

Одномерные модели среднегодовых рядов чисел Вольфа

В.А.Горшков

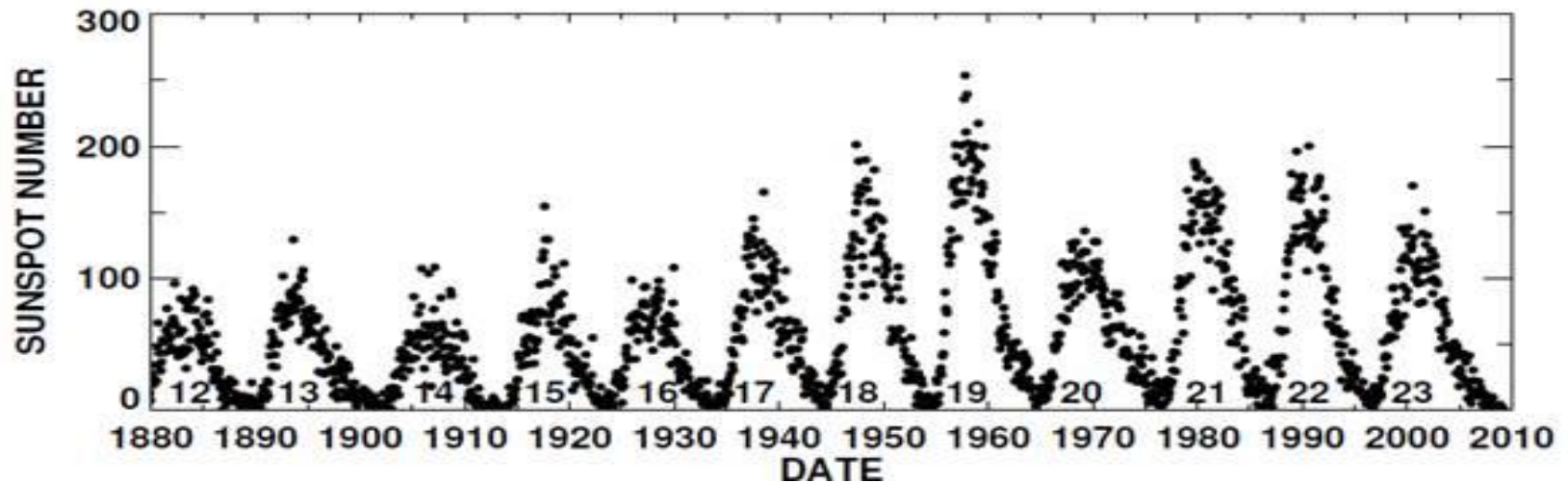
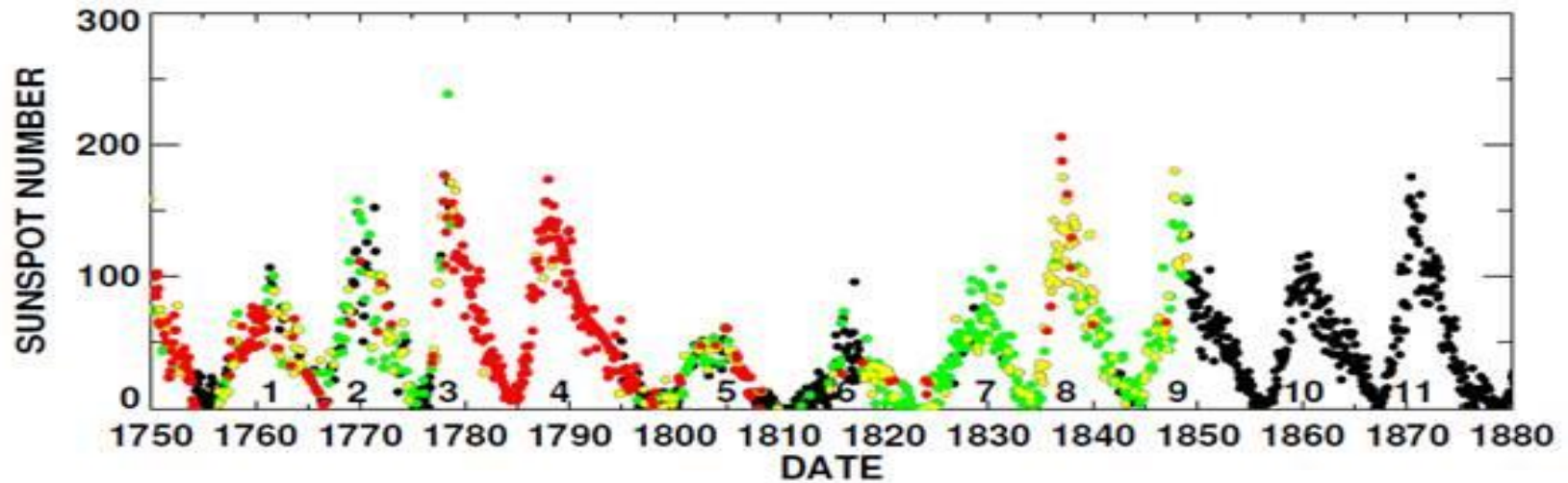
Рассматриваются вопросы:

