             | 1,071   | 1,013   | 1,309   | 0,869   | 2,170   |
| 17                  | 1,033                                             | 1,619   | 0,726   | 0,467   | 2,404   | 0,911   |
| 18                  | 1,000                                             | 0,947   | 0,602   | 0,654   | 1,512   | 1,380   |
| 19                  | 0,392                                             | 0,619   | 1,049   | 0,567   | 0,729   | 1,820   |
| 20                  | 0,748                                             | 1,650   | 1,050   | 0,688   | 0,575   | 1,390   |
| 21                  | 0,240                                             | 1,688   | 0,578   | 1,149   | 0,415   | 0,917   |
| 22                  | 0,590                                             | 0,349   | 1,164   | 0,265   | 1,280   | 0,497   |

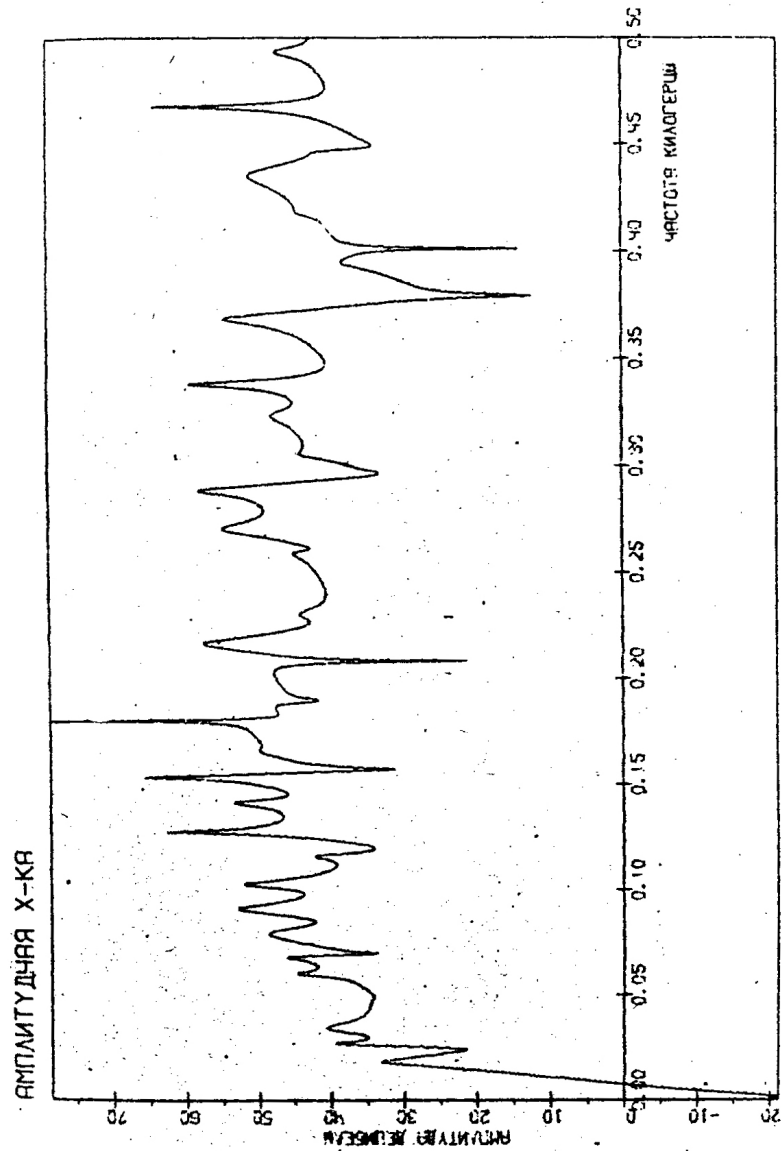


Рис. 6. Логарифм амплитудного спектра *Pinus Aristata*, полученного из передаточной функции

