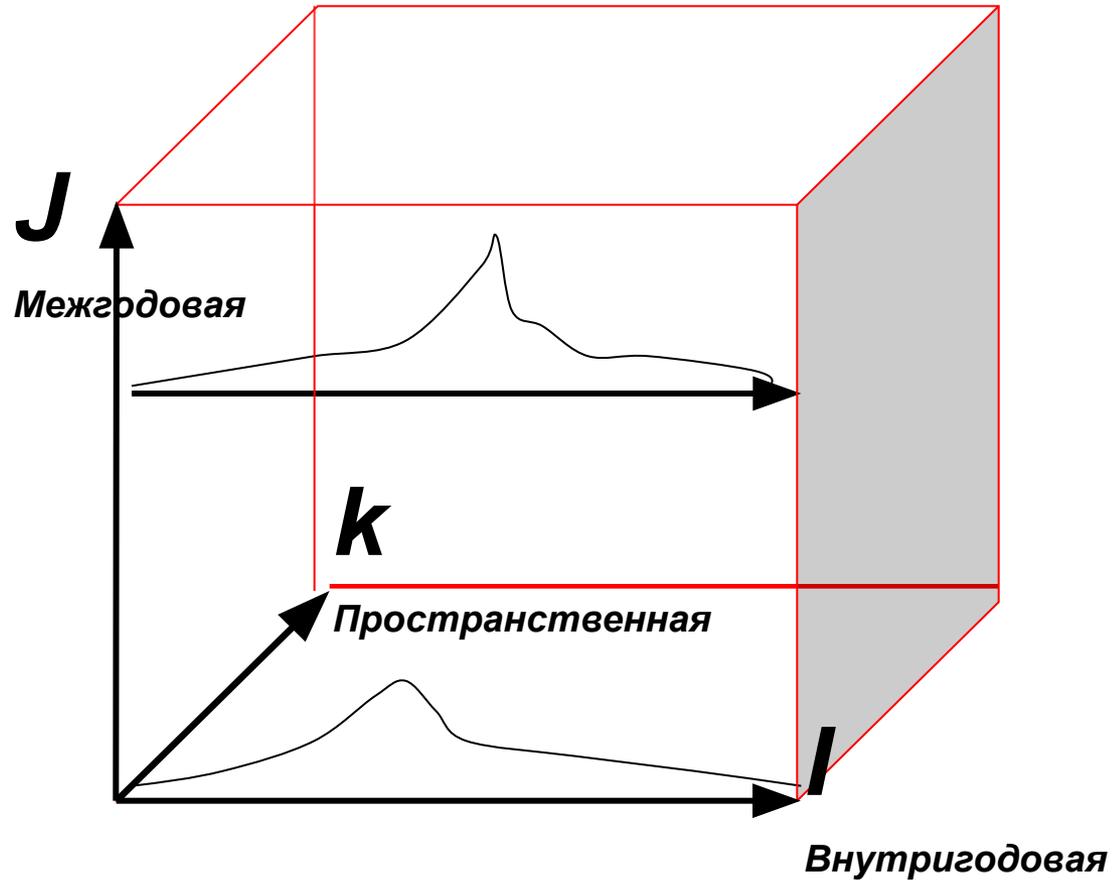
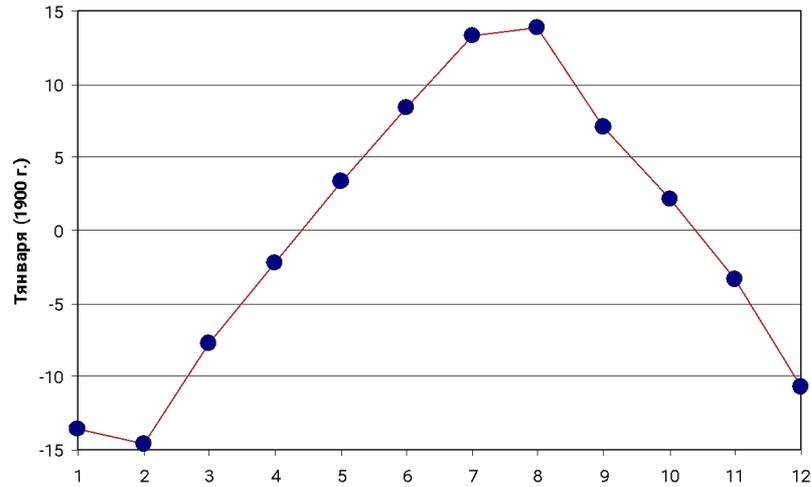


# Лекция 10. Методы пространственно-временного моделирования

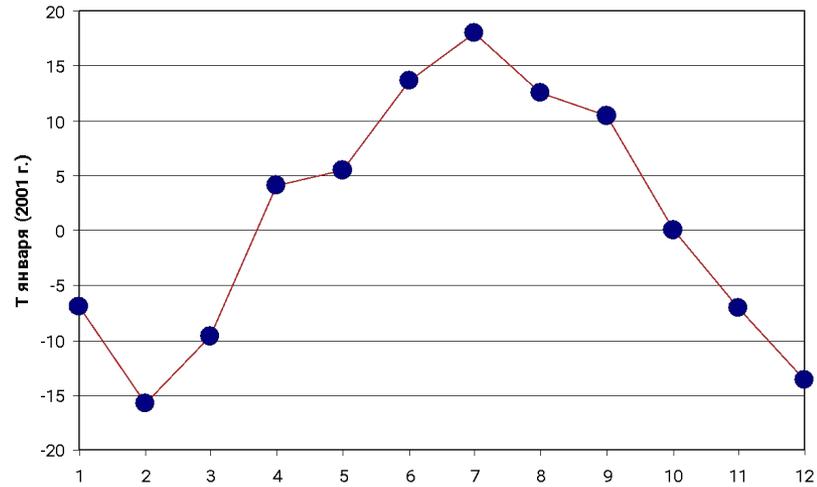
## Климатический куб



# 1. Линейные статистические модели внутригодовых колебаний гидрометеорологических характеристик



метеостанция Архангельск, 1900 г.



метеостанция Архангельск, 2001 г.

$$Y_{ij} = B1_j Y_{i\text{ср}} + B0_j \pm \varepsilon_{ij},$$

где  $Y_{i\text{ср}}$  – средние за каждый  $i$ -ый месяц, представляющие собой координаты многолетней внутригодовой функции;  
 $Y_{ij}$  – среднемесячные расходы воды в  $i$ -ый месяц  $j$ -го года;  
 $B1_j, B0_j$  - коэффициенты линейной зависимости между многолетней внутригодовой функцией и внутригодовой функцией  $j$ -го года;  
 $\varepsilon_{ij}$  – отклонения в  $i$ -ый месяц  $j$ -го года от линейной зависимости (или их стандарт  $S_{\varepsilon_j}$ ).

**Результат:**

**многолетние ряды  $B1_j, B0_j, S_{\varepsilon_j}$ .**

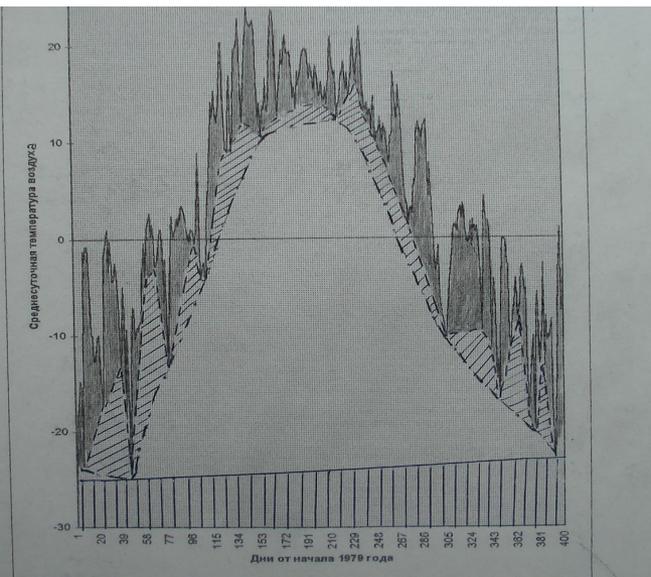
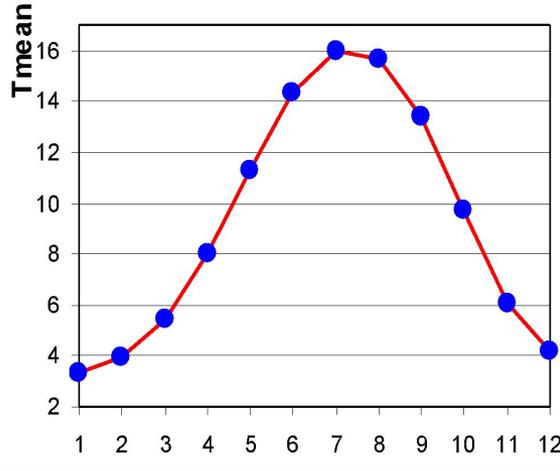


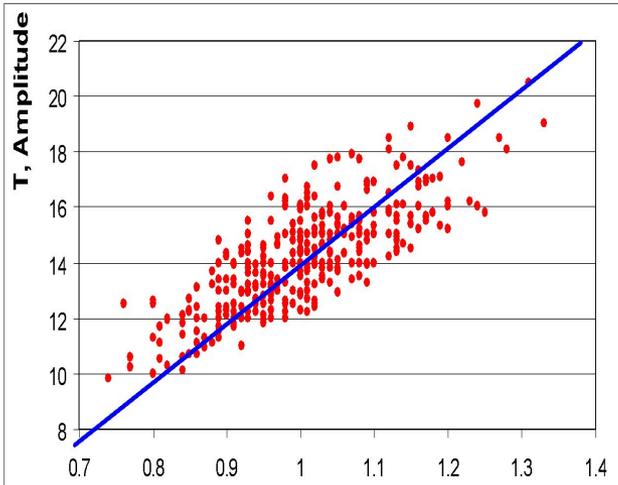
Рис. 29. Декомпозиция среднесуточной температуры воздуха [с. 106-107].  
 □ - воздушные массы;    ▨ - синоптические группы;  
 ■ - годовой цикл;        ▩ - межгодовая изменчивость

# Пример модели внутригодовых колебаний (Температура воздуха, Центральная Англия)

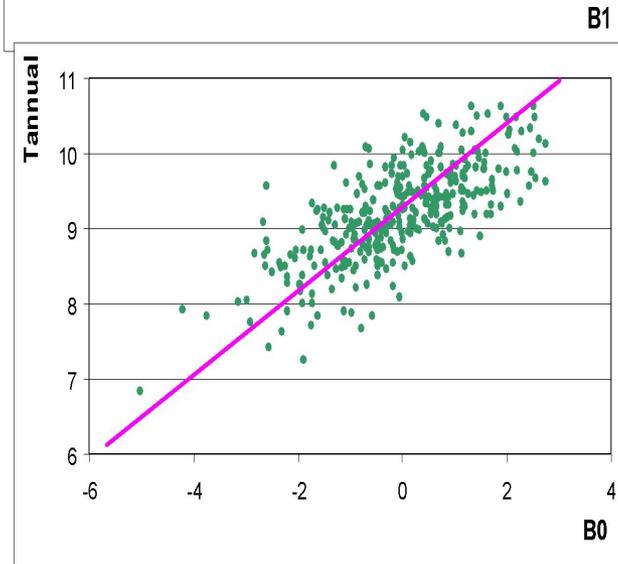
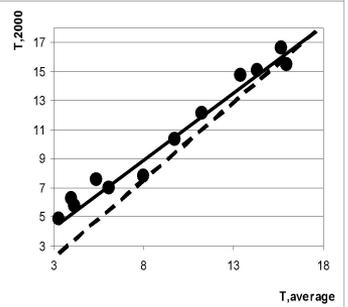
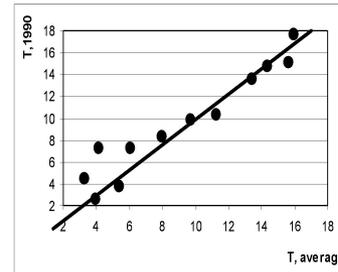
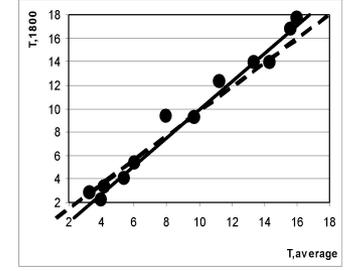
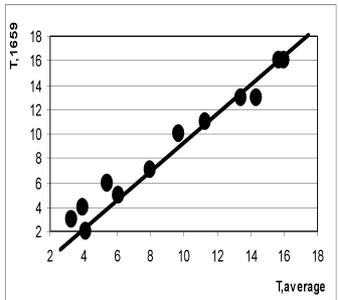
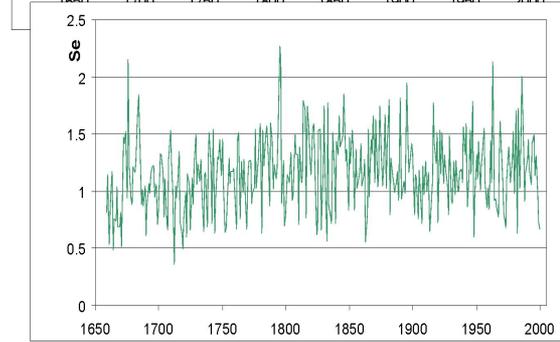
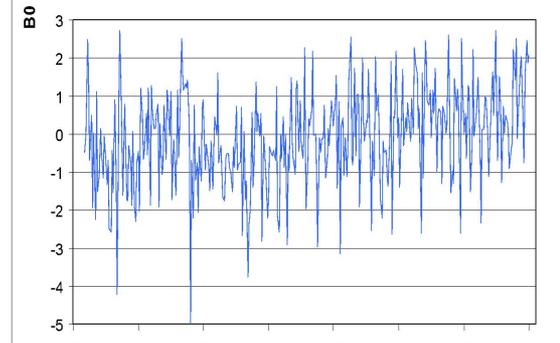
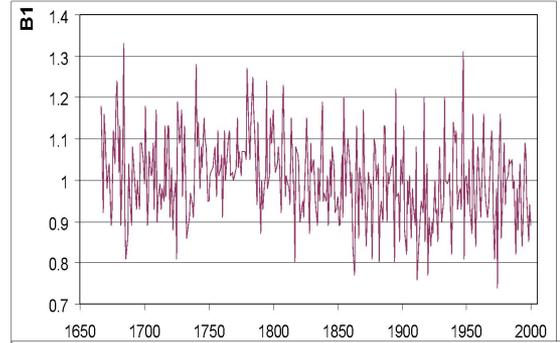
## Сезонная функция



## Интерпретация параметров



## Ряды параметров



# 2. Модель многолетних колебаний

Неоднородность:

$$Y_j = Y_{год j} + Y_{деc j} + Y_{сто j} + \sum \Delta Y_{ант i, j},$$

где:

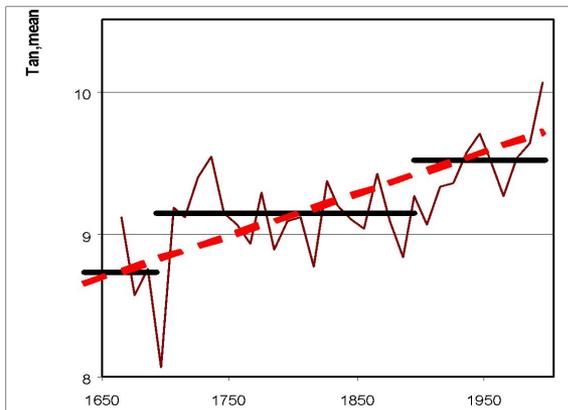
$Y_j$  – наблюдаемая гидрометеорологическая характеристика в  $j$ -ый год;  
 $Y_{год j}$ ,  $Y_{деc j}$ ,  $Y_{сто j}$  - квази-однородные составляющие, соответственно годового, десятилетнего и столетнего временных масштабов (CLIVAR, 1995);  
 $\Delta Y_{ант i, j}$  - надбавка за счет прямого антропогенного влияния каждого  $i$ -го фактора (или суммарная).

Возможная нестационарность:

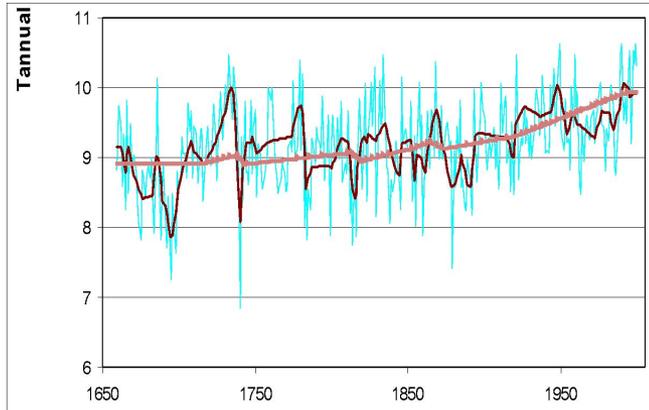
$$\begin{aligned} MY_{деc}(t) \neq const, & \quad DY_{деc}(t) \neq const, \\ MY_{сто}(t) \neq const, & \quad DY_{сто}(t) \neq const, \\ MY_{ант}(t) \neq const, & \quad DY_{ант}(t) \neq const., \quad \dots \end{aligned}$$

## Среднегодовая температура воздуха

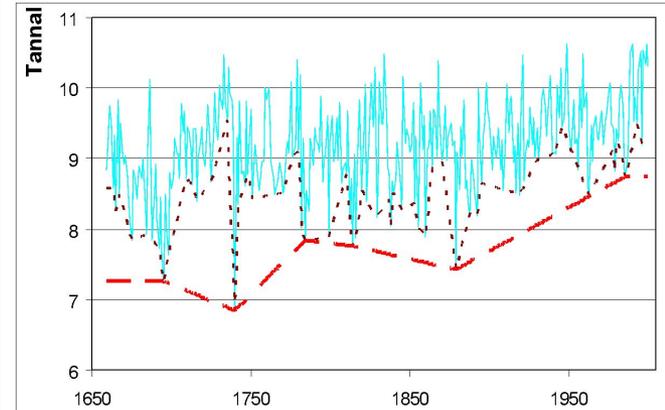
1) Последовательное осреднение (10-летие)