1. Рассматриваются одномерные модели среднегодовых рядов чисел Вольфа

$$W(t) = f(W(t-1), W(t-2), W(t-3), \dots, W(t-k))$$

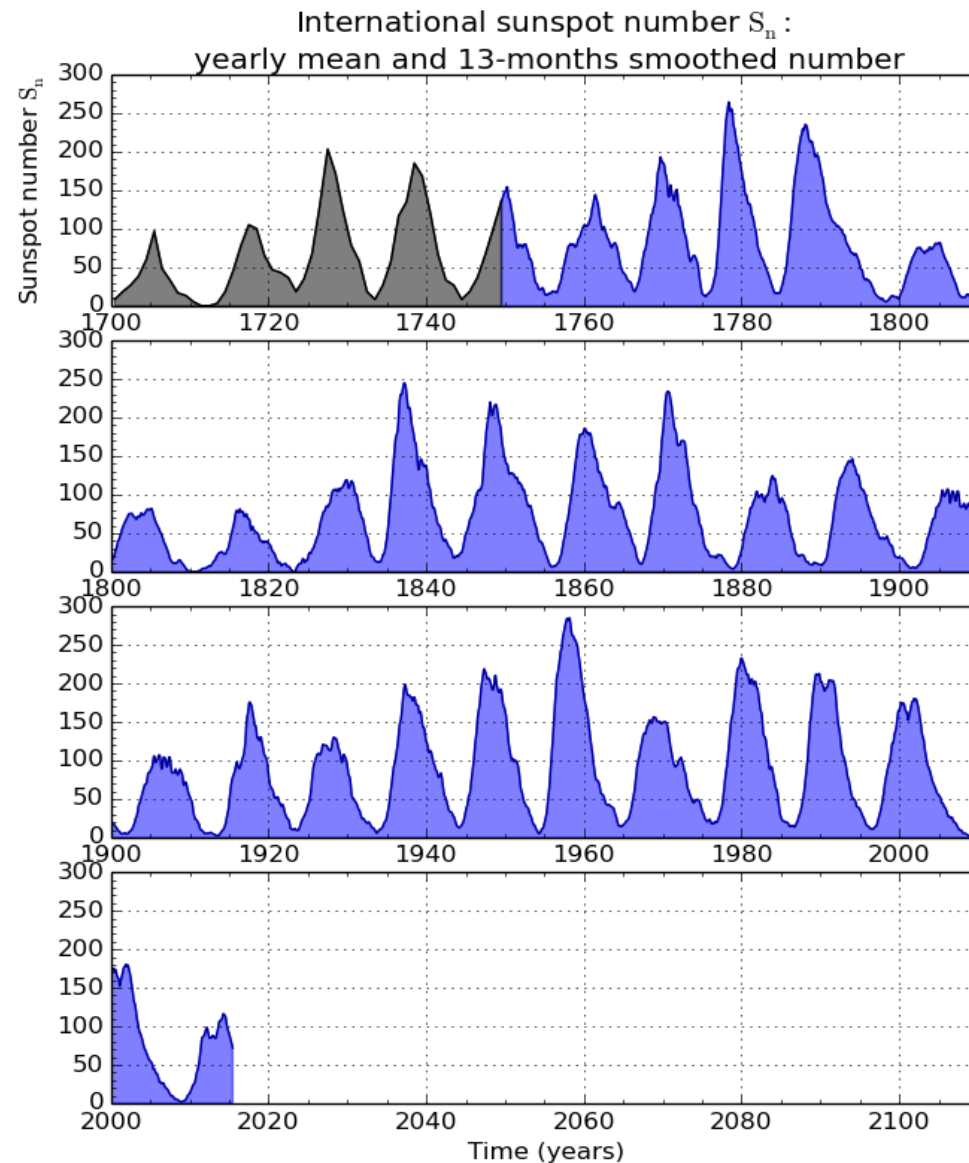
2. Приводятся результаты идентификации линейных моделей методом наименьших квадратов, процедурой Юла-Уокера, фильтром Калмана.
3. Рассматриваются модели Оля-Гневышева, циклы Гляйсберга, эффекты миграции циклов.
4. Приводятся результаты прогнозов максимального числа Вольфа в 24-м цикле.

Среднемесячные показатели



Зеленый цвет – отсутствуют от 1 до 10 наблюдений,
желтый – 11 – 20, **красный** – более 20