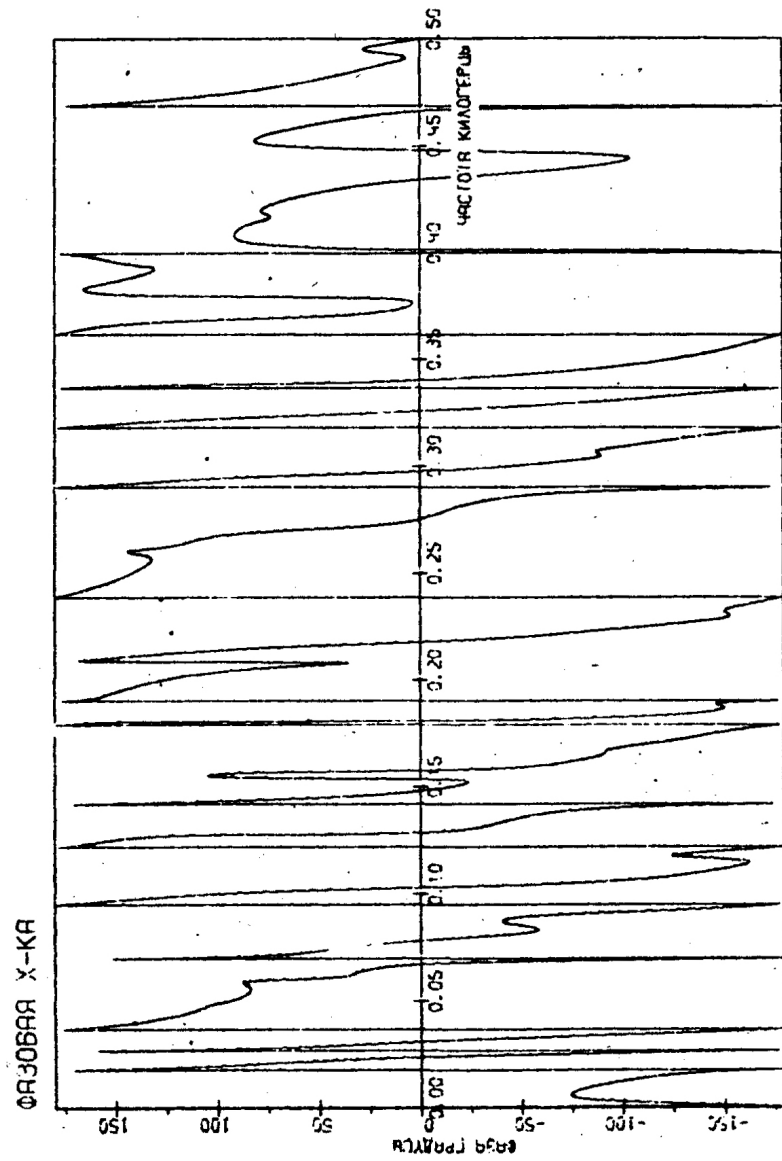


Рис. 7. Фазовый спектр *Pinus Aristata*, полученный из передаточной функции

неадекватность авторегрессионной модели, которая очень распространена при описании дискретных рядов. Поэтому мы попытались описать куски дендрошкалы разностным уравнением с правой стороны согласно методике работы [8]. Полученные из передаточной функции спектры для отрезков шкалы 200-400-той ординат приведены на рисунках 5, 6. Среднеквадратическая ошибка восстановленного ряда по найденному спектру не превышает 2 %. Данный метод анализа является более точным по сравнению с Фурье-методом, так как согласно последнему анализируемый сигнал как будто повторяется при анализе, а по передаточной функции он прогнозируется согласно найденному модели. Нас несколько смущают большие составляющие на частотах, соответствующих не целым периодам, например, 2,4 года для интервала I-200 ординат, или лет, и 6,7 - для интервала 200-400 лет шкалы.