2) Метод сглаживания амплитуд циклов



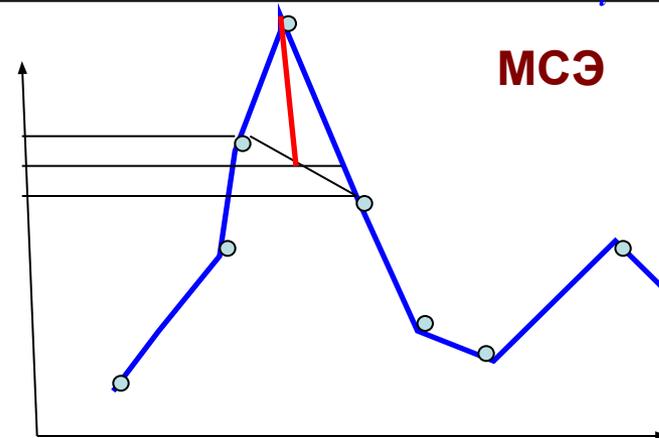
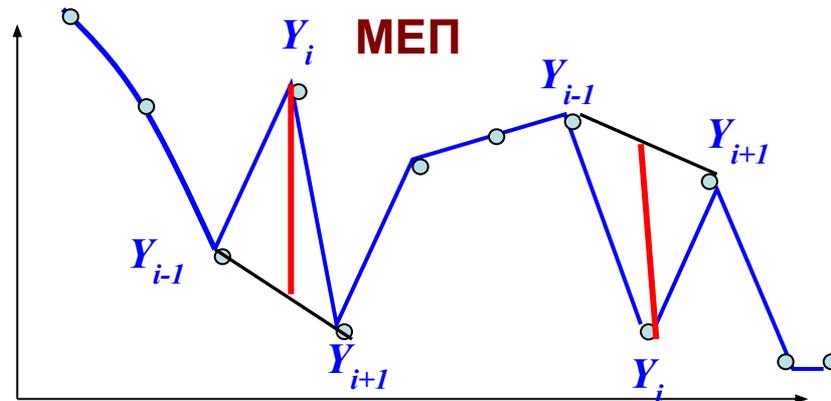
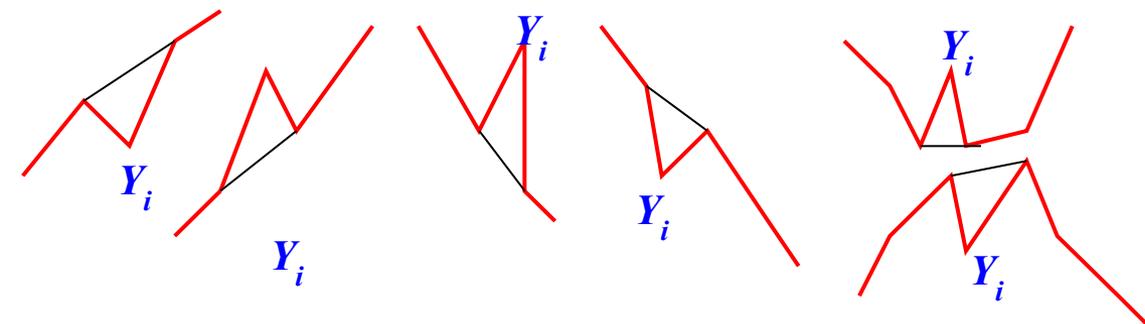
3) Метод “срезки”



## 2.1. Методы оценки погрешностей

### 1. Метод единичных пульсаций (МЕП)

- 1)  $Y_i < Y_{i+p}$      $Y_i < Y_{i-p}$      $Y_{i+1} > Y_{i-1} > Y_{i-2}$ ,
- 2)  $Y_i > Y_{i-p}$      $Y_i > Y_{i+p}$      $Y_{i+2} > Y_{i+1} > Y_{i-1}$ ,
- 3)  $Y_i > Y_{i-p}$      $Y_i > Y_{i+p}$      $Y_{i-2} > Y_{i-1} > Y_{i+1}$ ,
- 4)  $Y_i < Y_{i-p}$      $Y_i < Y_{i+p}$      $Y_{i-1} > Y_{i+1} > Y_{i+2}$ ,
- 5)  $Y_i > Y_{i-p}$      $Y_i > Y_{i+p}$      $Y_{i-2} > Y_{i-1}$ ,     $Y_{i+2} > Y_{i+1}$ ,
- 6)  $Y_i < Y_{i-p}$      $Y_i < Y_{i+p}$      $Y_{i-1} > Y_{i-2}$ ,     $Y_{i+1} > Y_{i+2}$



### 2. Метод сглаживания экстремумов (МСЭ)

Значения смещения методов ( $\Delta$ , %) и корректировочные коэффициенты ( $K$ ) в зависимости от объема выборки

$$\varepsilon_i^+ = Y_i - (Y_{i+1} + Y_{i-1})/2$$

$$\varepsilon_i^- = Y_i + (Y_{i+1} + Y_{i-1})/2$$

n	10	50	100	200	500	1000	5000
$\Delta'$ , %	7.0	9.8	14.4	17.1	18.0	19.8	22.5
$\Delta''$ , %	16.3	22.3	22.4	22.5	22.5	22.5	22.5
$K'$	0.93	0.91	0.87	0.85	0.84	0.83	0.816
$K''$	0.86	0.83	0.82	0.816	0.816	0.816	0.816

## 2.2. Методы декомпозиции гидрометеорологических процессов

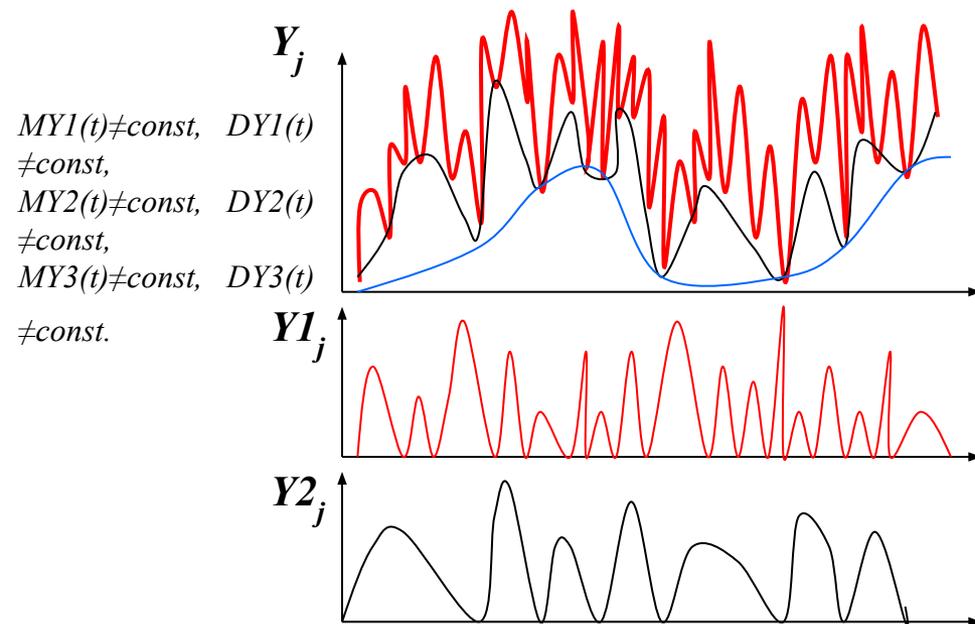
$$Y_j = Y1_j + Y2_j + Y3_j + \dots, \quad \text{или} \quad Y_j = Y_{годj} + Y_{деcj} + Y_{стоj} + \dots,$$

где:

$Y_j$  – наблюдаемая гидрометеорологическая характеристика в  $j$ -ый год;  
 $Y_{годj}$ ,  $Y_{деcj}$ ,  $Y_{стоj}$  – квази-однородные составляющие, соответственно годового, десятилетнего и столетнего временных масштабов.

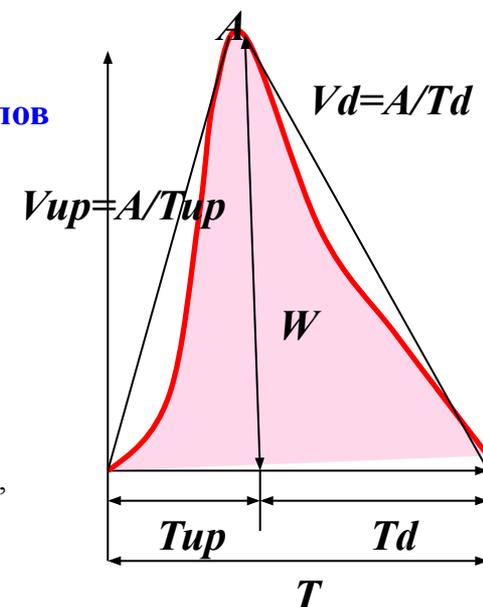
**Возможная нестационарность:**

**Процесс (однородные составляющие)**



**Характеристики (параметры) циклов**

$MT(Y1)(t) \neq const,$   
 $DT(Y1)(t) \neq const,$   
 $MA(Y1)(t) \neq const,$   
 $DA(Y1)(t) \neq const,$   
 $MTup(Y1)(t) \neq const,$   
 $DTup(Y1)(t) \neq const,$   
 $MTd(Y1)(t) \neq const,$   
 $DTd(Y1)(t) \neq const,$   
 $MVup(Y1)(t) \neq const,$   
 $DVup(Y1)(t) \neq const,$   
 $MVd(Y1)(t) \neq const,$   
 $DVd(Y1)(t) \neq const,$   
 $MW(Y1)(t) \neq const,$   
 $DW(Y1)(t) \neq const,$



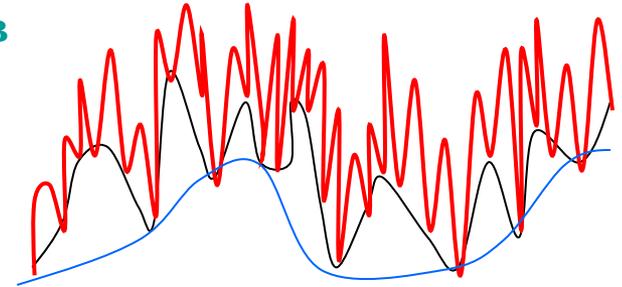
.....

# Метод «срезки»

$$Y_j = Y_{год j} + Y_{деc j} + Y_{сто j} + \dots,$$

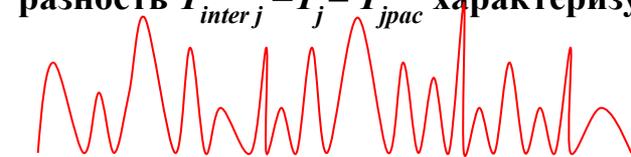
$Y_j$  – наблюдаемая гидрометеорологическая характеристика в  $j$ -ый год;  
 $Y_{год j}$ ,  $Y_{деc j}$ ,  $Y_{сто j}$  – квазиоднородные составляющие, соответственно годового, десятилетнего и столетнего и т.д. временных масштабов

Метод срезки основан на последовательном вычитании из общего ряда данных наблюдений ( $Y_{com}$ ) процессов разных временных масштабов, начиная с наименьшего – межгодового.

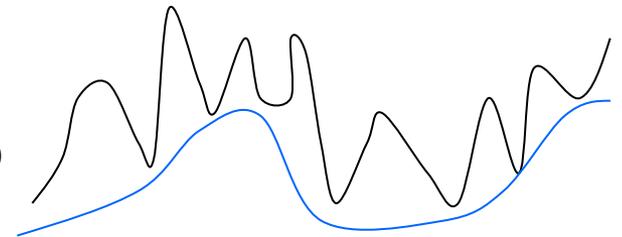


Алгоритм метода «срезки»:

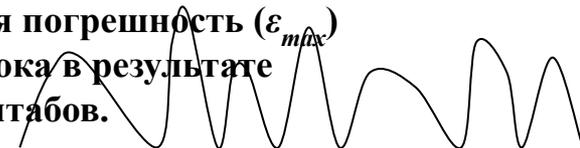
- задается начальное значение предельной погрешности и(или) количество процессов разных временных масштабов;
- в многолетнем ряду вначале выделяются все экстремумы, а затем исключаются те, последовательные разности между которыми (амплитуды циклов) меньше  $\varepsilon_{max}$ ;
- минимумы выделенных значимых циклов соединяются прямыми линиями и на основе линейной интерполяции определяются значения  $Y_{jpac}$  для каждого года;
- принимается, что в точках минимумов процесс наименьшего масштаба отсутствует, поэтому из ряда наблюдений вычитается кусочно-линейная составляющая, соединяющая минимумы циклов и полученная разность  $Y_{inter j} = Y_j - Y_{jpac}$  характеризует процесс наименьшего масштаба – межгодовых колебаний;



- процедуру поиска значимых экстремумов повторяют для остатка ( $Y_{jpac}$ ) и в результате «срезают» процесс следующего временного масштаба десятилетнего ( $Y_{dec j}$ );



- если остаток далее невозможно разделить на составляющие, то он представляет собой процесс вековых изменений ( $Y_{cent j}$ ), если же можно срезать и вековые колебания, то предельная погрешность ( $\varepsilon_{max}$ ) увеличивается на небольшой градиент и процедура повторяется до тех пор, пока в результате «срезки» не будут получены процессы заданного количества временных масштабов.



# Оценка эффективности метода "срезки" $Y=Y_1+Y_2+Y_3+b_0=\sin(2\pi i_1/8-\pi/2)+\cos(2\pi i_2/40-\pi)+\sin(2\pi i_3/200-\pi/2)+3.0$

$$Y = (1 + 0.5 \cos \frac{2\pi j_1}{4}) \sin\left(\frac{2\pi i_1}{8 + 4 \sin \frac{2\pi i_1}{4}} - \frac{\pi}{2}\right) + (1 + 0.25 \sin \frac{2\pi j_2}{4}) \cos\left(\frac{2\pi i_2}{40 + 20 \sin \frac{2\pi i_2}{4}} - \pi\right) + \sin\left(\frac{2\pi i_3}{200} - \frac{\pi}{2}\right) + 3$$

$T_1=8, T_2=40, T_3=200$  и  $A_1=A_2=A_3=2$

$T_{1j_1} = 8 + 4 \sin(2\pi j_1/4);$

$j_1 = 1, 2, \dots, m_1;$

$i_1 = 1 \div T_{1j_1};$

$T_{2j_2} = 40 + 20 \sin(2\pi j_2/4);$

$j_2 = 1, 2, \dots, m_2;$

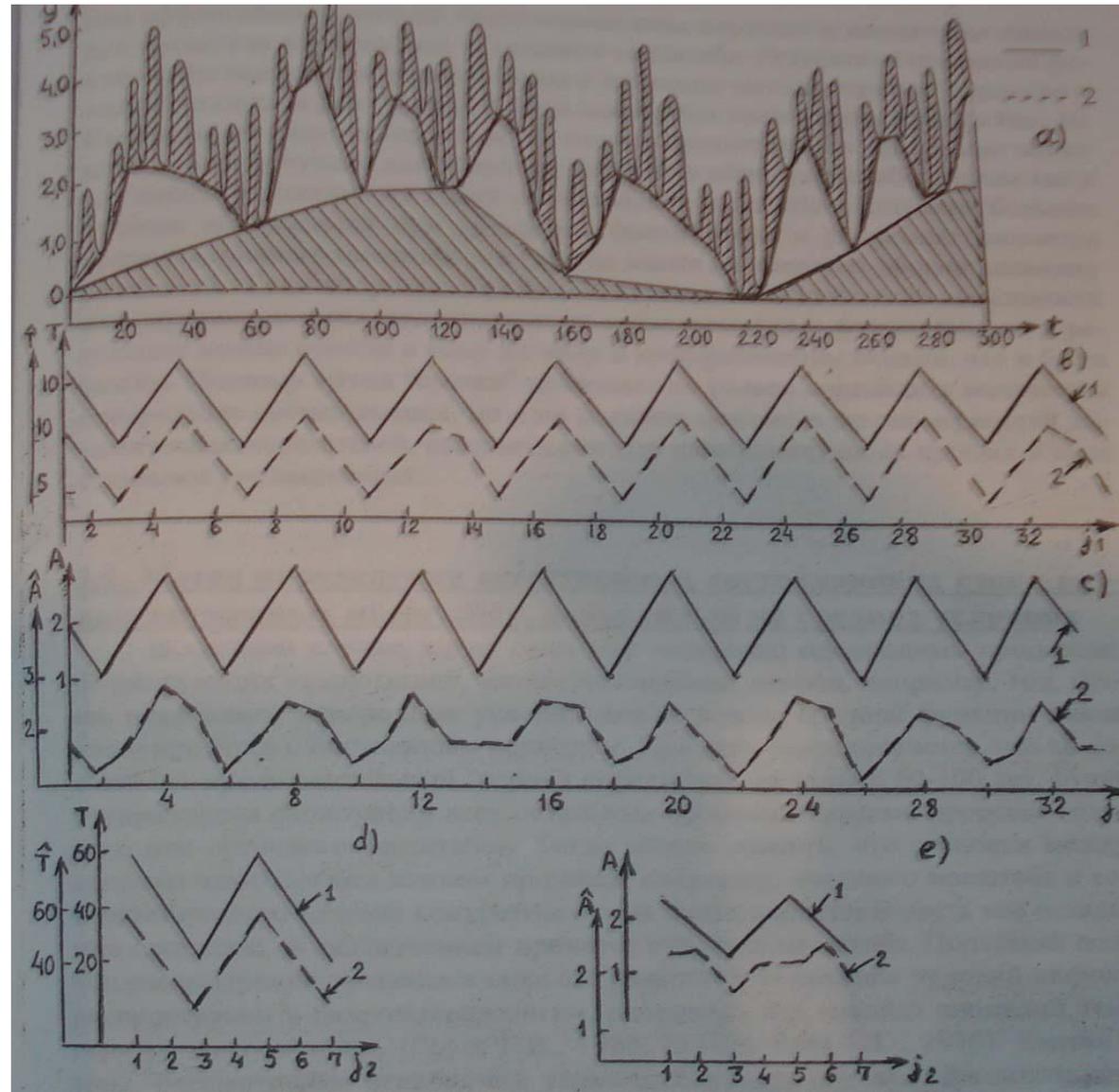
$i_2 = 1 \div T_{2j_2};$

$A_{1j_1} = 1.0 + 0.5 \cos(2\pi j_1/4);$

$j_1 = 1, 2, \dots, m_1;$

$A_{2j_2} = 1.0 + 0.25 \cos(2\pi j_2/4);$

$j_2 = 1, 2, \dots, m_2;$



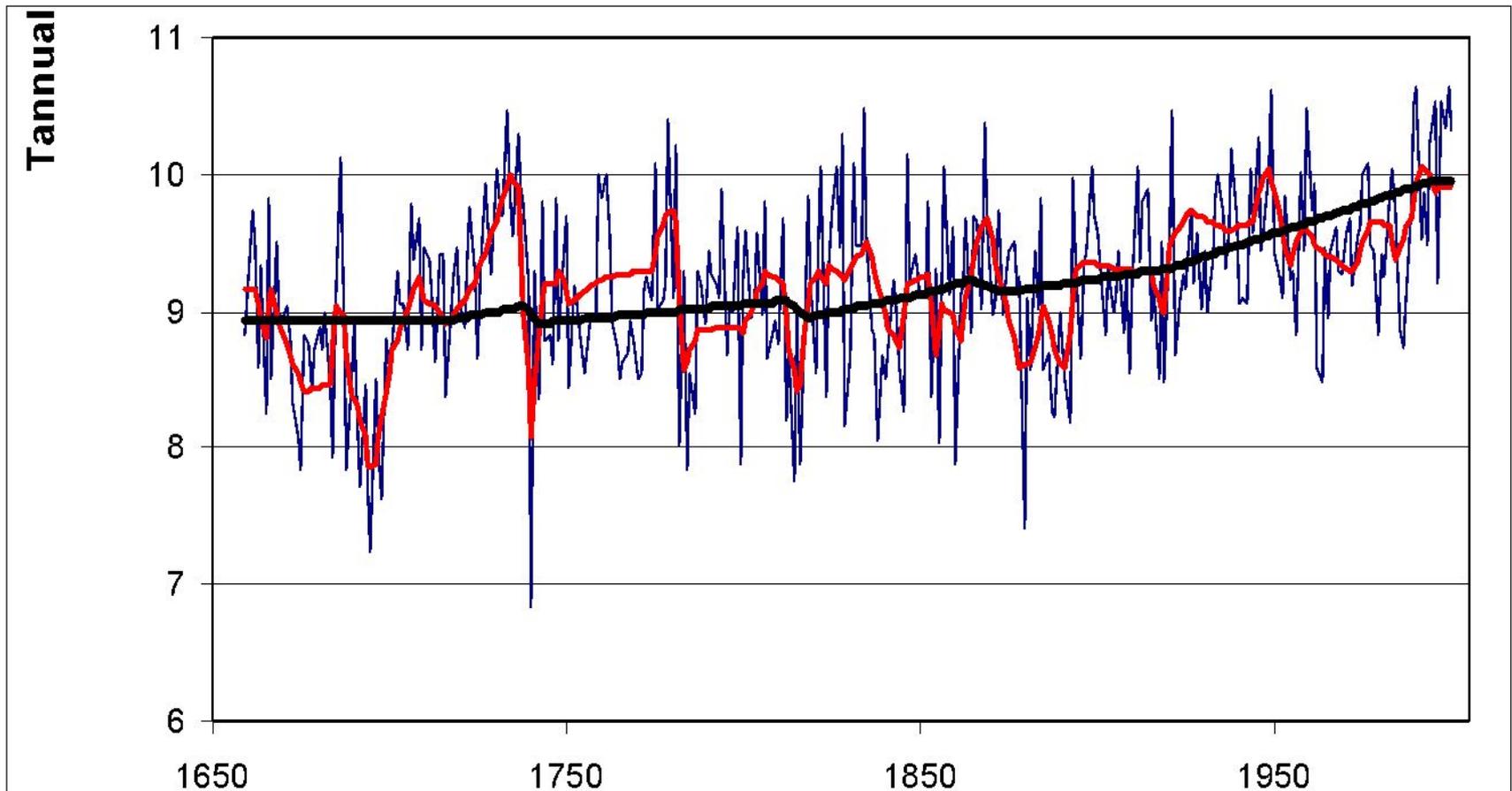
Относительные погрешности (в %) определения периодов двух разномасштабных процессов методом “срезки”