Черный – ежедневные
наблюдения

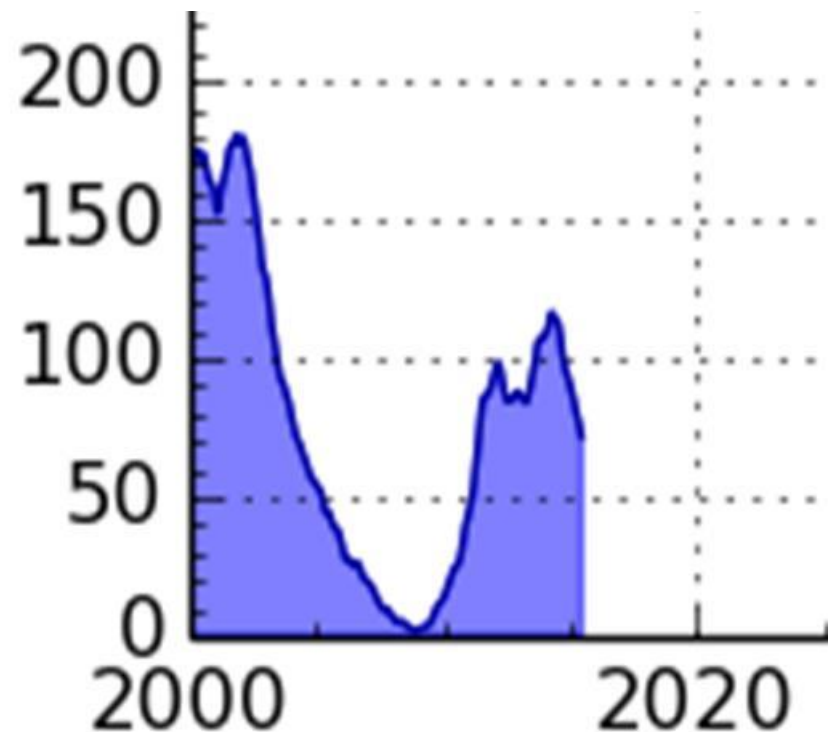


SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2016 January 1

24-й цикл

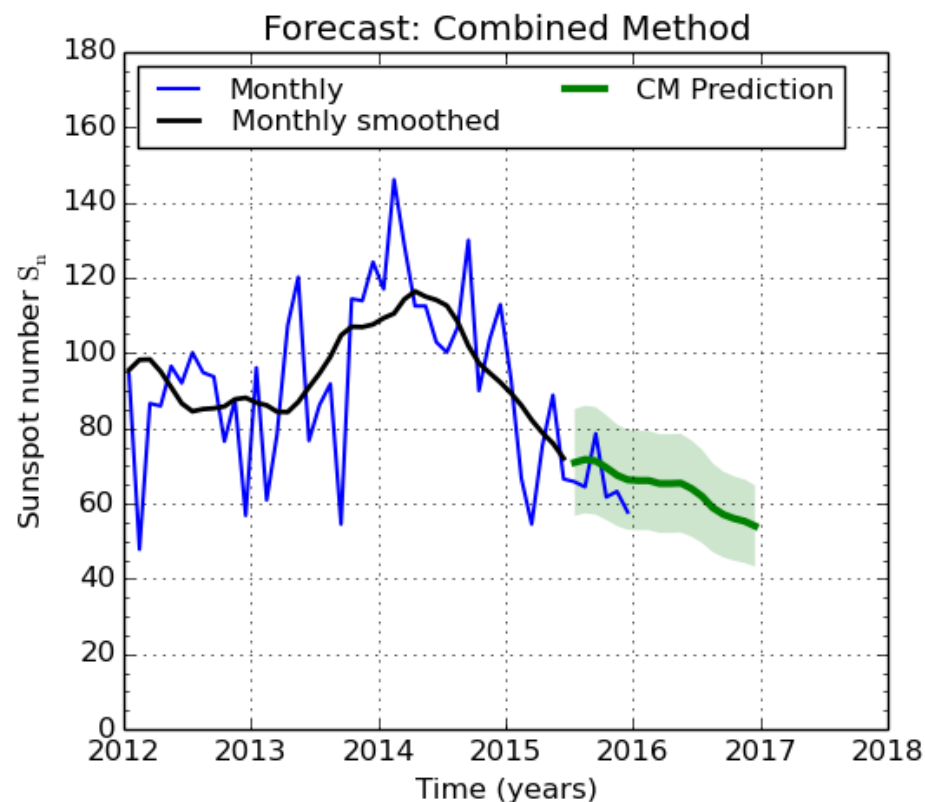
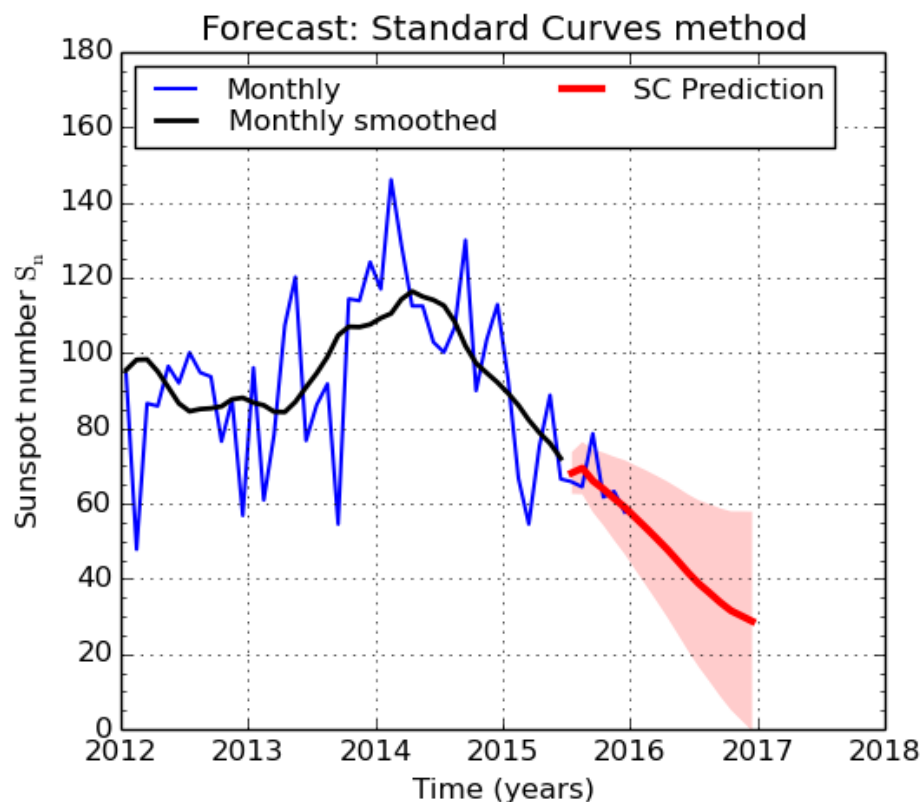
$W_{\max}=113,3$

$T=2014$ г.

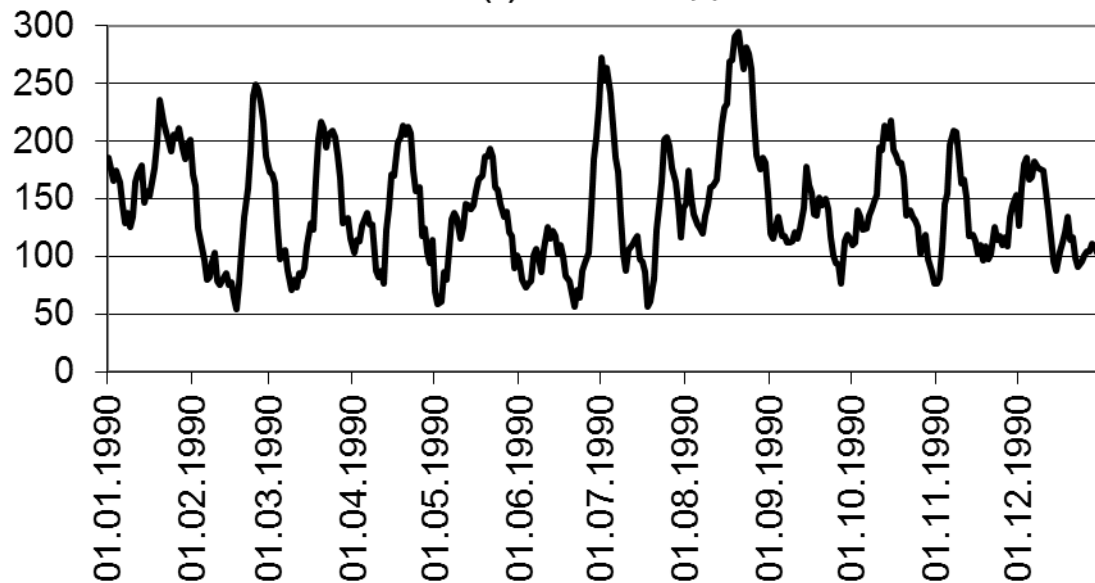


www.sidc.be/silso/yearlyssnplot

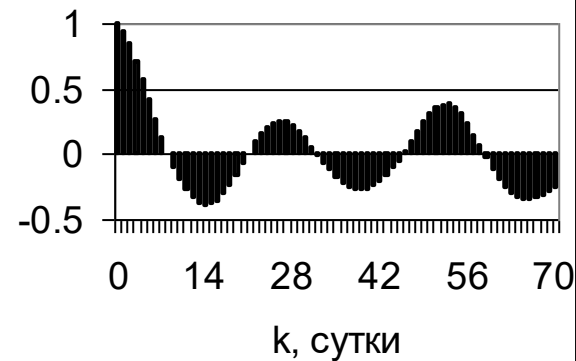
В настоящее время работу по вычислению чисел Вольфа ведет Королевская обсерватория Бельгии. Таблицы и графики солнечной активности с 1749 года (месячные) и с 1818 г. (суточные) по настоящее время регулярно размещаются на сайте (<http://sidc.oma.be/html/sunspot.html>).