Полученные нами гистограммы разностей прироста древесины в образцах наших времен (рис. 8) по форме совпадают с гистограммой индексов *Pinus Aristata* приведенной в [8]. В дальнейшем необходимо исследовать возможности синхронизации не по нормированным рядам, а по рядам, представляющим разность прироста между соседними годами.

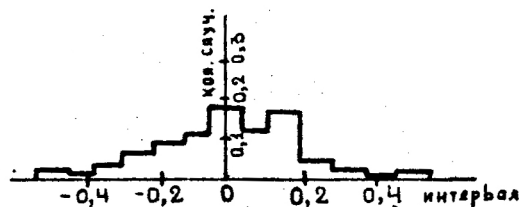


Рис. 8. Гистограмма разностей прироста древесины

4. Выводы. Для составления полной дендрошкалы на материале, состоящем из сравнительно коротких рядов (торфяник Ужпелкис Тирелис, ЛитССР), при теперешнем уровне обработки не хватает информации. Необходимо увеличить число образцов, датированных радиоуглеродным методом. По мере возможности необходимо увеличить число измеряемых признаков древесины. Предварительное исследование дендрошкал и рядов годовых колец отдельных деревьев указывает на чрезвычайную сложность этих рядов. Необходимо создавать специальные методики для исследования рядов годичных колец и дендрошкал. В спектре дендрошкалы *Pinus Aristata* преобладают периоды 2,4,7,9,11 лет, однако эти периоды, возможно, являются результатом биения более низких частот.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. CAMPBELL J.B. Manual for using basic chronology programs. - Laboratory of Tree-Ring Research. Univ. of Arizona, USA, 1973.
2. КУШИКИС Ю.С., БИТВИНСКАС Т.Т., ГИКИС И.И. Синхронизация серии годичных колец при помощи ЭВМ БЭСМ-6. Радиальный прирост и дендроиндикация. Математическое обеспечение. - Каунас, 1981.
3. ДОРОФЕЖК А.А. Алгоритмы автоматической классификации. - Автоматика и телемеханика, 1972, № 12.
4. GOLD B. Computer program for pitch extraction. - J. Acoust. Am., 1967, v. 34, No 7.
5. КОЛЧИН Б.А. Дендрохронология Восточной Европы. - Археология и естественные науки, М., 1965.
6. FERGASON C.W. A 7104-year annual tree-ring chronology for Brislecone pine, *Pinus Aristata* from the white mountains California. - Tree-ring Bulletin, 19 , v. 29, No 3-4.
7. ГИКИС И.И. Способ получения фазовых спектров речевого сигнала. - В сб.: Статистические проблемы управления, вып. 42, Вильнюс, 1980.
8. СЛИВИНСКАС В. Методы минимальной реализации линейных динамических стационарных систем. - В сб.: Статистические проблемы управления, вып. 33, Вильнюс, 1979.

METINIŲ ŽIEDŲ EILUČIŲ SINCHRONIZAVIMAS  
SUDARANT DENDROSKALES

Jonas GIKYS, Teodoras BITVINSKAS, Juozas KUŠLIKIS

Tiriamos galimybės panaudoti žinomus sinchronizacijos metodus dendroskalių sudarymui iš sąlyginai trumpų metinių žiedų eilučių, neviršijančių 150-200 metų, kas būdinga europinei pušiai. Be to, tiriamos jau žinomų skalių, o taip pat atskirų medžių metinių žiedų eilučių charakteristikos.

SYNCHRONIZATION OF ANNUAL TREE-RING SERIES  
FOR DENDROSCALES

Jonas GIKYS, Teodoras BITVINSKAS, Juozas KUŠLIKIS

Possibilities of using the known synchronization methods to form dendroscales from comparatively short annual tree-ring series, not exceeding 150-200 years, typical of European pine, are studied. The characteristics of already known dendroscales as well as those of annual tree-ring series of separate trees are investigated, too.