Погрешность, % от $A_A$	$T_A$	$A_B/A_A$	$T_B/T_A$		
			3	5	10
Процесс наименьшего масштаба $A$					
20	3	0.5	16	16	16
		1.0	19	16	16
		3.0	86	33	16
	10	<b>0.5</b>	5	2	2
		1.0	6	3	2
		3.0	32	6	3
	20	0.5	1.8	1.2	1.0
		1.0	1.9	1.5	1.3
		3.0	26	3	1.7
Процесс наибольшего масштаба $B$					
50	3	0.5	6.8	3.4	2.0
		1.0	6.8	3.6	2.6
		3.0	11.9	4.8	3.6
	10	0.5	1.0	0.8	0.7
		1.0	1.0	0.8	0.7
		3.0	14.9	0.9	0.8
	20	0.5	0.8	0.7	0.5
		1.0	0.8	0.7	0.5
		3.0	23.5	13	5

# Метод сглаживания амплитуд циклов

Алгоритм метода сглаживания амплитуд циклов аналогичен алгоритму метода срезки, но в этом методе вместо соединения точек минимумов значимых циклов соединяются точки середин ветвей подъема и спада циклов, т.е. происходит сглаживание амплитуд пульсаций.

Модельные примеры и практика применения показали, что метод «срезки» позволяет эффективно определять характеристики циклов высокочастотных составляющих, а метод сглаживания амплитуд циклов – форму низкочастотной составляющей.



# Программа **SREZKA** для разделения сложного временного ряда на квазиоднородные составляющие методом срезки.

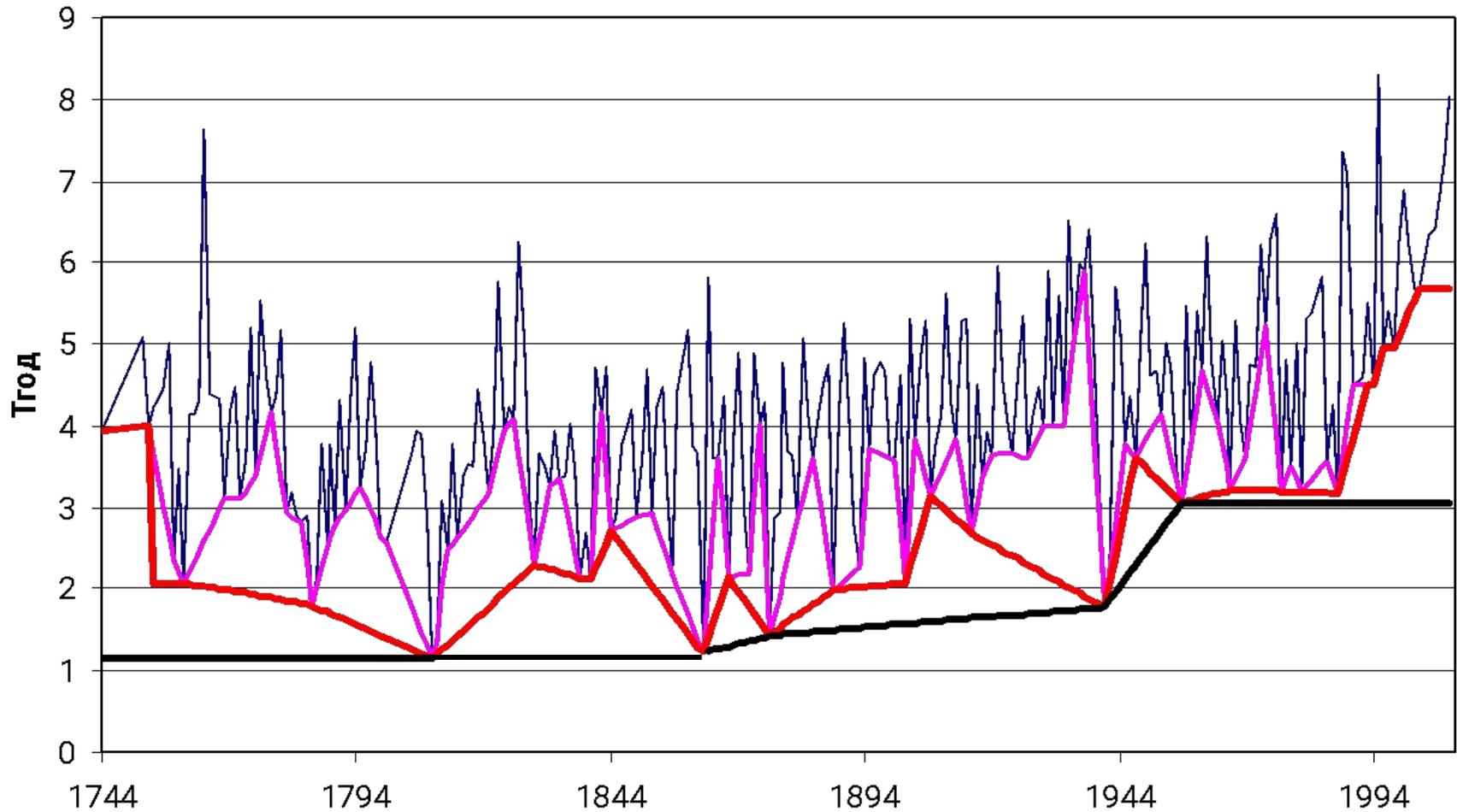
```
c ПРОГРАММА РАЗДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ПРОЦЕССА
c НА КВАЗИОДНОРОДНЫЕ
c СОСТАВЛЯЮЩИЕ РАЗНОГО МАСШТАБА
c Y - ИСХОДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ РЯД,
c Y1(J,I) - ВОЗМОЖНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕССА ( ОТ 1-ОЙ ДО 5-ОЙ )
c NT - ВРЕМЕННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ
DIMENSION y(6000),yc(3000,2),yr(6000),ost(6000),
*cngod(6000),y2(6000),z(6000),z1(6000),cngod1(6000),
*xx(7,3000),y1(6,6000),pr(6,6000)
*,cnach(7),ckon(7),ynach(7),ykon(7)
character name1*36,name2*36
write(*,*)'Введите имя файла с исходными данными'
read(*,101)name1
101 format(a36)
write(*,*)'Введите количество рядов в файле'
read(*,*)kr
write(*,*)'Задайте количество процессов разных масштабов'
read(*,*)nump
write(*,*)'Введите имя файла для записи результатов'
read(*,101)name2
open(5,file=name1,status='old')
open(6,file=name2,status='new')
do 1 jj=1,kr
read(5,*)n
do 977 i=1,n
read(5,*)cngod(i),y(i)
977 continue
write(6,*)'*****НОМЕР РЯДА *****=' ,jj
nn10=n
cmax=-10000000.
cmin=100000000.
```

```
do 713 i=1,n
if(y(i).lt.cmin) cmin=y(i)
if(y(i).gt.cmax) cmax=y(i)
713 continue
raa=abs(cmax-cmin)
write(*,*)'Размах ряда =' ,raa
write(6,*)'Размах ряда =' ,raa
d=0.001*raa
55 DO 29 I=1,N
y2(i)=y(i)
Y1(1,I)=Y(I)
29 continue
DO 30 J1=1,100
n=nn10
CALL WEGA(Y2,cngod,D,N,YC,N3,N1,N8,1)
write(*,*)'Шаг сглаживания=' ,j1
IF(N8.lt.1) NP=J1
IF(N8.lt.1) GO TO 40
CALL SPUMAM(y2,cngod,YC,N,N1,YR)
DO 31 I=1,N
Y1(J1+1,I)=YR(I)
Y2(I)=YR(I)
31 CONTINUE
30 CONTINUE
40 cngodd=cngod(1)
write(6,*)'D=' ,d,'np=' ,np
if(np.gt.nump) then
d=d+0.01*raa
go to 55
endif
c do 69 i=1,n
c write(6,*)cngod(i),(y1(j,i),j=1,np)
c 69 continue
```

# Файл результатов

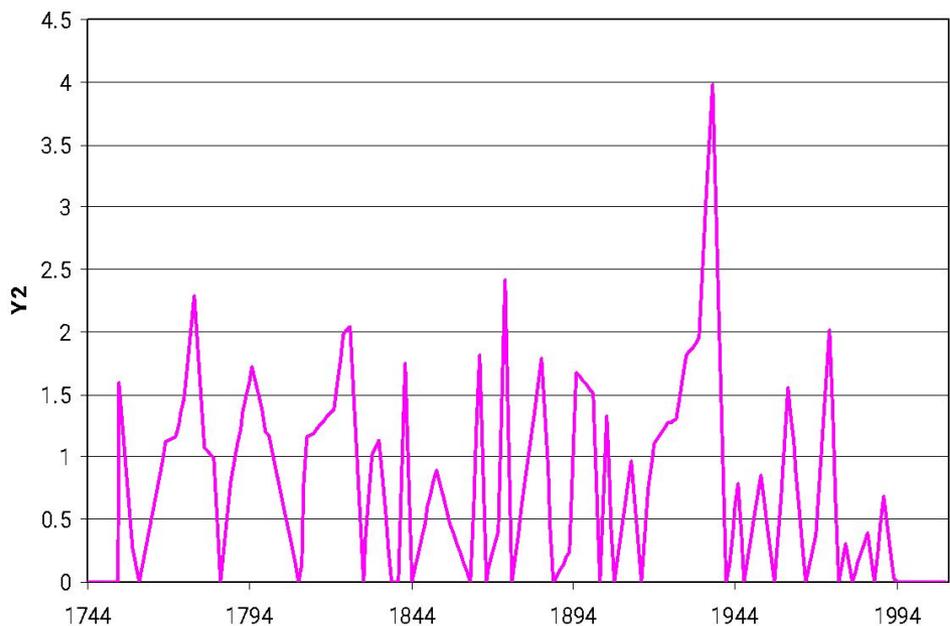
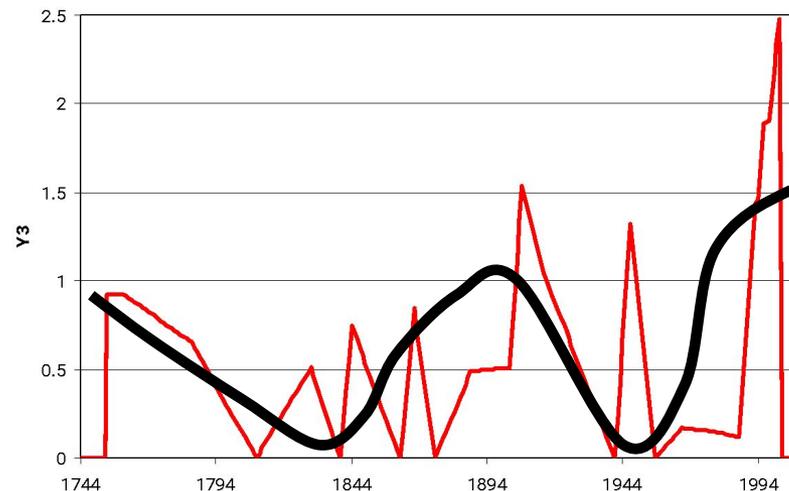
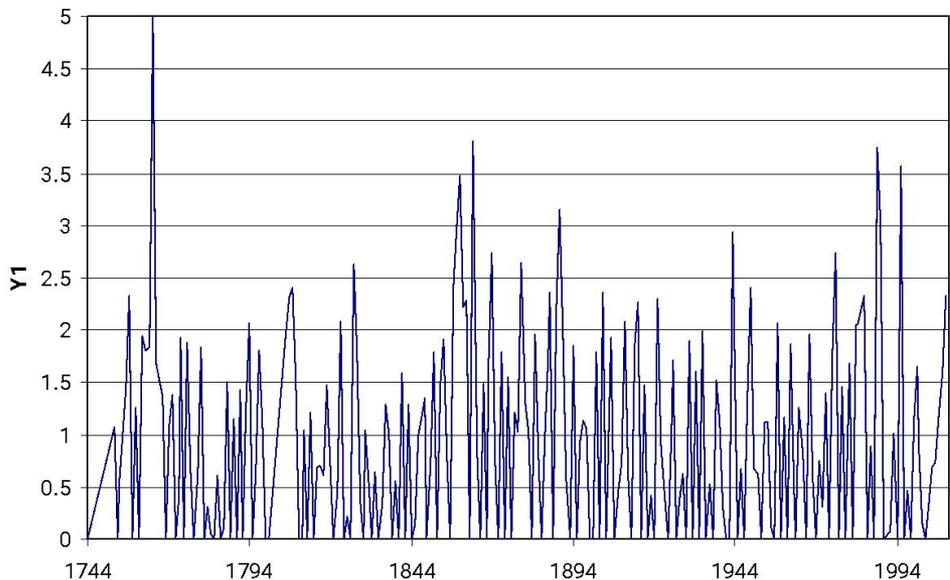
Год	Y1	Y2	Y3	Y4
1744	3.942	3.942	3.942	1.15
1752	5.075	4	4	1.15
1753	4	4	4	1.15
1754	4.233	3.671	2.075	1.15
1755	4.333	3.342	2.075	1.15
1756	4.458	3.013	2.075	1.15

## Интегральные составляющие разных масштабов



.....

# Дифференциальные составляющие разных масштабов

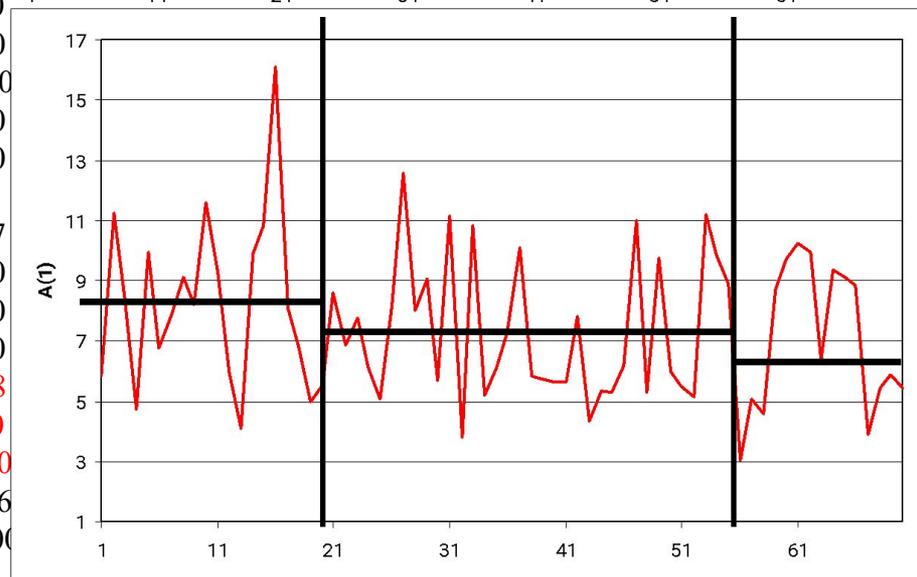
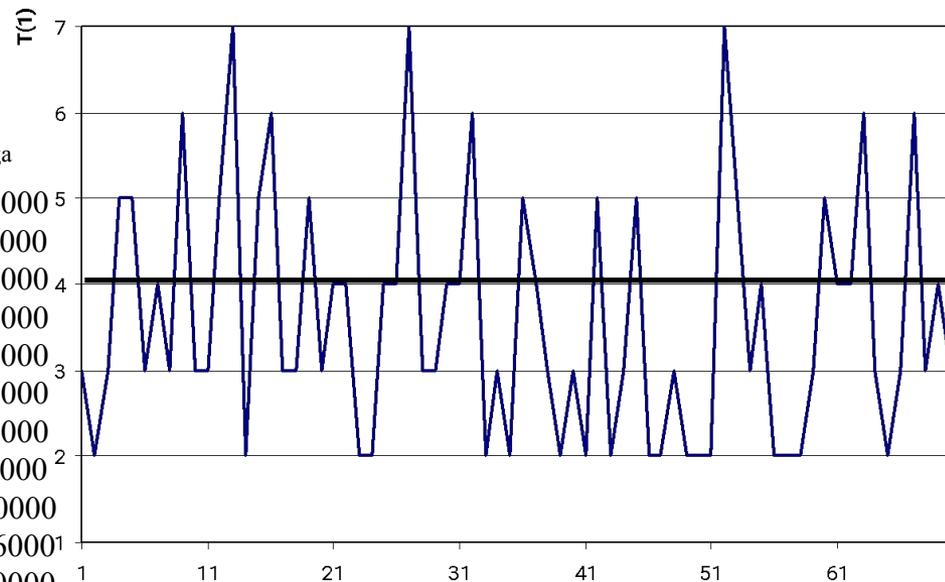