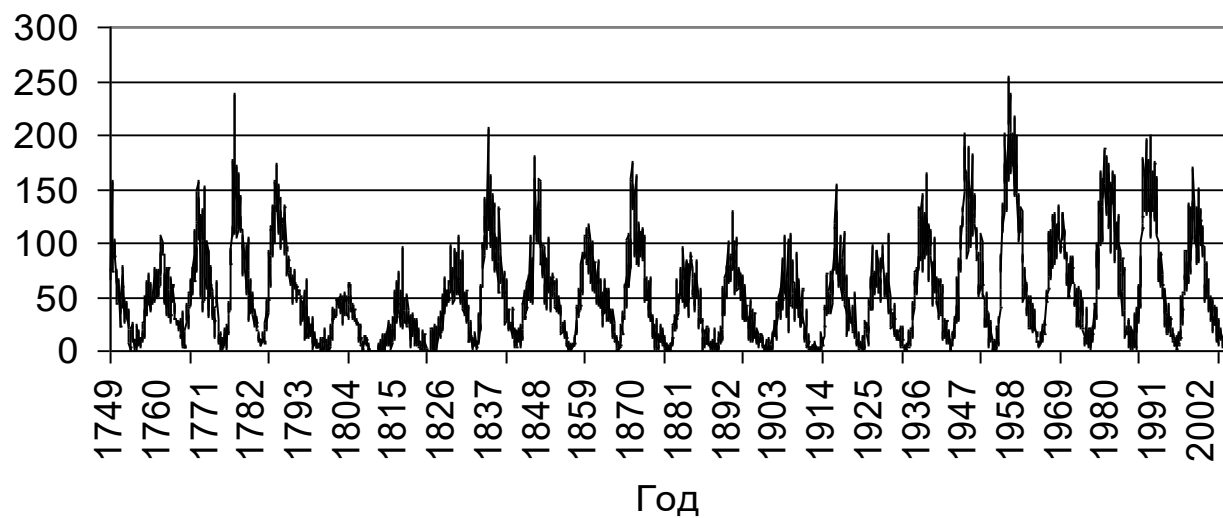
Wd(t). 1990 год



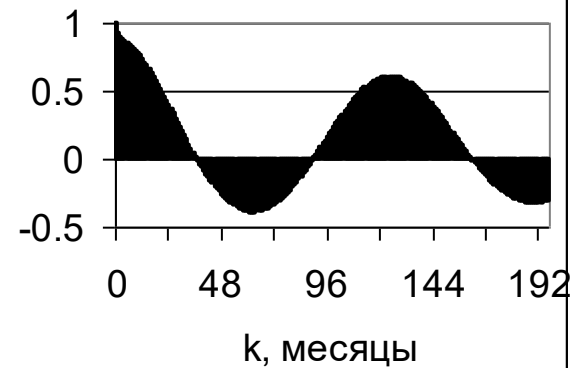
$r(k)$



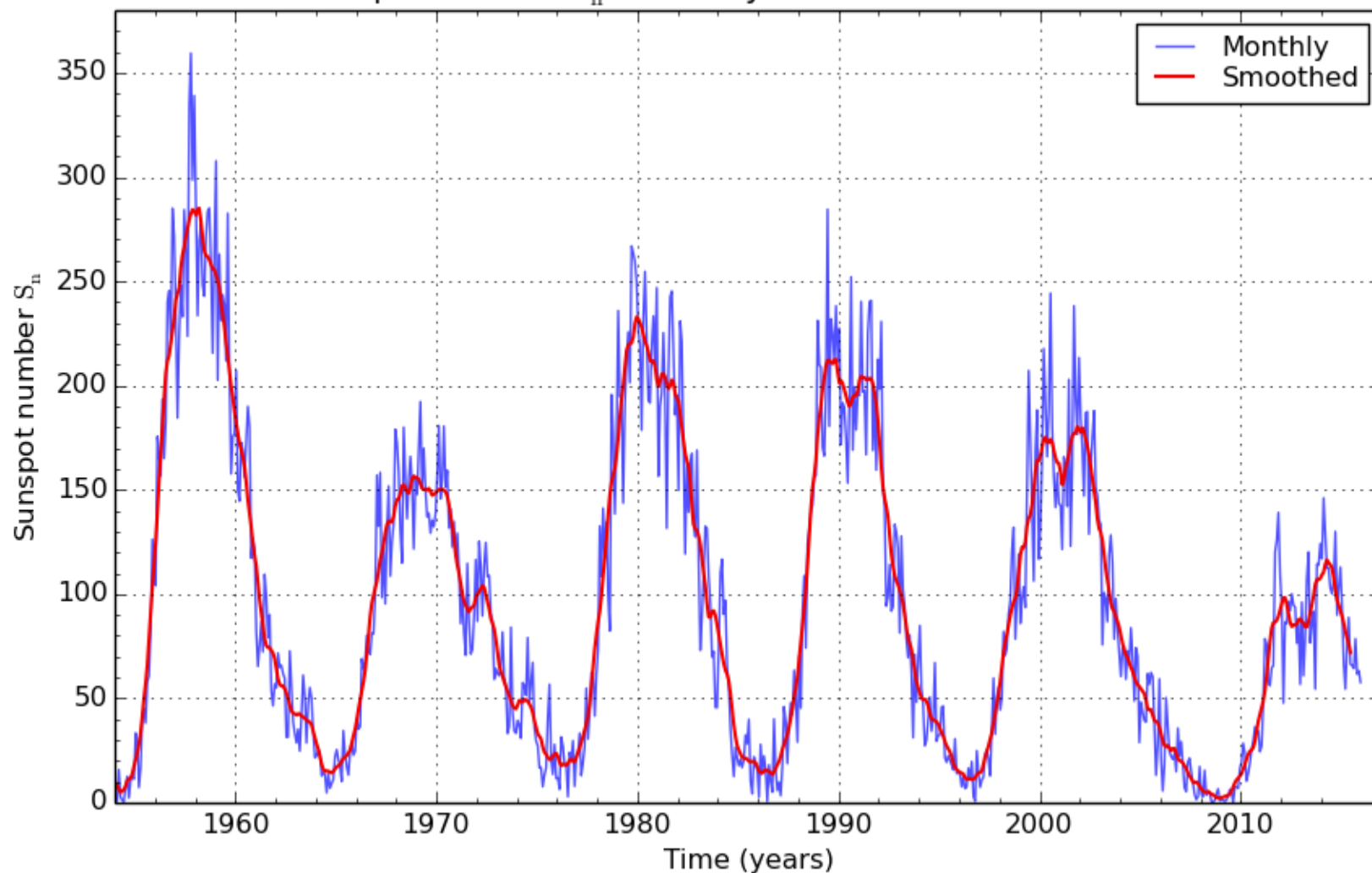
Среднемесячные числа Вольфа



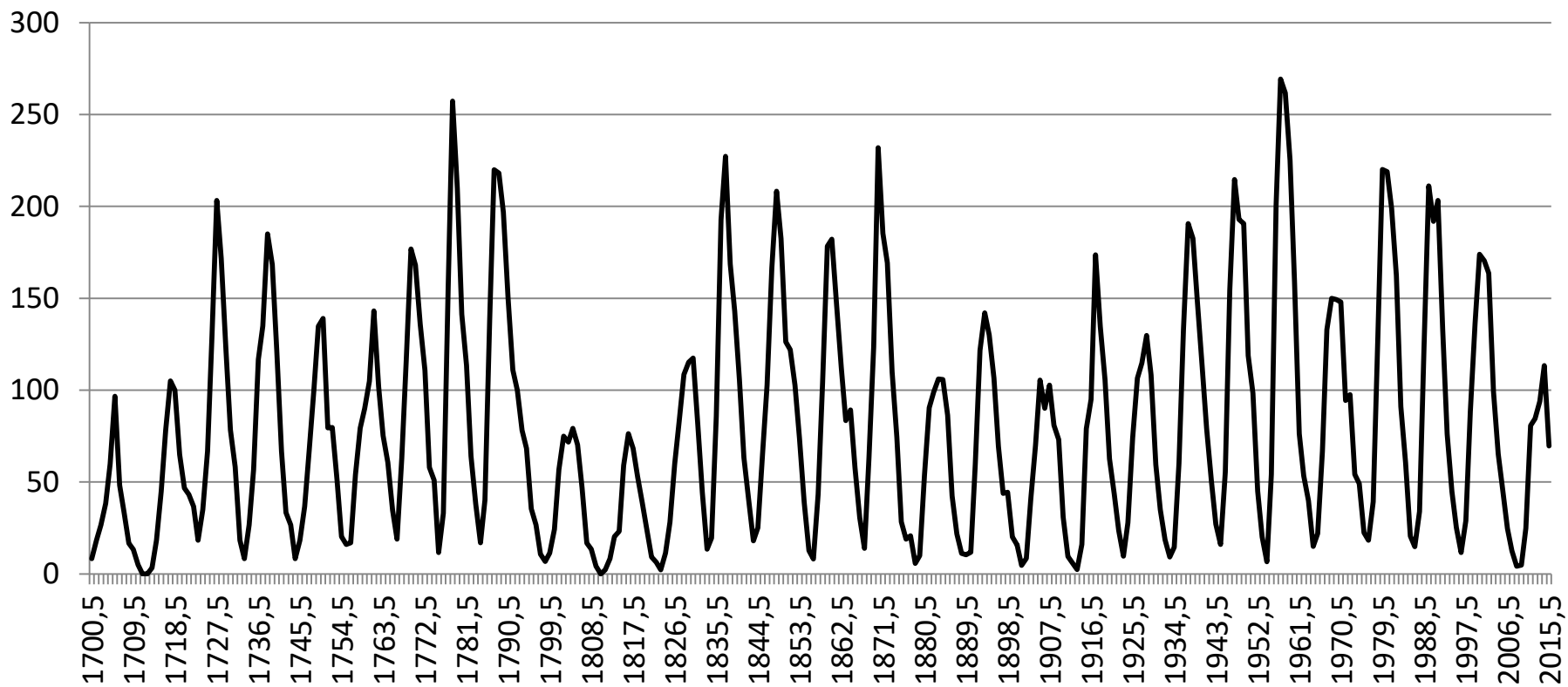
$r(k)$



International sunspot number S_n : monthly mean and 13-month smoothed number

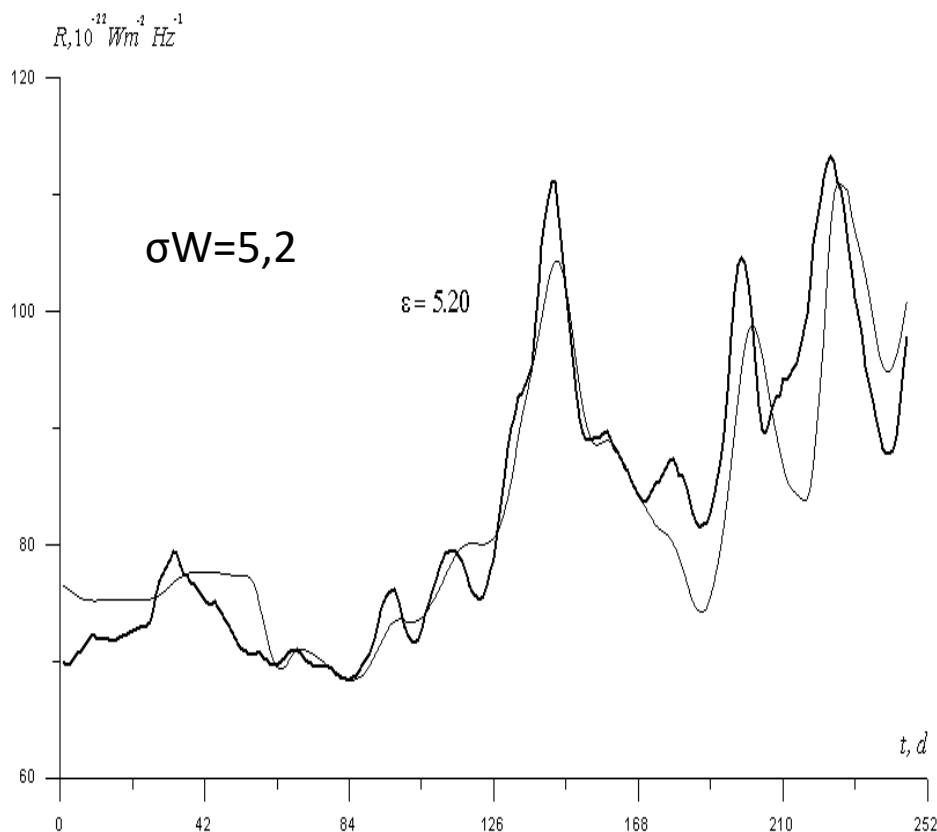