	Год	Y1	Y2	Y3	Y4
1	1744	0	0	0	0
2	1752	1.075	0	0	0
3	1753	0	0	0	0
4	1754	0.562	1.596	0.925	0
5	1755	0.992	1.267	0.925	0
6	1756	1.446	0.938	0.925	0
7	1757	2.325	0.609	0.925	0
8	1758	0	0.28	0.925	0
9	1759	1.26	0.14	0.925	0
10	1760	0	0	0.925	0
11	1761	1.946	0.14	0.914	0
12	1762	1.808	0.28	0.903	0
13	1763	1.828	0.42	0.892	0

# Файл результатов

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬСАЦИЙ

	Нач.	Кон.	T	NMAX	Tп	Tсп	A	Vпод	Vспада
1	1755	1758	3	1756	1	2	5.83333	3.80000	4.95000
2	1758	1760	2	1759	1	1	11.2500	10.3000	12.2000
3	1760	1763	3	1762	2	1	8.50000	6.75000	6.00000
4	1763	1768	5	1765	2	3	4.74000	1.55000	2.40000
5	1768	1773	5	1769	1	4	9.92000	10.0000	2.40000
6	1773	1776	3	1775	2	1	6.76667	2.45000	7.70000
7	1776	1780	4	1777	1	3	7.87500	8.90000	1.60000
8	1780	1783	3	1782	2	1	9.10000	2.45000	11.2000
9	1783	1789	6	1785	2	4	8.20000	5.20000	0.950000
10	1789	1792	3	1791	2	1	11.5667	4.75000	12.6000
11	1792	1795	3	1794	2	1	9.26667	6.10000	7.80000
12	1795	1800	5	1796	1	4	5.98000	5.90000	1.57500
13	1800	1807	7	1806	6	1	4.10000	0.783333	4.00000
14	1807	1809	2	1808	1	1	9.90000	5.90000	13.9000
15	1809	1814	5	1810	1	4	10.8600	10.3000	3.27500
.....									
67	1990	1996	6	1993	3	3	3.90000	1.03333	1.56667
68	1996	1999	3	1998	2	1	5.43333	2.65000	5.50000
69	1999	2003	4	2001	2	2	5.85000	2.35000	3.50000
70	2003	2006	3	2005	2	1	5.43333	3.95000	4.20000
<b>Среднее</b>			<b>3</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>7.53537</b>	<b>5.20914</b>	<b>5.65048</b>
<b>Макс.</b>			<b>7</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>16.1000</b>	<b>11.4000</b>	<b>13.9000</b>
<b>Мин.</b>			<b>2</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3.05000</b>	<b>0.783333</b>	<b>0.95000</b>
Стандарт			1		1	1	2.53275	2.71218	3.39976
Размах			5		5	5	13.0500	10.6167	12.9500



**Процесс наименьшего(межгодового) масштаба**

# Программа **SMOOTH** для разделения сложного временного ряда на квазиоднородные составляющие методом сглаживания амплитуд циклов.

c ПРОГРАММА СГЛАЖИВАНИЯ МНОГОЛЕТНЕГО ВРЕМЕННОГО РЯДА ПО АМПЛИТУДАМ  
c ЦИКЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОПЕРИОДНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

c при задании предельного числа процессов

c Y - ИСХОДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ РЯД, YK - климатическая составляющая

c NT - ВРЕМЕННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ

DIMENSION y(6000),yc(3000,2),yr(6000),cngod(6000),y2(6000),

\*y1(6,6000),z(6000),z1(6000),cngod1(6000)

character name1\*36,name2\*36

write(\*,\*)'Введите имя файла с исходными данными'

read(\*,101)name1

101 format(a36)

write(\*,\*)'Введите количество рядов в файле'

read(\*,\*)kr

write(\*,\*)'Задайте количество процессов разных масштабов'

read(\*,\*)nump

write(\*,\*)'Введите имя файла для записи результатов'

read(\*,101)name2

open(5,file=name1,status='old')

open(6,file=name2,status='new')

do 1 jj=1,kr

read(5,\*)n

do 977 i=1,n

read(5,\*)cngod(i),y(i)

977 continue

c write(6,\*)'n=',n

c write(6,\*)(cngod(i),i=1,n)

c write(6,\*)(y(i),i=1,n)

nn10=n

cmax=-10000000.

cmin=100000000.

do 713 i=1,n

if(y(i).lt.cmin) cmin=y(i)

# Файл результатов

1744	3.94167	4.50416	4.01917	3.5797
1752	5.075	4.50416	4.01917	3.5797
1753	4	4.50416	4.01917	3.5797
1754	4.23333	4.50416	4.01917	3.5797

.....

2000.00	6.88333	6.06167	3.44584	3.42083
2001.00	6.24167	6.20667	3.44584	3.42083
2002.00	5.68333	5.91667	3.44584	3.42083
2003.00	5.67500	5.91667	3.44584	3.42083
2004.00	6.00833	5.91667	3.44584	3.42083
2005.00	6.35833	5.91667	3.44584	3.42083
2006.00	6.40833	5.91667	3.44584	3.42083
2007.00	6.81667	5.91667	3.44584	3.42083
2008.00	7.27500	5.91667	3.44584	3.42083
2009.00	8.01111	5.91667	3.44584	3.42083

Параметры регрессии со временем

$r = 0.515548$

$b1 = 0.293328E-02$

$b0 = -1.58414$

Вклады климатической составляющей

по размахам

$Rcl = 1.18023$     $Risx = 7.14000$     $delt, \% = 16.5299$

по дисперсиям

$Dcl = 0.173360$     $Disx = 1.56848$     $delt, \% = 11.0528$

по стандартам

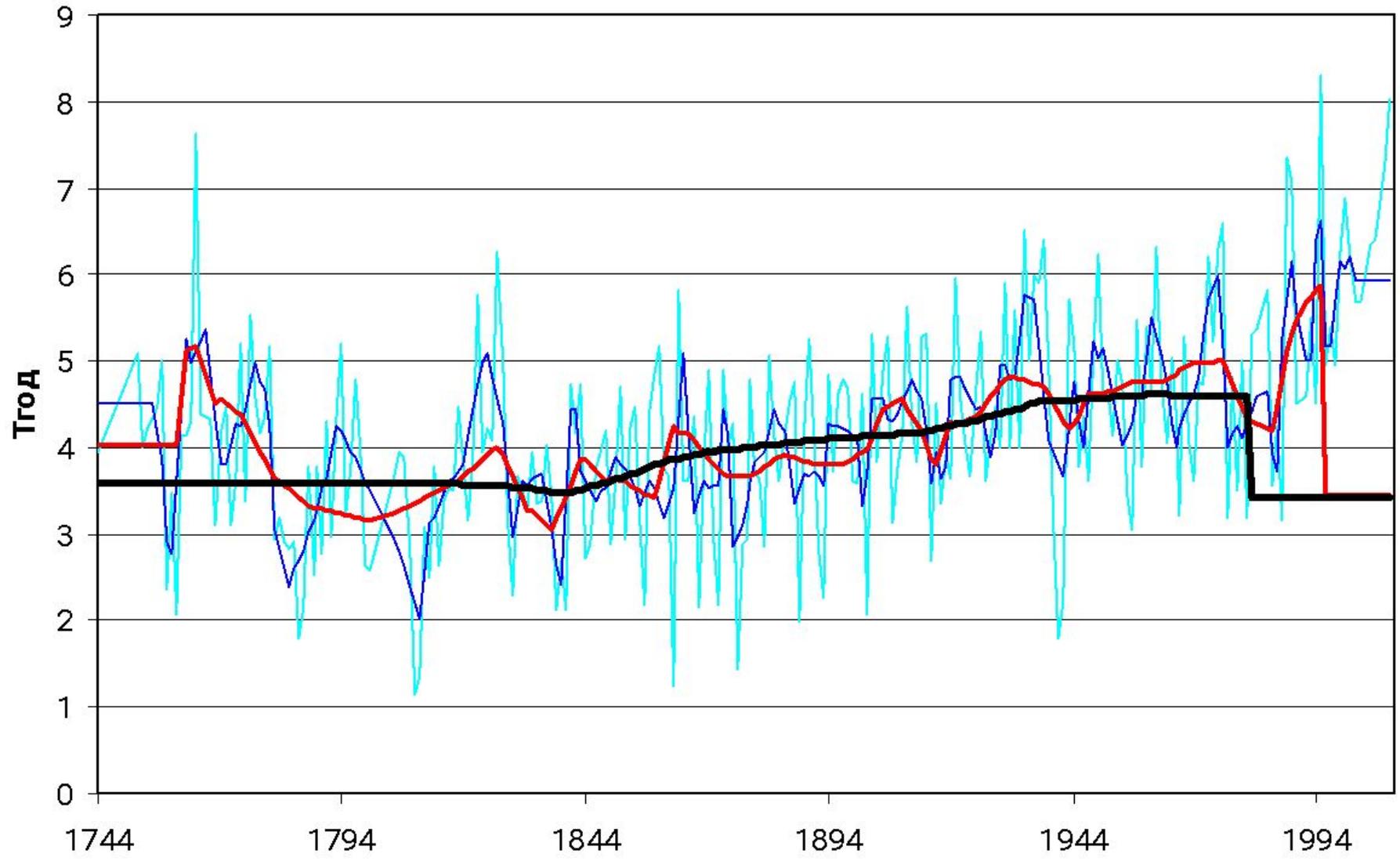
$Sc1 = 0.416365$     $Sisx = 1.25239$     $delt, \% = 33.2457$

Общее изменение за счет климата =  $0.739186$

Скорость изменения за 10 лет =  $0.292169E-01$

# Файл результатов

1744	3.94167	4.50416	4.01917	3.5797
1752	5.075	4.50416	4.01917	3.5797
1753	4	4.50416	4.01917	3.5797
1754	4.23333	4.50416	4.01917	3.5797



# 3. Пространственное обобщение и моделирование полей

Массив гидрометеорологической характеристики:  $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ , где  $m$  – число точек поля.

**Ситуация А:** пространственное изменение характеристики соизмеримо с погрешностью ее определения.

**Обобщение: пространственное осреднение**  $Y_{cp} = f_1(Y_1, Y_2, \dots, Y_m),$

$f_1$  – функция обычного или весового (в случае разных погрешностей) осреднения,

**Условие соизмеримости погрешностей:**  $F_p = \sigma_{пр}^2 / \sigma_{пог}^2 \leq F_{кр, \alpha}$

$\sigma_{пр}^2$  – дисперсия пространственной изменчивости рассматриваемой характеристики;  $\sigma_{пог}^2$  – дисперсия погрешности ее определения.

**Ситуация Б:** пространственная изменчивость характеристик превышает их погрешности и существуют закономерности изменений по территории.

**Обобщение: зависимость от координат местности**  $Y_i = f_2(\varphi_i, \lambda_i)$  горы:  $Y_i = f_2(\varphi_i, \lambda_i, H)$

**Ситуация В:** пространственная изменчивость характеристик превышает их погрешности и закономерности изменений по территории отсутствуют.

**Обобщение: зависимость от факторов**

$$Y_i = f_3(X_1, X_2, X_3, \dots)$$



**Объединение непрерывности (Б) и дискретности (В):**

$$Y_i = \underset{\substack{\text{среднегодовой} \\ \text{зональная} \\ \text{составляющая}}}{f_1(\varphi_i, \lambda_i)} + \underset{\substack{\text{- срочный} \\ \text{азональная} \\ \text{составляющая}}}{f_2(X_1, X_2, X_3, \dots)} \pm E$$

## Статистическая значимость зональной составляющей:

$$Y_i = b_1 \varphi_i * H + b_2 \lambda_i * H + b_0$$

где:  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_0$  – коэффициенты уравнения.

**Ситуация Г:** пространственная изменчивость характеристик превышает их погрешности, а закономерности изменений по территории и зависимости от азональных факторов отсутствуют.

**Обобщение:**

1) параметры пространственного распределения

$$Y_i = Y_{\text{ср}} \pm k \sigma_{\text{пр}}$$

2) динамическая модель поля

$$Y_{ij} = A1_j Y_{\text{ср}i} + A0_j \pm E_{ij}$$

$Y_{ij}$  – значение гидрометеорологической характеристики в  $i$ -ом пункте в  $j$ -ый год;

$Y_{\text{ср}i}$  – среднее многолетнее значение гидрометеорологической характеристики в  $i$ -ом пункте;

$A1_j$ ,  $A0_j$  – коэффициенты уравнения (градиент и уровень поля), определяемые по методу наименьших квадратов;

$E_{ij}$  – случайные отклонения (внутренняя неоднородность поля).

### 3. Пространственное моделирование

#### А) Районирование

Основной признак – подобие климатических изменений (высокая пространственная связанность – ПКФ).

#### Б) Построение пространственных моделей

- осреднение;
- среднее, дисперсия;
- зависимость от координат;
- зависимость от координат и факторов;
- стохастическая линейная:

$$Z_{kj} = A1_j Z_{mcp} + A0_j \pm A\varepsilon_{kj},$$

где:  $Z_{kj}$  – значение гидрометеорологической характеристики в  $j$ -ый год для  $k$ -го пункта;

$Z_{mcp}$  – среднее многолетнее поле;

$A1_j$  – коэффициент, характеризующий изменение градиента пространственного поля в  $j$ -ый год;

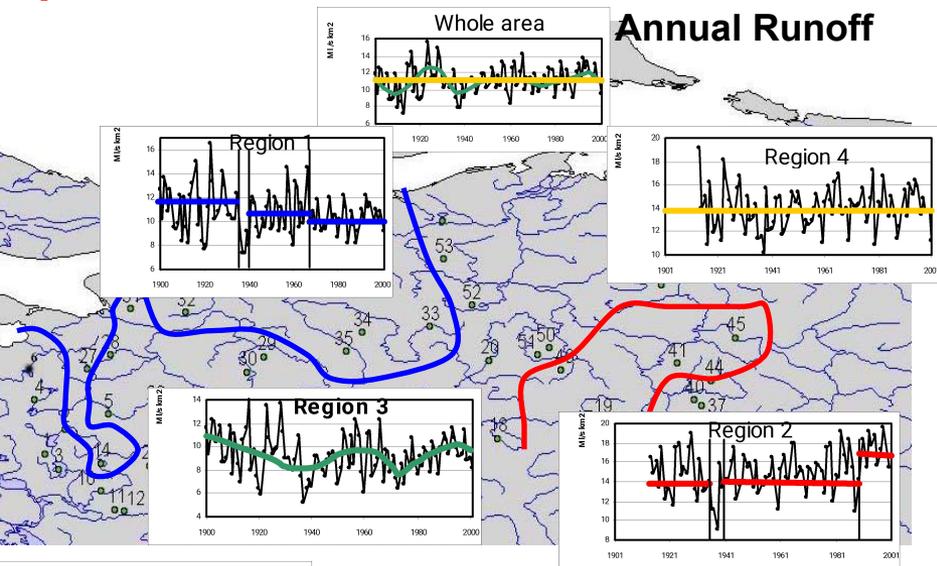
$A0_j$  - коэффициент, характеризующий изменение уровня (положения) поля в  $j$ -ый год;

$A\varepsilon_{kj}$  - отклонения от пространственной модели, обусловленные внутренней неоднородностью поля, которые могут быть представлены стандартным отклонением ( $AS_{\varepsilon j}$ ).

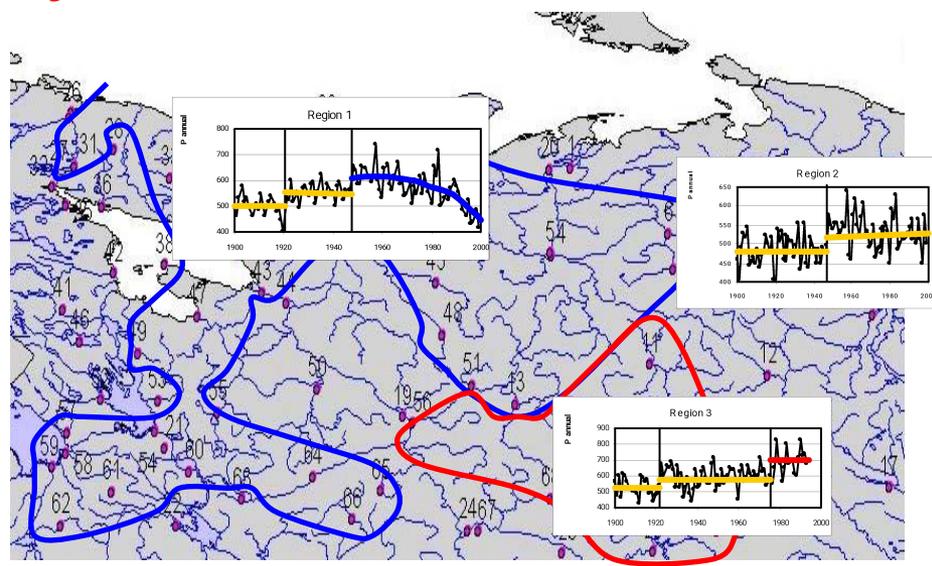
Результат: многолетие ряды  $A1_j$ ,  $A0_j$ ,  $AS_{\varepsilon j}$ .

# Пример пространственной модели (север ЕТР)

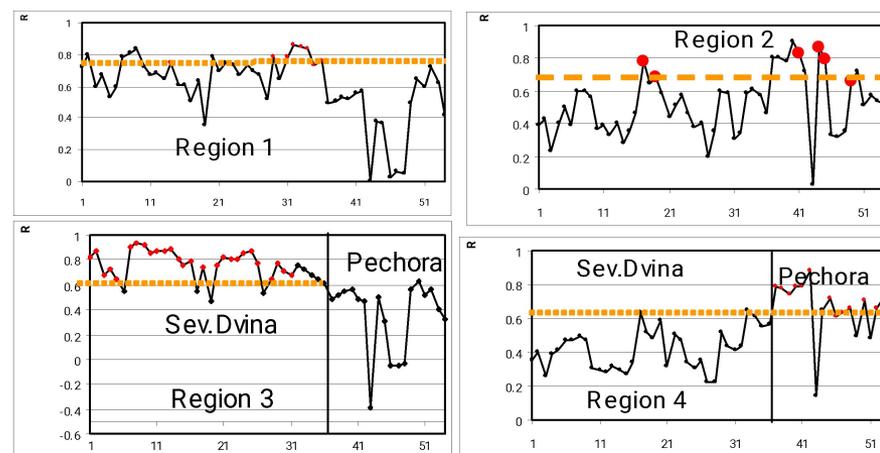
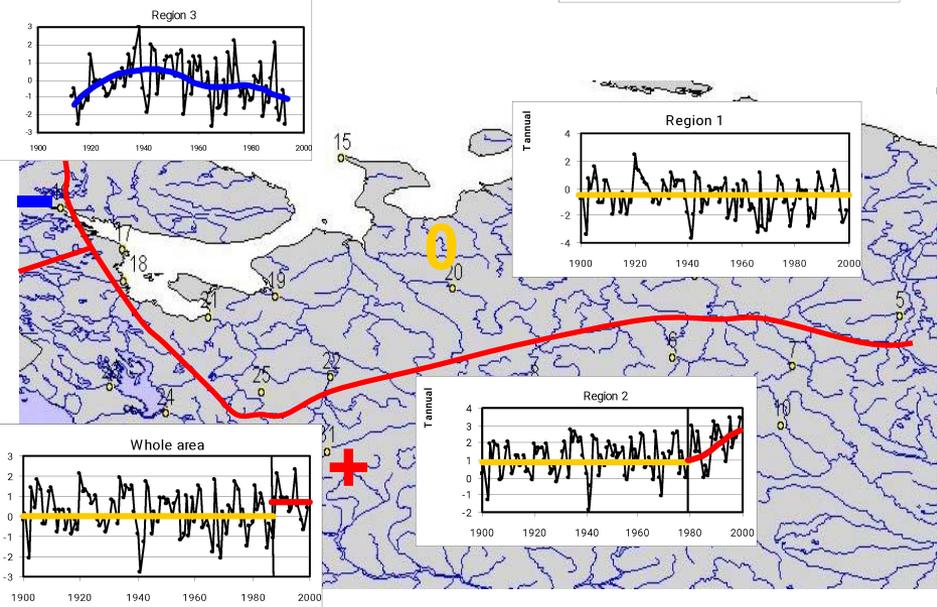
Среднегодовой сток



Суммы годовых осадков



Оценка эффективности районирования

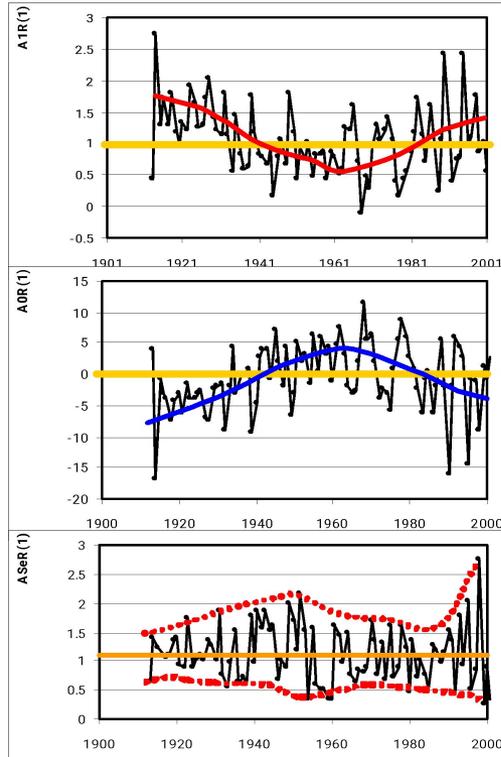


Среднегодовая температура воздуха

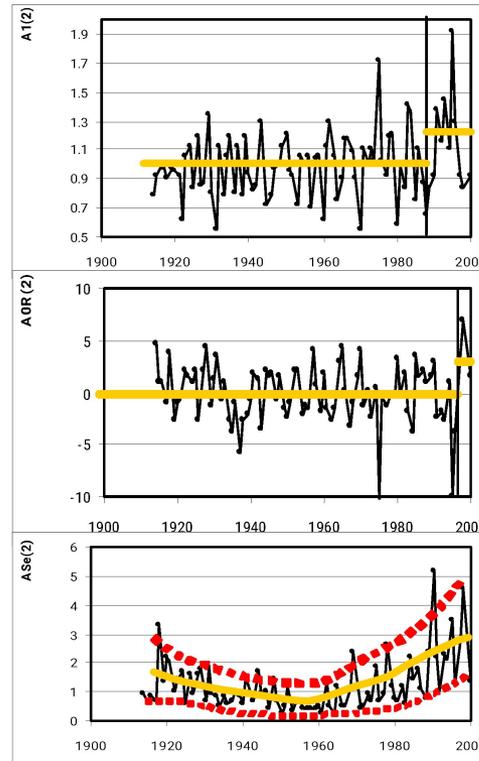
# Пример пространственной модели (Север ЕТР)

Многолетние ряды параметров модели для каждого однородного района (годовой сток)

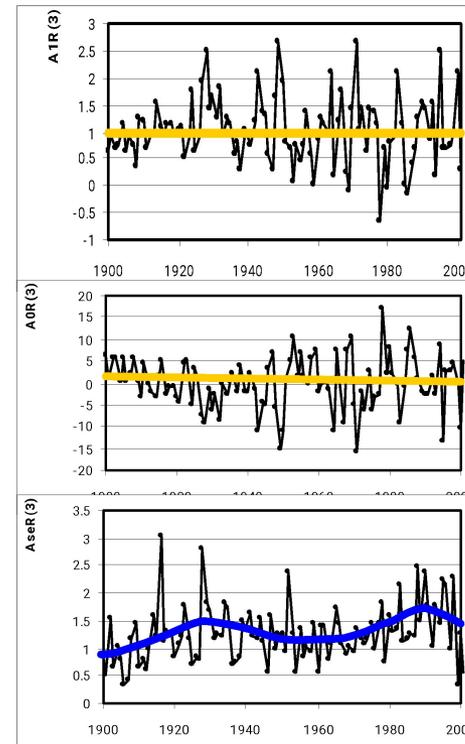
## Район 1



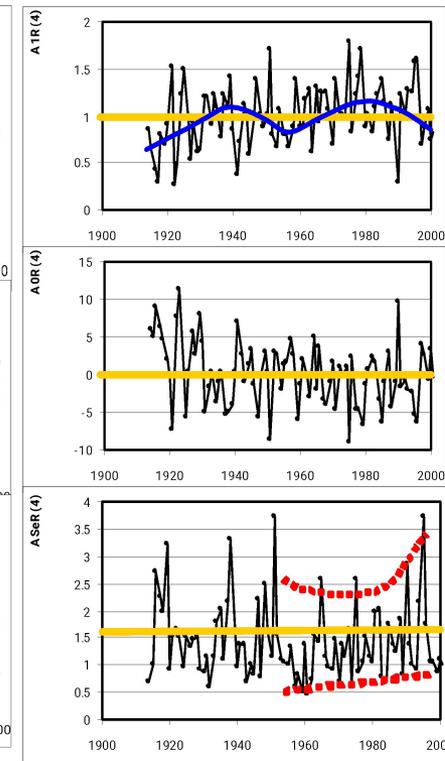
## Район 2



## Район 3



## Район 4



## **Лабораторная работа № 5.**

### **«Стохастическое моделирование пространственно-временных колебаний климата»**

#### **Цель работы:**

научиться моделировать колебания климата во времени и по пространству с помощью статистических методов.

#### **Исходный материал для выполнения работы:**

- многолетний ряд среднемесячных температур воздуха для построения модели внутригодовых колебаний;
- многолетние ряды среднемесячной температуры воздуха или сумм осадков за отдельный месяц по 12-15 метеостанциям в однородном районе для построения пространственной модели.

#### **Последовательность выполнения работы**

1. Выбрать метеостанцию с многолетними рядами среднемесячных температур воздуха.
2. Определить средние многолетние значения температур воздуха за каждый из 12 месяцев.
3. Построить график климатической функции внутригодовых колебаний температуры воздуха. в редакторе Excel.
4. За каждый год, в котором имеется не менее 10 среднемесячных температур (или не более двух месяцев с пропусками данных) построить в Excel зависимости вида (4), связывающие температуру рассматриваемого года с климатической внутригодовой функцией.
5. За каждый год рассчитать коэффициенты уравнения  $B_1$  и  $B_0$ , а также стандартное отклонение остатков  $S_e$ . Для расчетов можно воспользоваться редактором Excel.
6. Построить хронологические графики коэффициентов  $B_1$  и  $B_0$  и параметра  $S_e$  за многолетний период в редакторе Excel и сделать предварительный вывод о климатических изменениях параметров модели внутригодовых колебаний.
7. Выбрать ближайшие 12-15 станций на карте России и одну метеорологическую характеристику за месяц (среднемесячные температуры воздуха, например, января, или суммы осадков за конкретный месяц) и нанести их на карту.
8. Определить средние многолетние значения для каждого пункта наблюдений, представляющие климатическое поле
9. Сформировать пространственно-временную матрицу за совместный период для определения коэффициентов и параметров пространственной модели при условии, что количество пропусков в каждый год должно быть не более 20% от общего числа станций в районе.
10. За каждый год, в котором имеется информация по всем пунктам наблюдений построить в Excel зависимости вида (7), связывающие поле рассматриваемой метеорологической характеристики данного года с климатическим полем за многолетний период.
11. За каждый год рассчитать коэффициенты уравнения  $A_1$  и  $A_0$ , а также стандартное отклонение остатков  $S_E$  и коэффициенты корреляции уравнений  $R$ . Для расчетов можно воспользоваться редактором Excel.
12. Построить хронологические графики коэффициентов  $A_1$  и  $A_0$  и параметра  $S_E$  за многолетний период в редакторе Excel сделать предварительный вывод о климатических изменениях коэффициентов и параметров пространственной модели.

# Пример расчета.

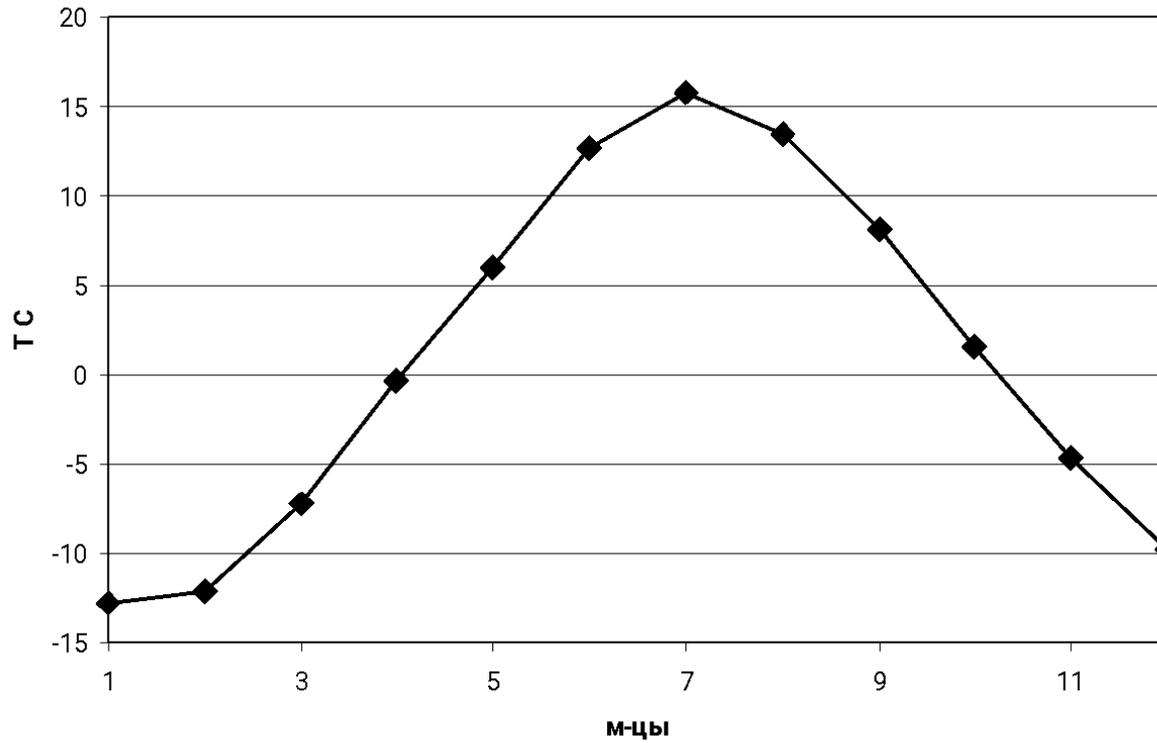
## Часть 1. Внутригодовая модель.

Среднемесячные температуры воздуха по метеостанции Архангельск (1891-2004 гг.)

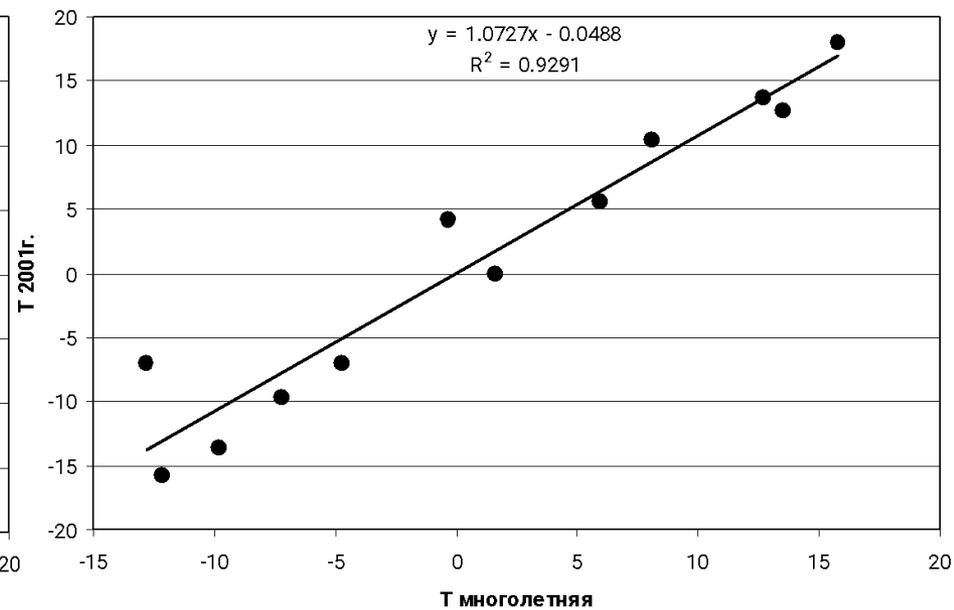
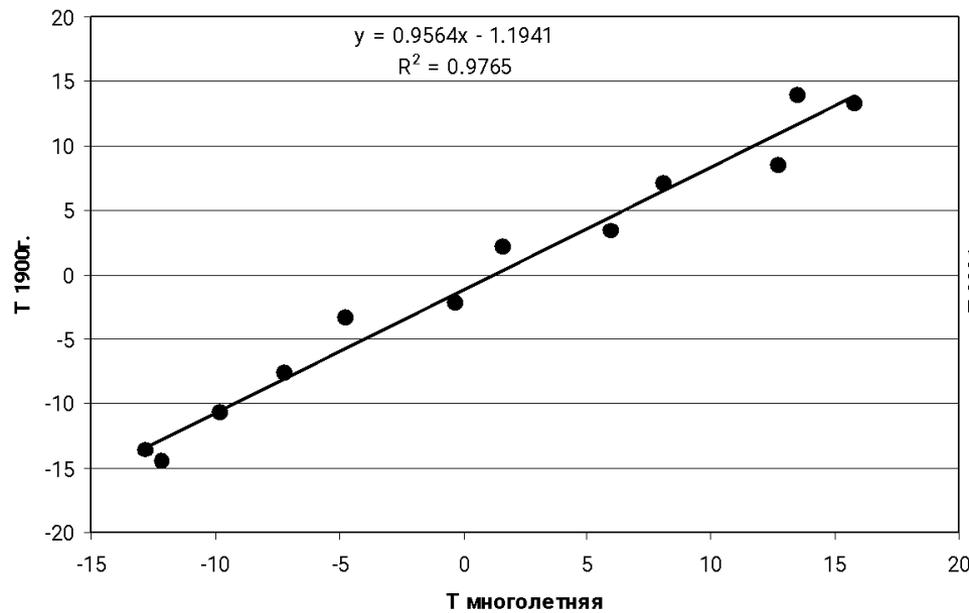
Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1891	-12.1	-6.1	-7	-2.7	4.2	8.9	14.5	9.5	5.3	-0.6	-8.4	-11.5
1892	-17.2	-11.4	-6.3	-3.4	5.3	9.5	14.4	11.1	8	-0.1	-2.6	-14.4
1893	-17.4	-22.1	-10.6	-3.4	3.6	10.8	15	13.1	6.1	2.2	-8.7	-11.8
1894	-7.7	-8.1	-8.2	0	8.3	14.7	13	16.7	5.2	-1.9	-5.8	-10.4
1895	-12.4	-20.1	-8.3	-1.3	5.2	13.1	14.7	11.8	7	3.5	-4	-8.2
1896	-13.2	-14.8	-6.5	-1.1	6.9	12.5	15.5	13.8	8.4	4.3	-7.7	-9.9
1897	-11.2	-14.6	-10.2	0	14	10.5	15.7	11.5	9.7	2.1	-5.2	-11.7
1898	-8.4	-15.5	-10.8	-0.6	7	10.8	17.5	15.3	10	-0.3	-3.5	-12.3
1899	-14.7	-16	-15.2	-0.7	1.5	8.5	16.2	9.8	8.8	1.7	-3	-11.5
1900	-13.6	-14.6	-7.7	-2.2	3.4	8.4	13.3	13.9	7.1	2.1	-3.4	-10.7
1901	-6.3	-14.3	-8.8	0.5	5.3	13.7	13.8	11.9	7.8	3.9	-7.3	-18.2
1902	-17.9	-14.1	-13.9	-4.6	4	8.9	15.9	13.9	6.3	-5	-8.8	-14.1
1903	-15.2	-8.9	-3.3	3.2	6.8	12.7	13	14.4	7.5	-1.8	-3	-5.2
1904	-7.5	-15.9	-6.2	1.8	4.4	13.4	12.3	12.8	7.9	4.1	-7.1	-14.6
1905	-11	-9.2	-4.1	1.3	7.8	11.9	15.7	12.5	8.2	0.7	-3.3	-7.1
1906	-9.3	-11.6	-9.4	0.9	10	13.7	17.6	11.6	6.6	1.5	-5.9	-8.9
1907	-21.9	-8	-3.3	1.4	2.6	15	16.9	12.1	7.9	3.3	-8.2	-18.7
1908	-16.7	-11	-9.4	0.9	3.8	13.2	15.4	13.8	7.6	1.2	-7.4	-9.1
1909	-8	-11.3	-7.2	-4.6	2.5	10.2	16.5	14.2	10.4	4.7	-5.2	-8.7
1910	-10.7	-4	-4.6	1.1	6.5	11.3	15.4	10.5	8.3	-0.6	-6.3	-8.2
1911	-11.3	-16.6	-7	-3.1	4.3	12	13.1	14.3	7.5	0.9	-0.7	-5.8
1912	-15.4	-20.6	-7.9	-3.4	4.9	14.5	12	14.2	9	-3.7	-4.2	-10.6
1913	-11.8	-15.3	-6.4	3.2	3.4	9.7	17.6	14.9	8.7	-0.8	-4.8	-9.1