W среднегодовые

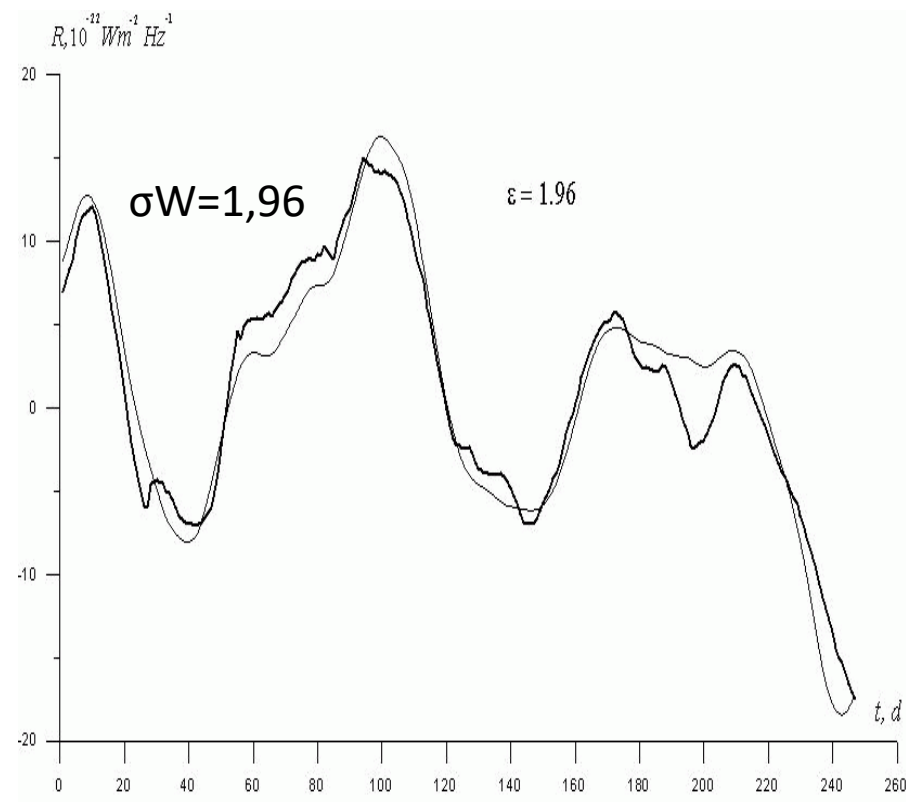


ПРОГНОЗ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ НЕЛОКАЛЬНОСТИ

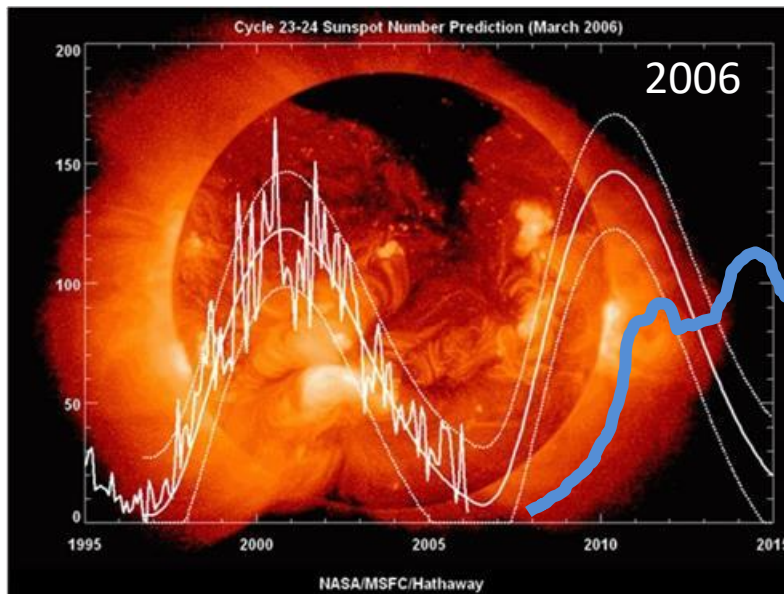
В.О. Сердюк, С.М. Коротаев, Ю.В. Горохов



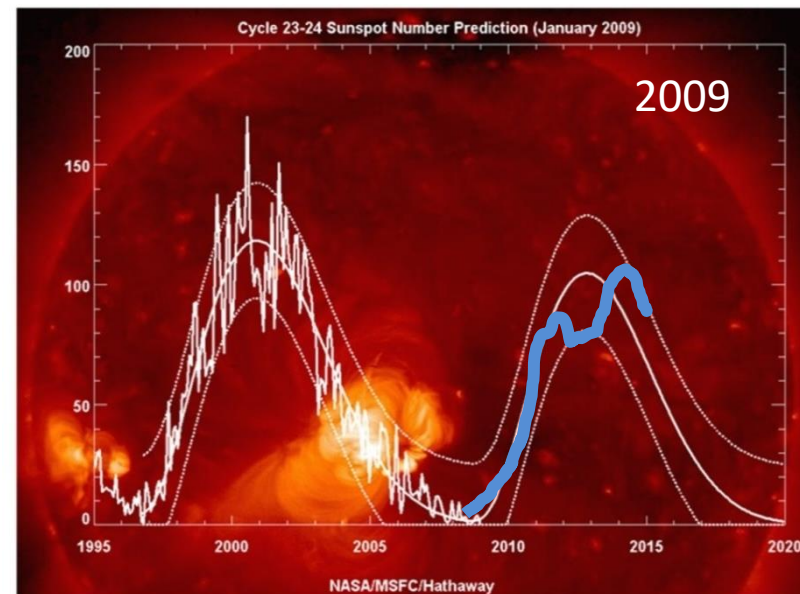
Прогноз солнечной активности с
заблаговременностью 39 сут. (тонкая
линия) в сопоставлении с фактической
кривой (жирная линия). Начало отсчета
времени (в сут.) соответствует 21/3/1997.



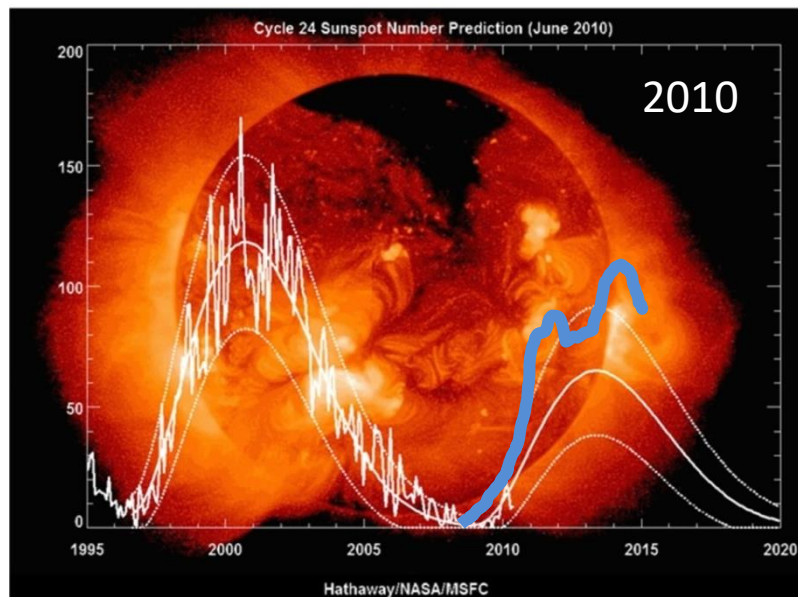
Прогноз солнечной активности с
заблаговременностью 123 сут. Начало
отсчета времени 20/2/2003



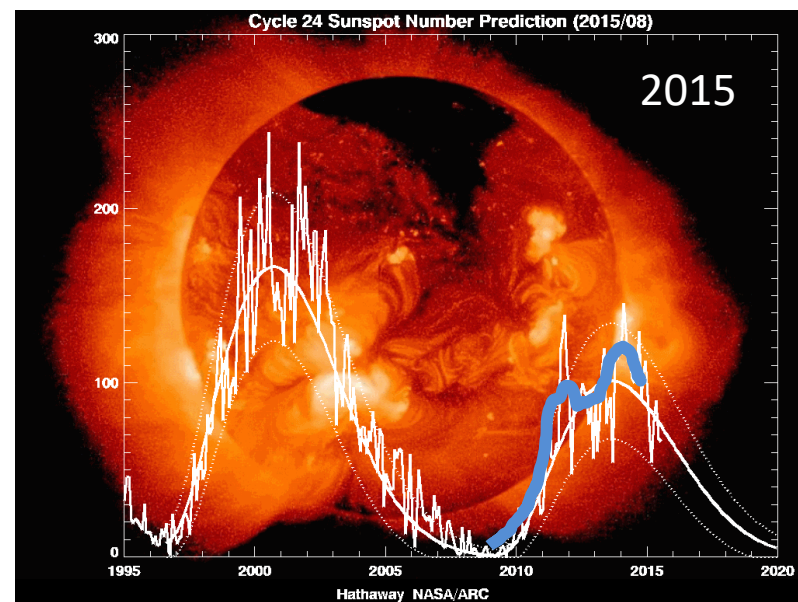
alt Paragraph Font;http://www.nasa.gov/images/content/144055main_Cycle24PredictionHathaway