# Средние многолетние температуры воздуха на метеостанции Архангельск.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-12.8	-12.1	-7.2	-0.3	6.0	12.7	15.8	13.5	8.1	1.6	-4.7	-9.8

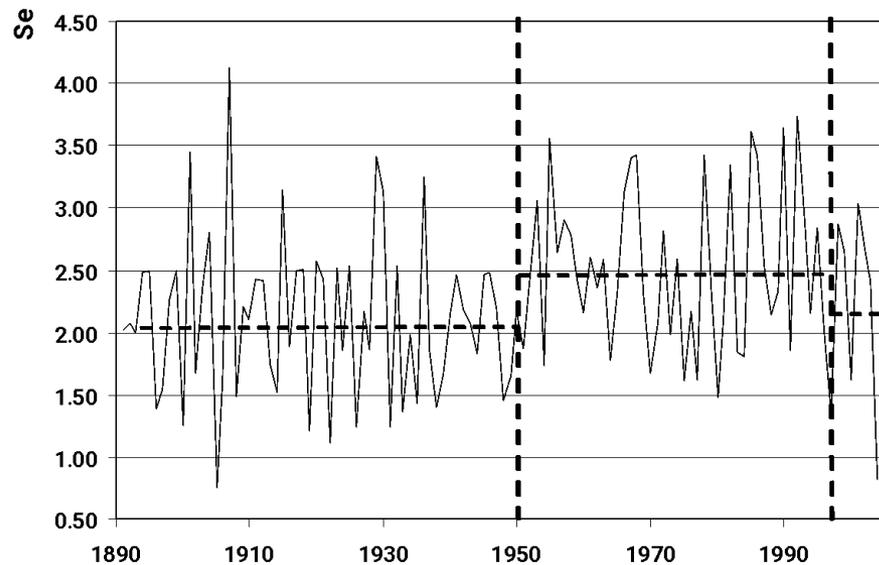
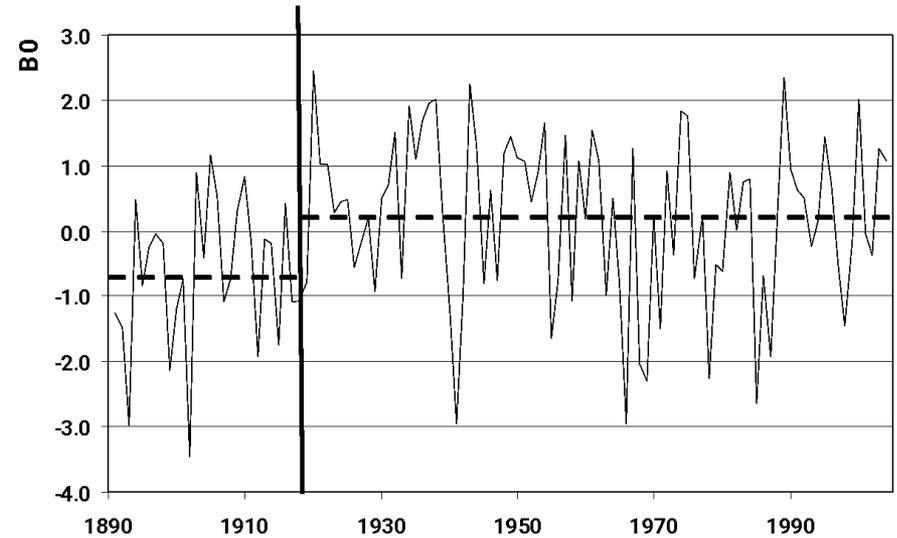
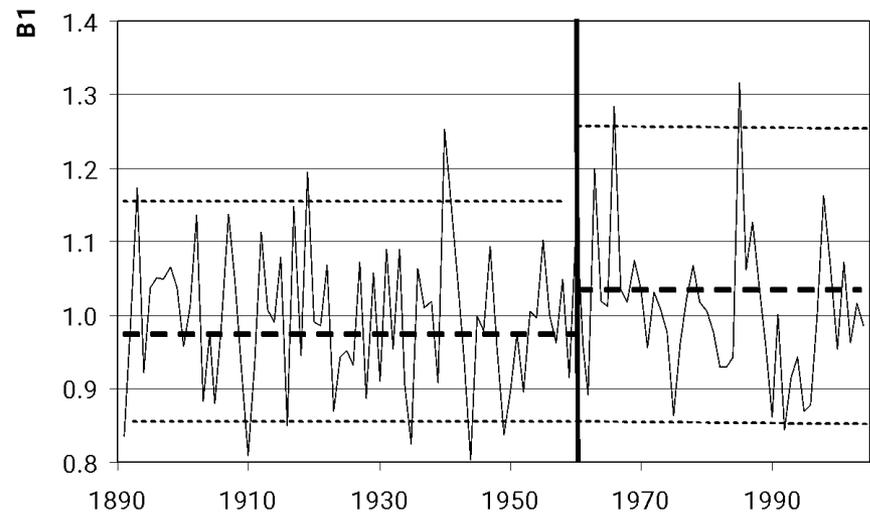


# Расчет коэффициентов и параметров модели внутригодовых колебаний.



Год	B1	B0	Sε
1891	0.835	-1.247	2.015
1892	0.993	-1.480	2.069
1893	1.174	-2.984	1.998
1894	0.923	0.491	2.481
1895	1.038	-0.845	2.491
1896	1.051	-0.257	1.383
1897	1.050	-0.056	1.539
1898	1.066	-0.187	2.266
1899	1.037	-2.145	2.491
1900	0.957	-1.189	1.258
1901	1.012	-0.738	3.448

# Построение и анализ графиков многолетних рядов коэффициентов и параметров модели внутригодовых колебаний.



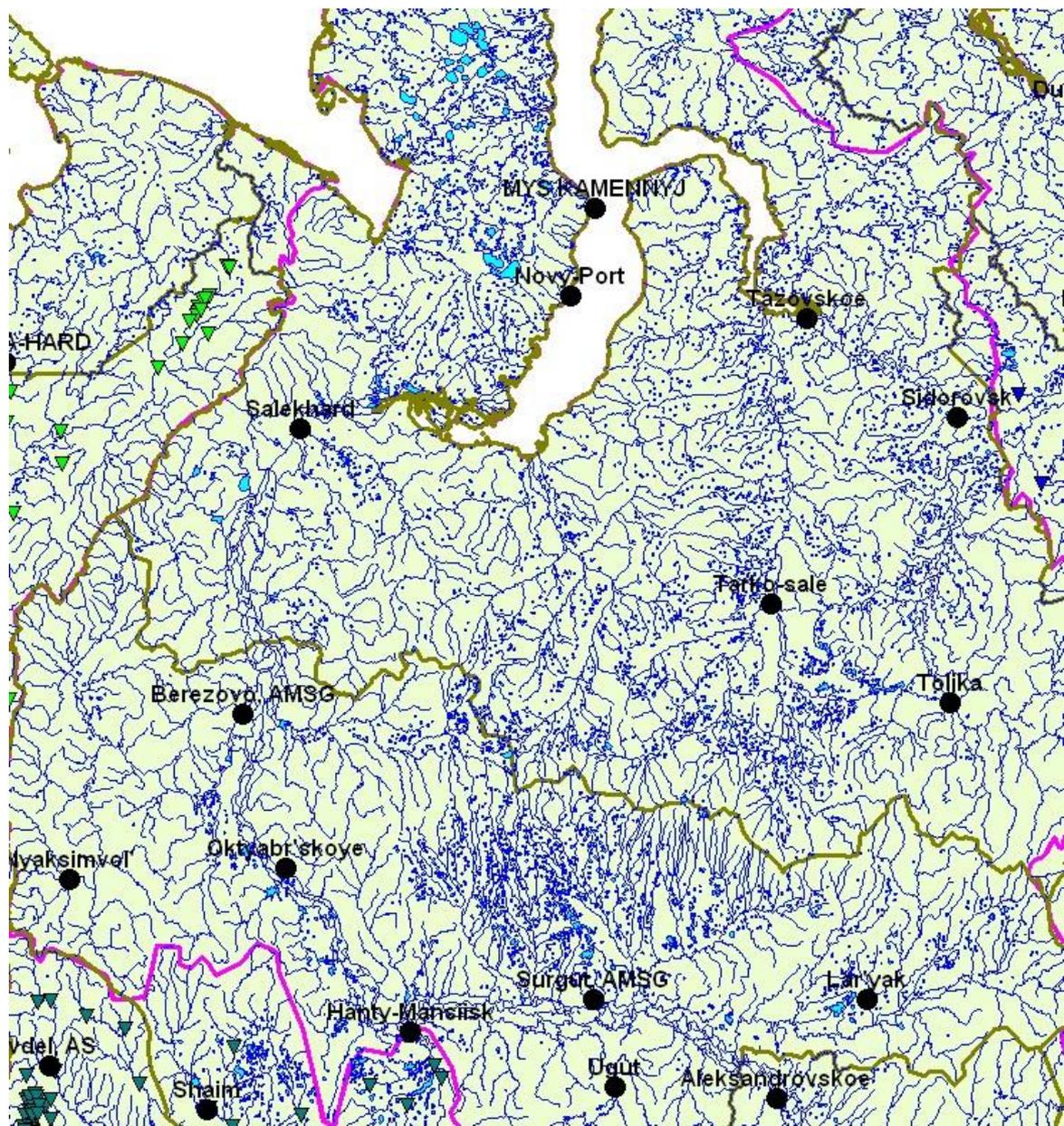
## Выводы:

- наблюдается увеличение коэффициентов  $B1$  с начала 1960х годов примерно на 5%;
- произошло ступенчатое увеличение коэффициента  $B0$  в начале 1920х годов;
- интенсивность макросиноптических процессов  $S\varepsilon$  была меньше до 1950 г. ( $S\varepsilon=2.0$ ), затем увеличилась до  $S\varepsilon=2.5$ , а с 1997 г. вновь уменьшилась.

## Часть 2. Пространственная модель

### Выбор метеостанций по территории

№п/п	Код	Название метеостанции	Широта	Долгота
1	23146	Мыс Каменный	68.5000	73.6000
2	23242	Новый Порт	67.7000	73.0000
3	23256	Тазовское	67.5000	78.7000
4	23330	Салехард	66.5000	66.5000
5	23365	Сидоровск	66.6000	82.3000
6	23552	Тарко-Сале	64.9000	77.8000
7	23631	Березово	63.9000	65.1000
8	23662	Толика	64.0000	82.1000
9	23724	Ханты-Мансийск	62.4000	60.9000
10	23734	Октябрьское	62.5000	66.1000
11	23849	Сургут	61.4000	73.8000
12	23867	Ларьяк	61.3000	80.1000
13	23933	Няксимволь	61.0000	69.0000
14	23946	Угут	60.5000	74.0000
15	23955	Александровское	60.4000	77.9000



# Многолетние ряды среднемесячных температур января по метеостанциям на выбранной территории

Код станции															
23146		23242		23256		23330		23365		23552		23631		23662	
1951	-25.4	1951	-25.2	1933	-26.5	1886	-26.9	1950	-32.6	1937	-16.9	1887	-19.9	1948	-23.2
1952	-25	1952	-24	1934	-20.9	1887	-22.8	1951	-27.7	1938	-22.7	1888	-24.5	1949	-17.1
1953	-25.2	1953	-25.2	1939	-28.5	1888	-26.3	1952	-26.3	1939	-24.6	1889	-21.4	1950	-33.6
1954	-22.8	1954	-22.4	1940	-35.2	1889	-21.9	1953	-24.1	1940	-35.4	1890	-27.5	1951	-26.8
1955	-15	1956	-22.9	1941	-30.7	1890	-28.8	1954	-26.1	1941	-30.3	1891	-21.4	1952	-22.8
1956	-23.4	1957	-23.1	1942	-19.9	1891	-22.4	1955	-16.2	1942	-21.5	1892		1953	-22.2
1957	-24.2	1958	-21.9	1943	-26.1	1892	-24.2	1956	-24.9	1943	-25.6	1893	-24.5	1954	-23.8
1958	-21.6	1959	-22.2	1944	-18.2	1893	-24.8	1957	-25.1	1944	-16.5	1894	-20.1	1955	-15.5
1959	-22.2	1960	-29.1	1945	-22.6	1894	-21.4	1958	-23.8	1945	-22.3	1895	-23.9	1956	-21.8
1960	-29	1961	-24.3	1946	-25.7	1895	-24.2	1959	-23.4	1946	-23.8	1896		1957	-22.2
1961	-25.1	1962	-20.2	1947	-28.1	1896	-27.1	1960	-33.5	1947	-28.3	1897	-22.6	1958	-21.4
1962	-21.2	1963	-24.2	1948	-24.8	1897	-24.4	1961	-30.2	1948	-23.2	1898	-19.2	1959	-20.9
1963	-24.4	1964	-28.6	1949	-19.2	1898	-23.7	1962	-18.8	1949	-16.9	1899	-22.9	1960	-31.2
1964	-27.9	1965	-24.4	1950	-32.2	1899	-25.5	1963	-23.5	1950	-33.4	1900	-21.5	1961	-26.4
1965	-24	1966	-23.7	1951	-27.1	1900	-24.2	1964	-27.9	1951	-25.6	1901	-25.4	1962	-16.3
1966	-24.6	1967	-28.3	1952	-26	1901	-27.4	1965	-27.7	1952	-22.9	1902	-28.1	1963	-21.8
1967	-29.6	1968	-24.8	1953	-25.6	1902	-29.6	1966	-29.3	1953	-23	1903	-22.7	1964	-24.4
1968	-24.3	1969	-31.6	1954	-25.6	1903	-24	1967	-28.9	1954	-23	1904	-18.2	1965	-25.7
1969	-30.4	1970	-28.6	1955	-16.2	1904	-20.5	1968	-28.2	1955	-15.1	1905		1966	-27.1
1970	-28.6	1971	-27.5	1956	-25.1	1905	-24.2	1969	-36.1	1956	-21.6	1906	-25.8	1967	-24.2
1971	-28.2	1972	-27.6	1957	-25.3	1906	-30.1	1970	-30.4	1957	-22.1	1907	-26.8	1968	-28.6

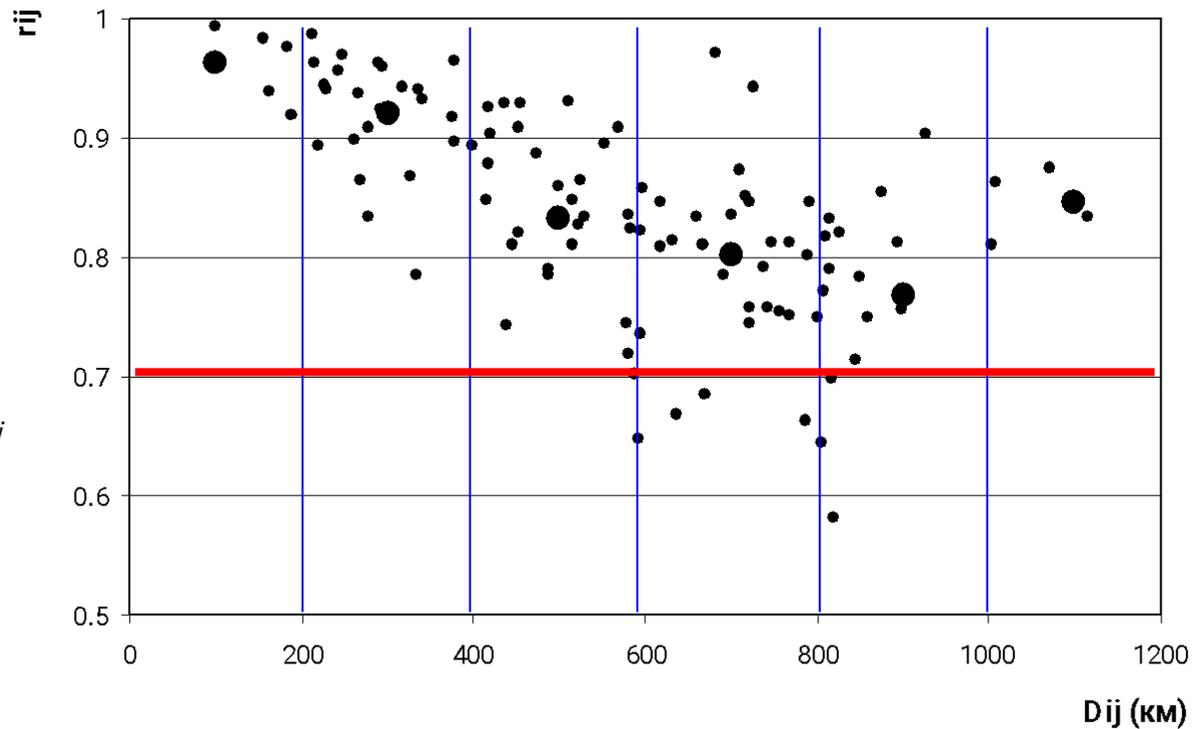
# Построение пространственной корреляционной функции (ПКФ)

$$r_{ij} = f(D_{ij}),$$

$r_{ij}$  – коэффициент парной корреляции между каждой парой рядов наблюдений в однородном районе,

$D_{ij}$  – расстояние между пунктами наблюдений (км).

$$r_{jk} = \left[ \sum_{i=1}^n (y_{ik} - \bar{y}_k)(y_{ij} - \bar{y}_j) \right] / S_k S_j n_{kj}$$



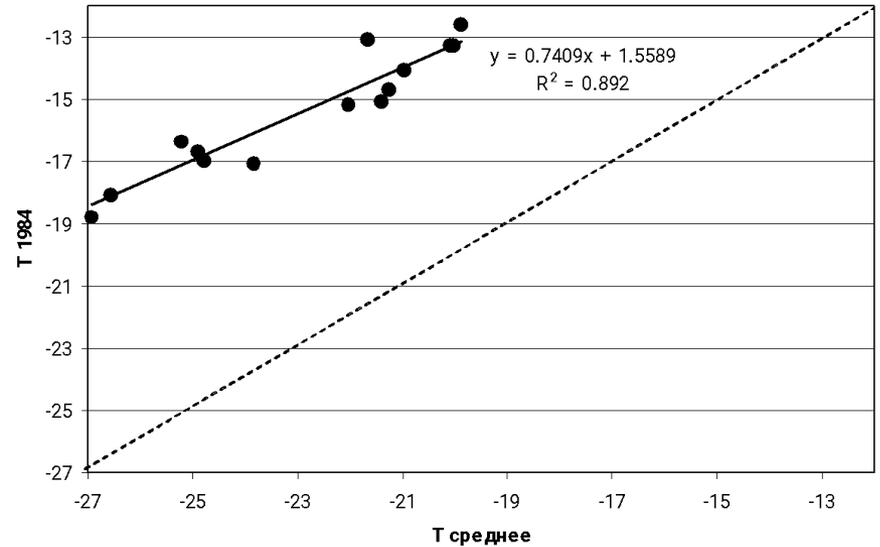
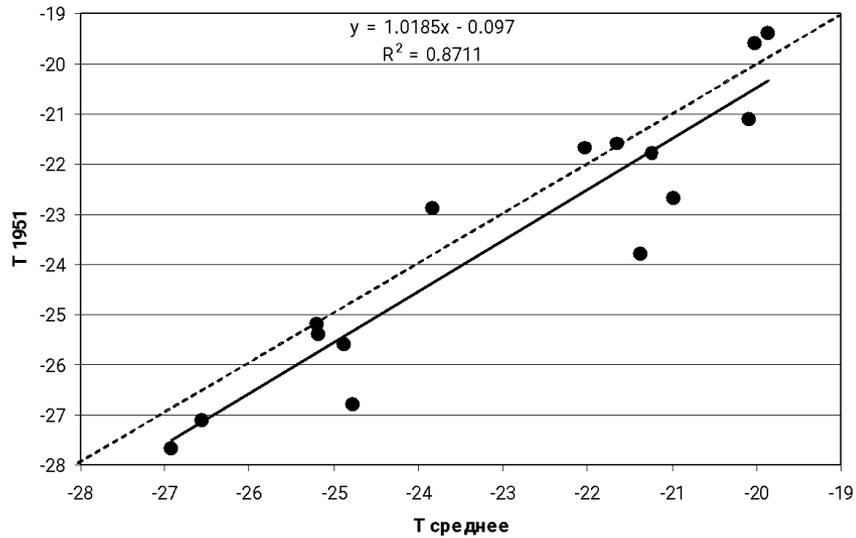
## Оценка однородности ПКФ

№	Rcp	SigmaR	Dсреднее	SigmaRтеор	k	F	95%верх	95%нижн
1	0.962	0.032	100	0.011	5	7.8	0.985	0.939
2	0.92	0.047	300	0.022	24	4.7	0.964	0.876
3	0.833	0.073	500	0.042	31	3.06	0.916	0.75
4	0.802	0.073	700	0.048	25	2.27	0.899	0.705
5	0.767	0.08	900	0.055	16	2.09	0.878	0.656
6	0.845	0.029	1100	0.038	4	1.69	0.921	0.769

# Формирование матрицы данных за совместный период для построения пространственной модели ( $\sum m_j \geq 0.8m$ ). $m$ – общее число станций в районе, $m_j$ – число станций в $j$ -ый год.

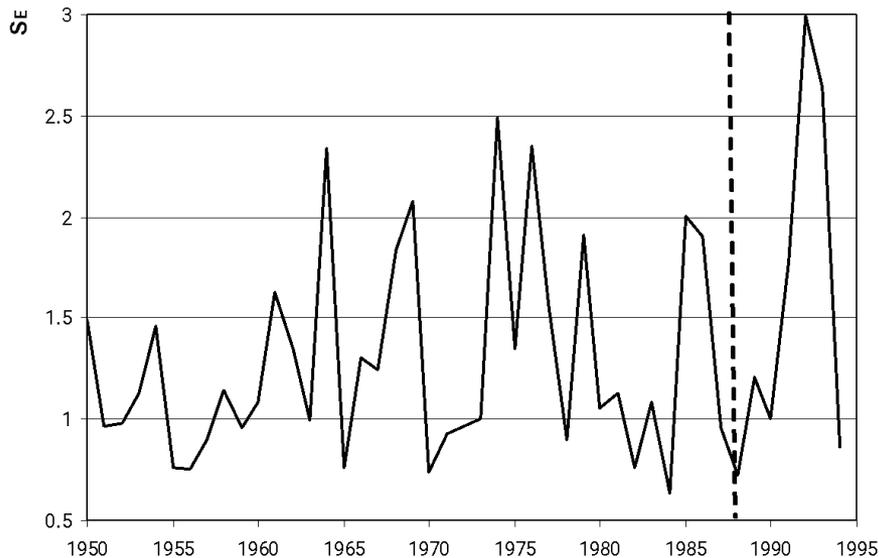
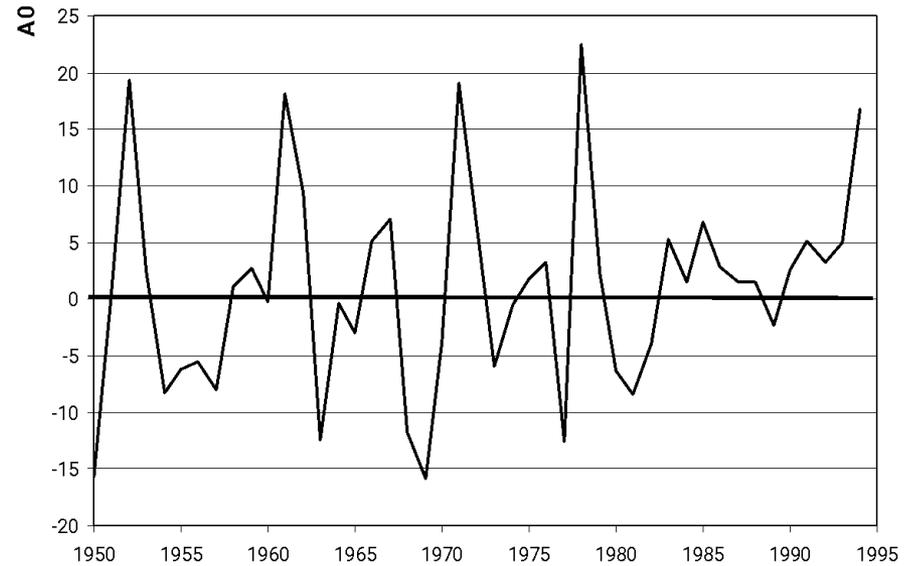
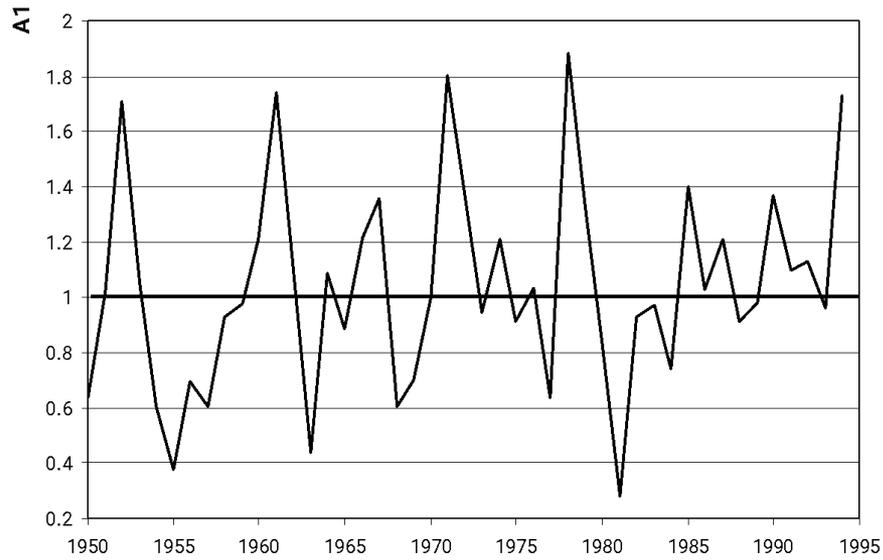
Год	Код станции														
	23146	23242	23256	23330	23365	23552	23631	23662	23724	23734	23849	23867	23933	23946	23955
1951	-25.4	-25.2	-27.1	-22.9	-27.7	-25.6	-21.7	-26.8	-19.4	-21.8	-21.6	-23.8	-19.6	-21.1	-22.7
1952	-25	-24	-26	-21.5	-26.3	-22.9	-16.2	-22.8	-15.3	-16.9	-17.4	-18.3	-13.1	-16.3	-17.1
1953	-25.2	-25.2	-25.6	-25	-24.1	-23	-21.6	-22.2	-17.7	-20.1	-19	-19.3	-19	-18.8	-19.3
1954	-22.8	-22.4	-25.6	-20.2	-26.1	-23	-19.6	-23.8	-19.9	-20.2	-22.4	-22.3	-19.1	-22.5	-23
1955	-15		-16.2	-16	-16.2	-15.1	-14.8	-15.5	-13	-14.3	-14.2	-15.2	-12	-14.1	-15.3
1956	-23.4	-22.9	-25.1	-21.5	-24.9	-21.6	-21.3	-21.8	-19.4	-20.7	-20.1	-19.4	-20.6	-19.8	-19.6
1957	-24.2	-23.1	-25.3	-20.7	-25.1	-22.1	-20.3	-22.2	-20.1	-21.9	-21.5	-20.9	-19.8	-21.2	-21.2
1958	-21.6	-21.9	-23.9	-22	-23.8	-21.3	-19	-21.4	-15.9	-16.8	-18.4	-20.5	-16.2	-18.5	-20.5
1959	-22.2	-22.2	-23.6	-19.9	-23.4	-21.1	-16.9	-20.9	-16.6	-17.9	-18.3	-19.4	-15	-17.9	-19.2
1960	-29	-29.1	-32.7	-28.3	-33.5	-31.2	-25.8	-31.2	-23	-24.9	-26.1	-27.6	-24.3	-25.4	-26.7
1961	-25.1	-24.3	-28.8	-20.2	-30.2	-25.9	-17.9	-26.4		-18	-18.7	-21.3	-16.2	-18.5	-19.8
1962	-21.2	-20.2	-20.8	-19.8	-18.8	-17.3	-15.2	-16.3	-12.8	-14.6	-13.6	-14.8	-13.3	-13.1	-13.6
1963	-24.4	-24.2	-24.3	-25	-23.5	-22.9	-22.8	-21.8	-21.2	-22.1	-22.2	-20.5	-22.2	-21.1	-20.4
1964	-27.9	-28.6	-29.5	-29.6	-27.9	-28.8	-26.9	-24.4	-23.4	-25.1	-23.6	-18.8	-23.8	-21.2	-19.6
1965	-24	-24.4	-27	-23.2	-27.7	-25.8	-21.6	-25.7	-20.9	-21.1	-22.1	-22.9	-20.8	-21.1	-21.9
1966	-24.6	-23.7	-27.8	-21.9	-29.3	-25.2	-19.5	-27.1	-19.5	-20.6	-20.5	-22.1	-20	-20.1	-20.5
1967	-29.6	-28.3	-29.5	-25.6	-28.9	-24.9	-22.4	-24.2	-20.3	-21.6	-21.2	-21	-21.2	-20.7	-20.5
1968	-24.3	-24.8	-27.1	-28.8	-28.2	-27.9	-26	-28.6	-21.8	-21.7	-23.7	-26.1	-26.3	-23.1	-24.4
1969	-30.4	-31.6	-34.5	-29.8	-36.1	-35.6	-29.7	-36.5	-29.9	-29.2	-31.8	-33	-27.6	-31.9	-32
1970	-28.6	-28.6	-31.4	-29.4	-30.4	-28.8	-25.7	-28.1	-24.6	-25.2	-25.3	-25.5	-22.7	-24.6	-24.4
1971	-28.2	-27.5	-29.5	-24.3	-28.3	-25.4	-20.1	-24.6	-17.9	-19.3	-19.2	-19.1	-16.3	-18.3	-18.4
1972	-26.9	-27.6	-30.3	-26.8	-31.9	-31.7	-28.5	-32.9	-30.7	-29.2	-30.6	-31.4	-30.1	-31.6	-31.3
1973	-30.1	-30.3	-32.9	-27.3	-31.1	-29.2	-25.6	-27.4	-25.6	-25.4	-26.3	-26.2	-24.2	-26.3	-25.9

# Расчет коэффициентов и параметров пространственной модели



Год	Коэффициенты и параметры			
	A1	A0	Sa	R
1950	0.635	-15.746	1.487	0.726
1951	1.019	-0.097	0.964	0.933
1952	1.707	19.277	0.979	0.974
1953	1.05	2.444	1.13	0.916
1954	0.606	-8.282	1.457	0.715
1955	0.374	-6.257	0.758	0.773
1956	0.696	-5.483	0.749	0.916
1957	0.605	-8.072	0.899	0.856
1958	0.926	1.16	1.144	0.894
1959	0.973	2.71	0.958	0.928

# Построение и анализ графиков многолетних рядов коэффициентов и параметров пространственной модели.



## Выводы:

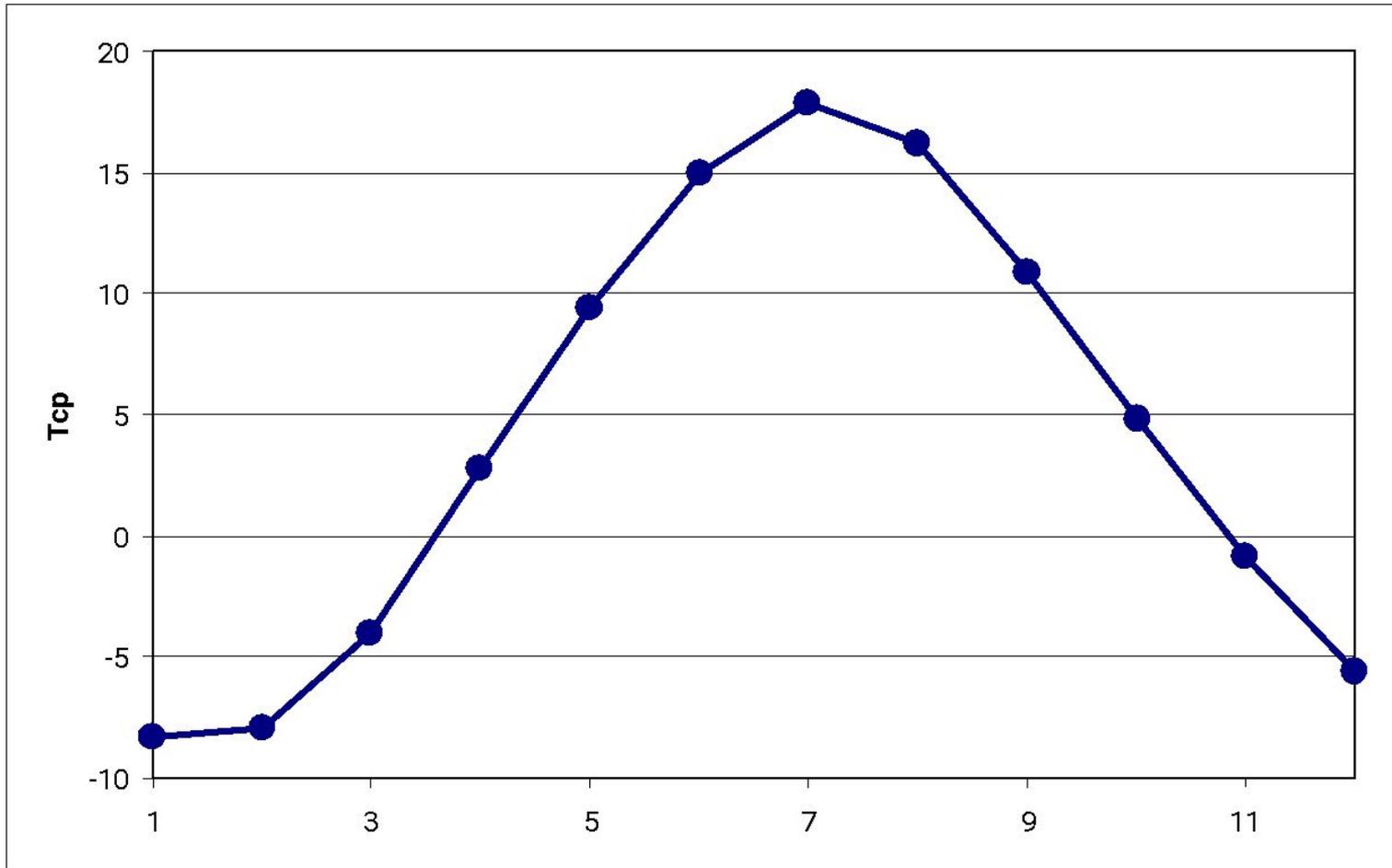
-коэффициенты  $A1$  и  $A0$  стационарны;

- с конца 1980х годов наблюдается увеличение дисперсии в параметре  $SE$ , что может быть связано с возникновением неустойчивости в однородности поля.

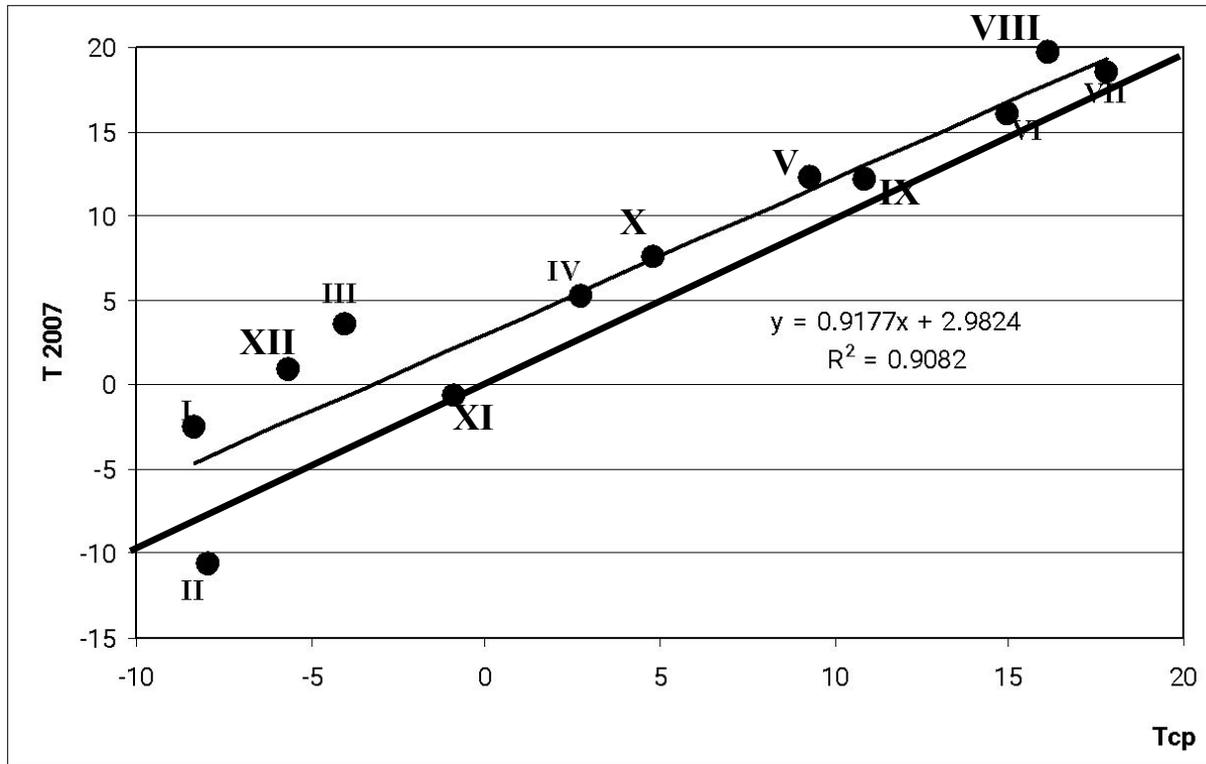
**Исходные данные****Среднемесячная****температура****воздуха,****С.-Петербург**