Default Paragraph Font;http://climateresearchnews.com/wp-content/uploads/2009/01/ssn_predict_1.gif



Default Paragraph Font;http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/ssn_predict_1.gif



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

МЕТОДОМ ФАЗОВЫХ СРЕДНИХ

М.Н.Храмова,
С.А.Красоткин,
Э.В.Канонович

Прогнозы цикла активности 23

| Автор | Максимальное среднегодовое число Вольфа |
|------------------------------------|--|
| Высокие значения | |
| Цирульник и др. (1999), [2] | 250 |
| Макаров, Михайлуца (1992), [28] | 210 |
| Вилсон (1992), [22] | 214 |
| Витинский (1997), [6] | 182 |
| Кононович и др. (1997), [7] | 210 |
| Куклин (1993), [16] | 206 |
| Умеренные и низкие значения | |
| Витинский (1997), [6] | 143÷164 |
| Кулкарни и др. (1998), [25] | 144 |
| Мендоза и Рамирес (1999), [19] | 140 |
| Шатген и Хойт (1998), [18] | 153 |
| Шатген и Майерс (1996), [24] | 138 |
| Контор (1983), [27] | 110 |
| Вилсон (1988), [21] | 109 |
| Прогноз NASA (1995), [23] | 107 |
| Нусинов (1999), [4] | 117 |
| Шове (1983), [26] | 85 – 120 |
| Обридко (1995), [3] | 75 |
| Куклин (1993), [16] | 41 |
| Чистяков (1983), [5] | 75 |

$T_{wmax\ 23}=2000$

$W_{max23}=173,9$

$T_{begin23}=1996$

М.Н.Храмова,
С.А.Красоткин,
Э.В.Канонович

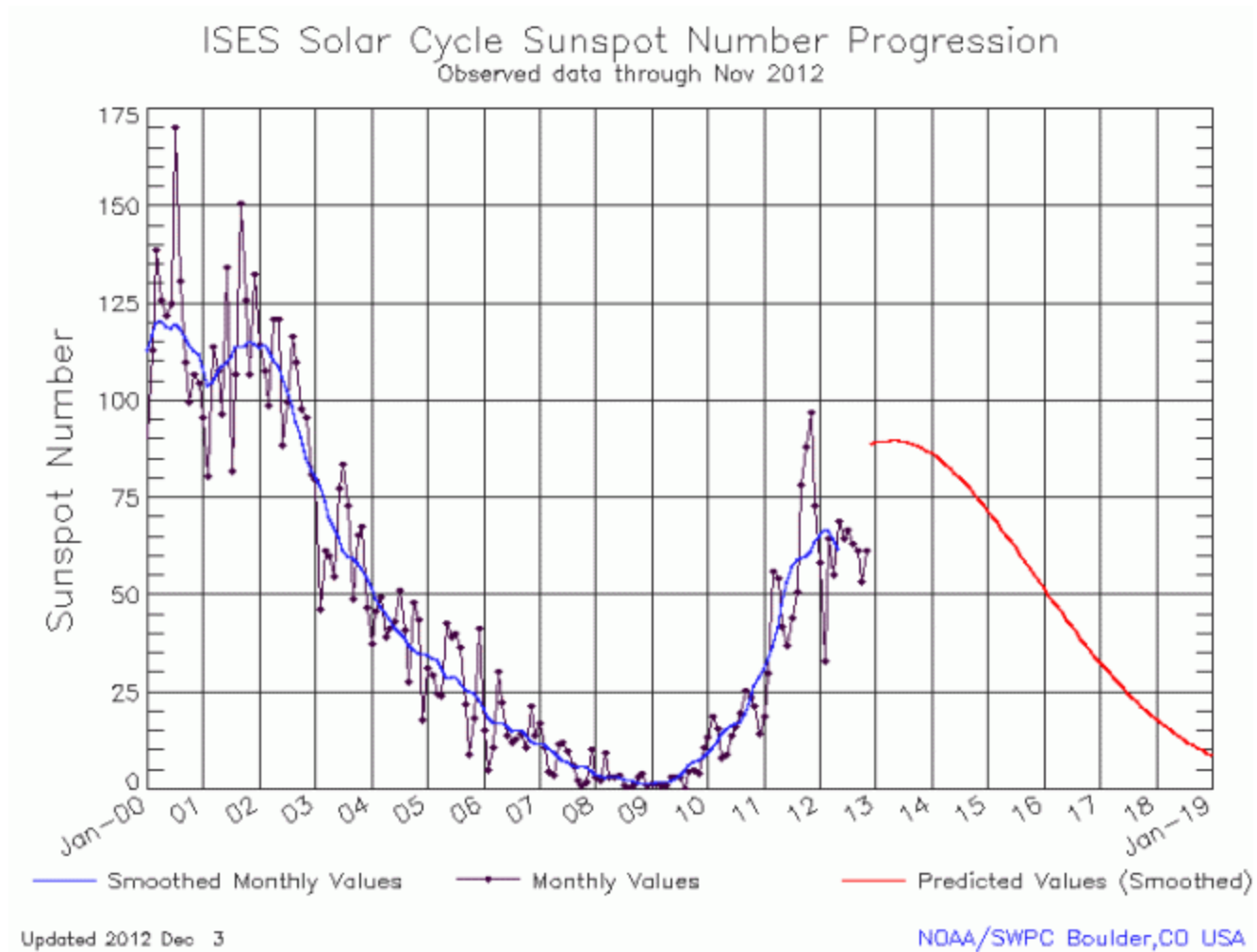
Прогноз циклов 23 и 24, выполненный методом ФС

| №№ фазы | Цикл 23 | | Цикл 24 | |
|---------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | год | ФС значение числа Вольфа | год | ФС значение числа Вольфа |
| 1 | 1996,8 | 12,1 | 2007,6 | 9,7 |
| 2 | 1997,5 | 25,5 | 2008,3 | 23,9 |
| 3 | 1998,2 | 59,7 | 2008,9 | 52,0 |
| 4 | 1998,8 | 94,9 | 2009,6 | 87,5 |
| 5 | 1999,5 | 108,4 | 2010,3 | 102,5 |
| 6 | 2000,2 | 126,0 | 2010,9 | 127,4 |
| 7 | 2000,8 | 105,0 | 2011,6 | 121,3 |
| 8 | 2001,5 | 110,0 | 2012,3 | 123,0 |
| 9 | 2002,2 | 105,0 | 2012,9 | 117,6 |
| 10 | 2002,8 | 86,9 | 2013,6 | 86,0 |
| 11 | 2003,5 | 64,8 | 2014,3 | 64,9 |
| 12 | 2004,2 | 40,3 | 2014,9 | 46,4 |
| 13 | 2004,8 | 26,7 | 2015,6 | 29,0 |
| 14 | 2005,5 | 16,7 | 2016,3 | 13,4 |
| 15 | 2006,2 | 12,5 | 2016,9 | 12,6 |
| 16 | 2006,8 | 10,6 | 2017,6 | 10,3 |