26063	1743	9999	9999	9999	2.8	9999	9999	9999	9999	9999	0.9	-1	-5.9
26063	1744	-8.8	-8.8	-4.6	5.6	7.9	14.5	17.8	14.2	11.7	2.6	0.5	-5.3
26063	1745	-10.1	-9	-6.1	1.7	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
26063	1752	-11.1	-6.1	-1.3	3.8	10.3	14.4	20.9	17.9	10.1	5	1	-4
26063	1753	-9	-9.6	-1.1	3.3	10.3	14.4	17.5	16.2	11.9	6.7	0.1	-12.7
26063	1754	-9.6	-11.5	-3.7	6.6	10.5	16.5	17.8	14.4	9.9	5.7	-1.3	-4.5
26063	1755	-9.6	-11.6	-4.7	2.6	11.5	17.7	19.9	14.9	11	7.2	1.3	-8.2
26063	1756	-5.8	-2.6	-3.8	3.9	8.5	17	18.8	13.6	10.7	5.1	-2.1	-9.8
26063	1757	-11.8	-5	-3	6.1	10.5	19.1	23.2	18.1	13	0.3	0.1	-10.5
26063	1758	-15.7	-10	-4.8	1.4	8	14.7	18.3	14.7	9	9999	-1.7	-8
26063	1759	-5.4	-6.1	-3.4	1.2	6.7	16.2	17.4	19.1	10.8	2.9	-3.4	-14.3
26063	1760	-17.6	-7.3	-7.7	-1	8.7	14.2	16.3	15.3	11.3	1.8	-0.7	-8.4
26063	1761	-9.8	-8.2	-1.2	2.2	10	17.5	20.3	18.2	12.8	2	-1.2	-12.8
26063	1762	-4.1	-3.3	-4	3.8	8	16.1	16.6	15.1	8	0.2	1	-7.7
26063	1763	-10.1	-10.9	-8.9	1.5	9.5	13.6	20.5	16	9.7	2.1	9999	9999
26063	1764	9999	9999	9999	2.6	8.3	12.6	18.6	15.9	11.1	5.7	-1.2	-5
26063	1765	-7	-8.8	-1.2	4.3	8.6	13.1	18.6	16.5	10	4.6	0.1	-6
26063	1766	-12.5	-7.9	-2	4.4	10.1	14.7	18.2	15.9	11.6	5.5	1.4	-7
26063	1767	-14.1	-8	-1.1	-0.3	8.9	15.4	16	18.4	13.4	5.8	4.1	-6.4
26063	1768	-14.2	-12.8	-9	2.2	6.9	15.4	19	16	10.6	3.4	0.5	-0.7
26063	1769	-4.2	-7.2	-2.1	2.6	11.2	16.8	17.6	17.3	11	1.3	-4	-9.9
26063	1770	-8	-7.8	-10.4	6.6	9.5	13.6	14.8	15.5	12.6	8.1	0.2	-0.9
26063	1771	-8.1	-14	-10.2	-0.6	6.9	18	18	15.9	11.6	6.1	-2	-4.3
26063	1772	-12.5	-15.7	-7.9	2.7	7.1	13.1	17.9	17.4	11.2	8	4.2	-2.2
26063	1773	-13.8	-8.2	-3.2	6.6	12.7	15.7	19.6	18.3	12.5	7	-1.4	-3.3
26063	1774	-13.3	-5.6	-3.3	3.8	9999	19.7	21.9	16.8	10.5	4.1	-10	-7.4
26063	1775	-8.9	-6.4	-1.1	2.6	9.4	14.3	20.6	19.7	14.5	9.3	-2.5	-5.2
26063	1776	-16.6	-2.8	-2.9	1.6	11.2	17.1	20.2	17.3	10.2	5	-2.6	-2.7
26063	1777	-7.7	-9.5	-5.5	0.1	12.1	15.7	17.1	15.2	9.7	4.4	0.8	-2.3
26063	1778	-9.2	-5.2	-3.4	5.5	10.2	15.2	18.7	15.4	12.2	2.1	-3.9	-5.3
26063	1779	-9.8	-4.7	-0.6	4.1	12.1	15.1	17.7	18	12.7	6.3	-0.9	-8
26063	1780	-12.5	-9.9	-2.6	1	9.4	13.4	18.3	14.2	8.7	5	-2.1	-7.8
26063	1781	-10.4	-9.7	-5.2	1.6	6.4	13.3	15.8	17.6	13	4.7	1.8	-10.6
26063	1782	-7.6	-15.3	-7.1	0.1	7.7	13.6	14.6	15.1	9.8	4.5	-3.5	9999
26063	1783	-18.8	-7.5	-6.1	2.5	10.5	16.5	17.3	17.4	10.9	5.2	-6	-8.1
26063	1784	-8.8	-10.6	-9.4	3.6	5.3	12.9	18.7	18.7	8.1	3.5	-0.3	-6.8
26063	1785	-8.4	-10.8	-10.5	-0.6	5.9	12.8	16.1	16.4	8.8	2.5	-0.8	-9.8
26063	1786	-10	-10.4	-7.5	3.2	7.8	13.4	17.7	17.2	10.8	2.4	-9.6	-9.2
26063	1787	-9.2	-9.1	-3	1.4	12.6	17	17	15.1	9.3	6.5	-2.3	-10
26063	1788	-10.6	-9.1	-6.5	3.9	7.4	16.1	20.1	15.7	11.9	2.2	-2.6	-18.4
26063	1789	-12.2	-10.4	-10.1	1.9	9.9	15.8	20.9	18	11.7	2.2	0.3	-2.6
26063	1790	-8.5	-8.3	-3.7	-3.7	8.4	14	14.8	13.5	8.3	3.4	-2.4	-2.6
26063	1791	-2.7	-4.2	-3.4	3.2	6.2	15.5	16.4	14.7	9	3	-1.9	-4.3
26063	1792	-15.3	-11.6	-6.3	1.7	8.4	15.4	19.6	14.2	12.9	2.6	-2.5	-3.5
26063	1793	-11.5	-1.1	-3	3.4	9	15	19.2	16	8.6	5.2	0.9	-9.9
26063	1794	-3.1	-4.4	-1.5	3.7	11.5	15.3	16.9	15.1	9.7	6.6	-0.1	-7.2
26063	1795	-10.9	-9	-6.1	4	7.9	15.3	17.5	14.2	10.8	3.3	-0.2	-7.9
26063	1796	-5	-7.4	-6.6	1.6	9	17.1	19	16.9	8.5	4.6	-2.3	-10.4
26063	1797	-7.7	-1.7	-3.8	-0.1	7.5	16.8	16.8	15.2	13.5	6	-2.2	-3
26063	1798	-7.8	-7.9	-3.9	1.4	11.6	14.8	19.5	18.4	9.4	4.3	-1.7	-10.4
26063	1799	-9.6	-19.5	-7.5	2.8	7.3	16.3	18.6	15.5	10.8	5	1.7	-9.9
26063	1800	-11.3	-13.3	-10	2.3	7.9	14.3	15	15.1	8.2	5.4	-0.1	-2.7
26063	1805	-9	-11.8	-2.8	2.5	9.1	14.4	19.6	18.9	11.6	0.7	-4.9	-4.2
26063	1806	-6.6	-10.7	-5.7	1.7	10.1	12.2	15.2	18.6	13.5	3.7	-2.3	-2.4
26063	1807	-10.6	-2.9	-4	-0.2	6.1	14	16.2	17.6	10	3.4	0.3	-3.4

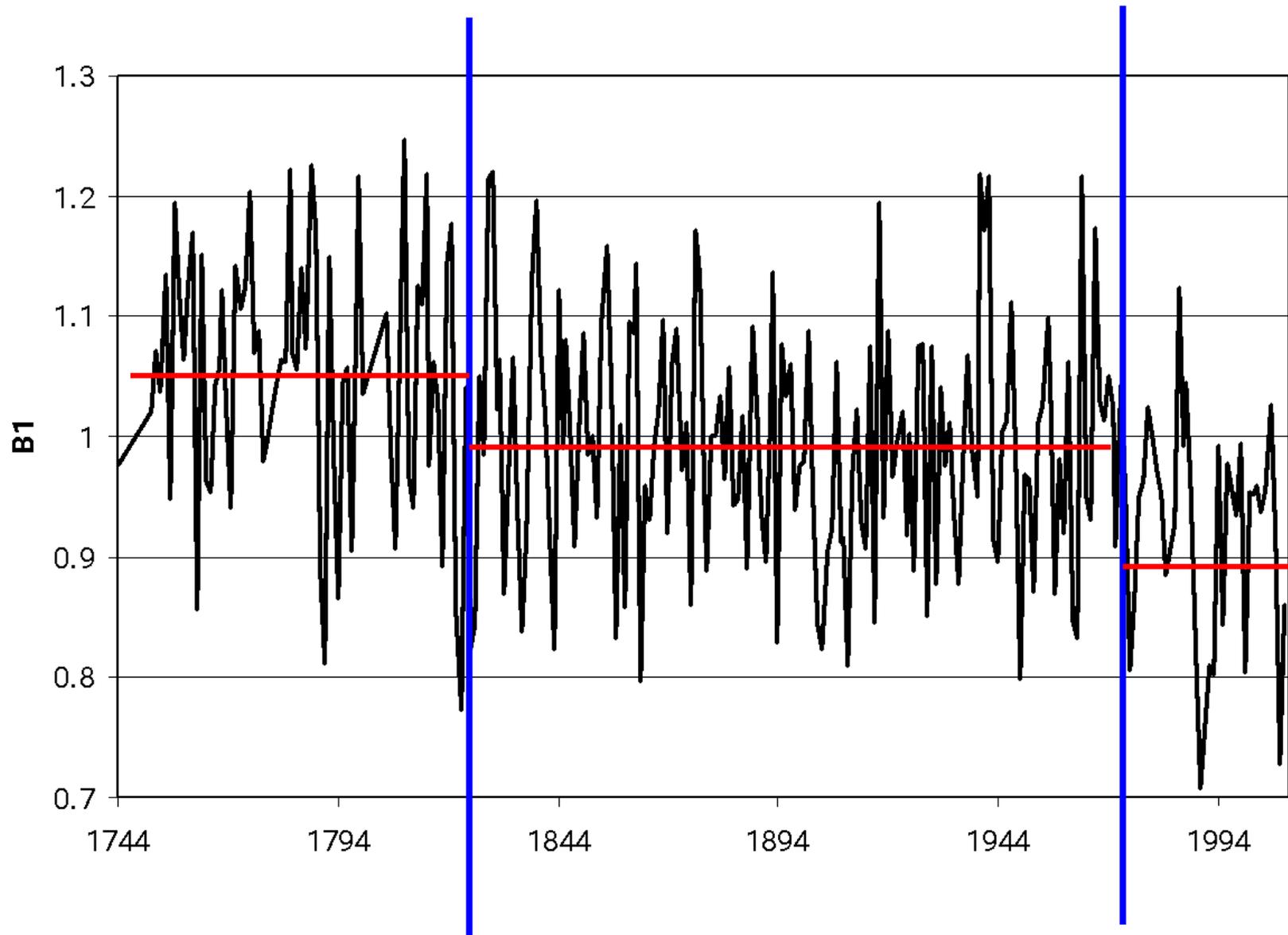
**Климатическая функция внутригодового хода температуры воздуха  
С.-Петербург (осреднение за период с 1743 по 2009 гг.)**

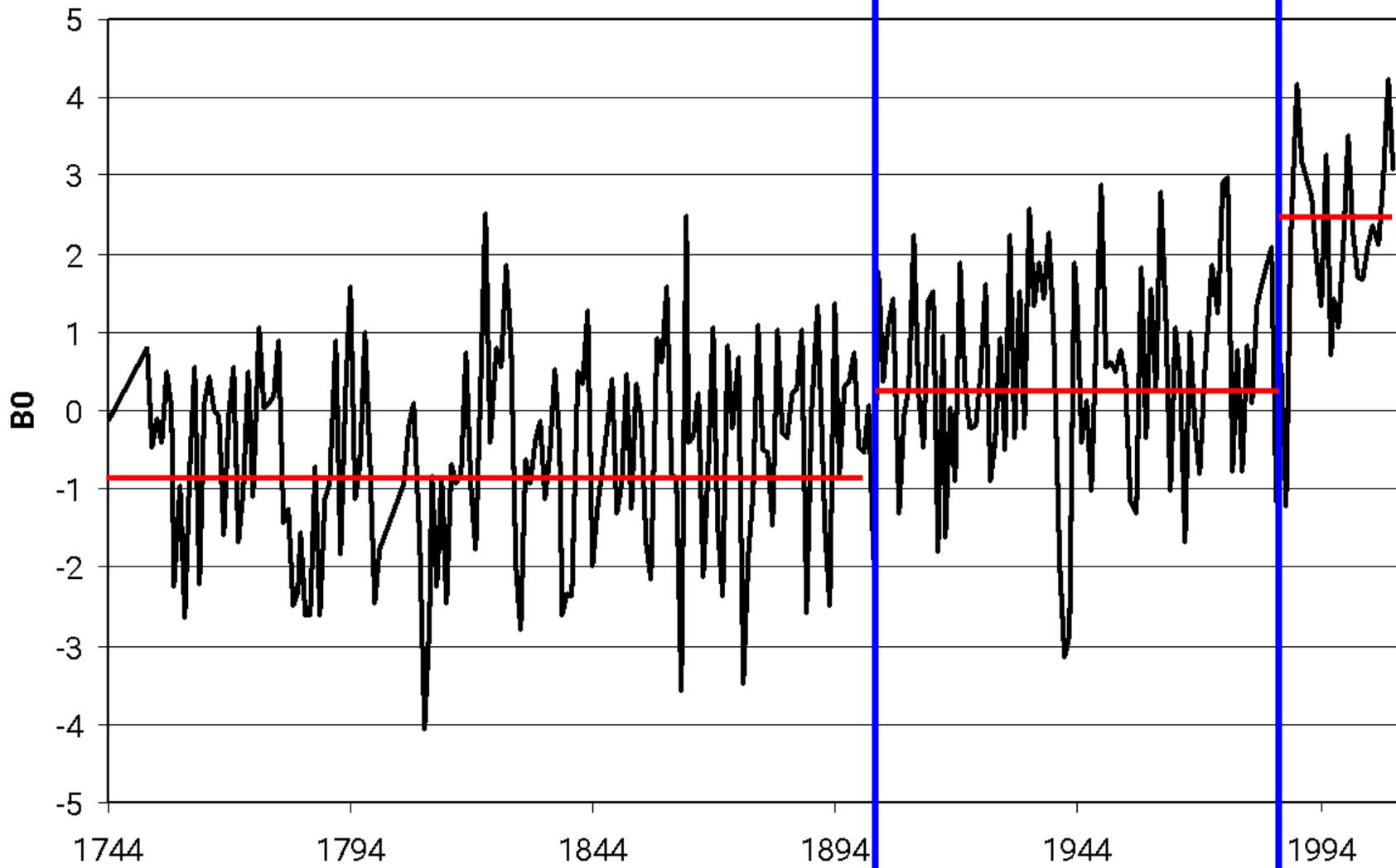


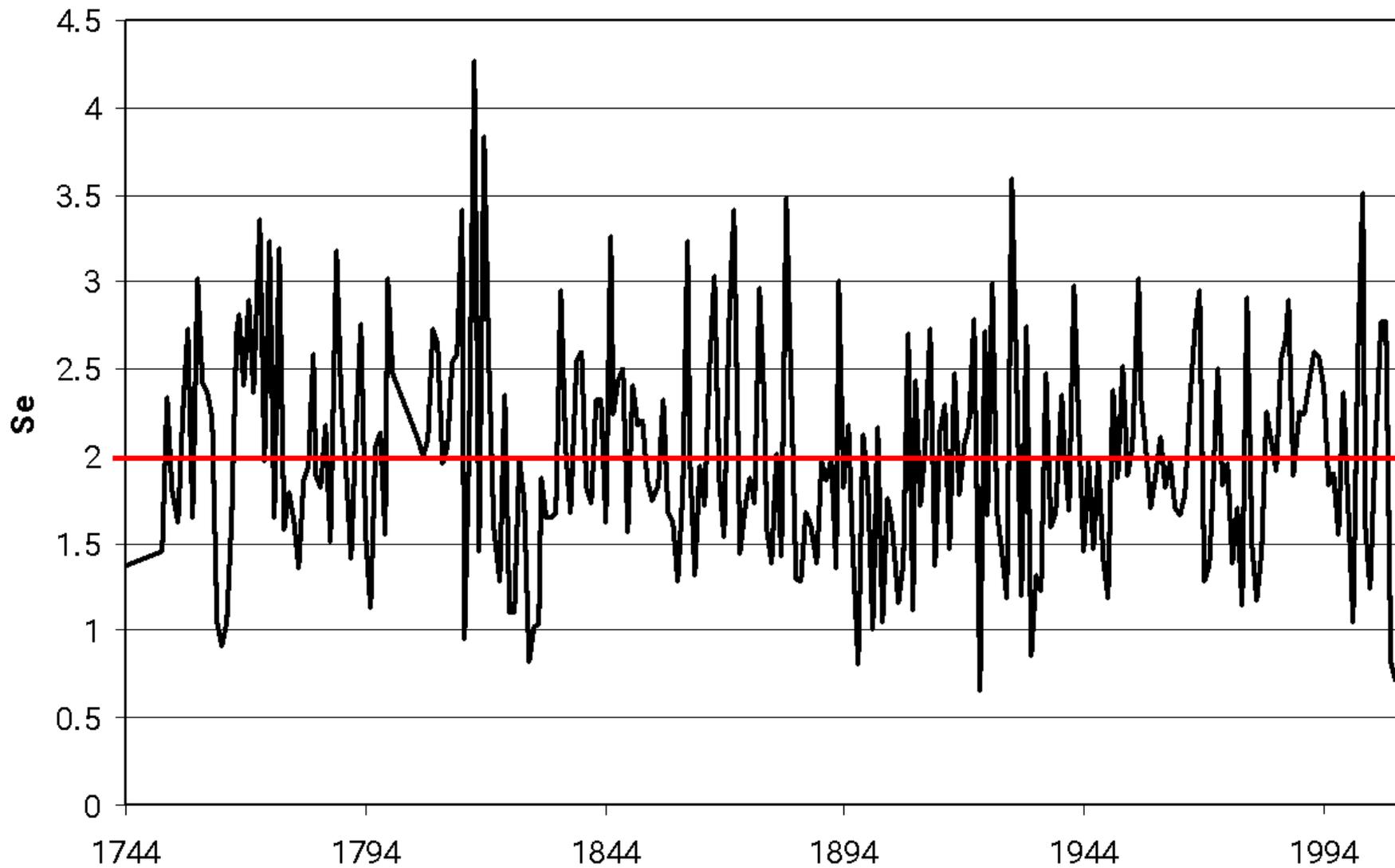
# Связь между климатической функцией и среднемесячными температурами воздуха в 2007 г.



**B1=0.918    B0=2.982    Se=2.769**







# B0=f(Tcp)