$T_{\text{begin}23}=1996; T_{\text{wmax}23}=2000; W_{\text{max}23}=173,9;$

$T_{\text{begin}24}=2008; T_{\text{wmax}24}=2014; W_{\text{max}24}=113,3$

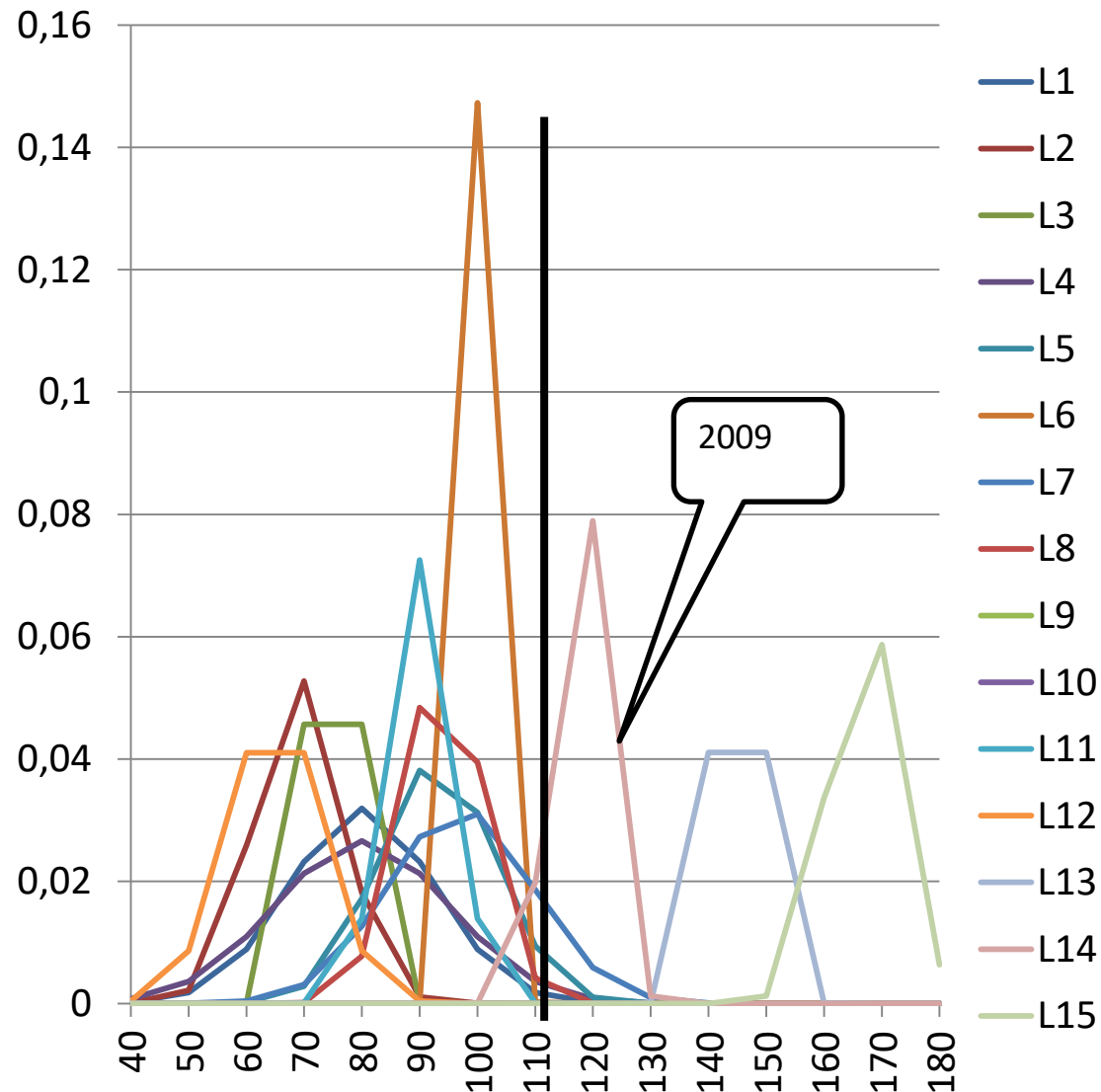
Published on Янв 1st, 2013 by [Алекс Крит](#)



Прогнозы максимального значения W 24-цикла в 2006-2008 годах

$f(AW_{max24})$

| |
|---|
| 1-Minimax 80 ± 25 Eq. 10 Brown (1976); Brajčsa et al. (2009)* |
| 2-Minimax 369 ± 15 Eq. 11 Cameron and Schüssler (2007)* |
| 3-Polar field 75 ± 8 Sect. 2.2 Svalgaard et al. (2005) |
| 4-Polar field 80 ± 30 Sect. 2.2 Schatten (2005) |
| Geomagnetic (Feynman) 150 Sect. 2.3 Hathaway and Wilson (2006) |
| 5-Geomagnetic (Ohl) 93 ± 20 Sect. 2.3 Bhatt et al. (2009) |
| 6-Geomagnetic (Ohl) 101 ± 5 Sect. 2.3 Ahluwalia and Ygbuhay (2009) |
| 7-Geomagnetic (interpl.) 97 ± 25 Sect. 2.3 Wang and Sheeley Jr (2009) |
| 8-Field reversal 94 ± 14 Eq. 12 Tlatov (2009)* |
| Extrapolation methods |
| 9-Linear regression 90 ± 27 Sect. 3.1 Brajčsa et al. (2009) |
| 10-Linear regression 110 ± 10 Sect. 3.1 Hiremath (2008) |
| 11-Spectral (MEM) 90 ± 11 Sect. 3.2 Kane (2007) |
| Spectral (SSA) 117 Sect. 3.2 Loskutov et al. (2001) |
| Spectral (SSA) 106 Sect. 3.2 Kuzanyan et al. (2008) |
| Attractor analysis 87 Sect. 3.3.1 Kilcik et al. (2009) |
| 12-Attractor analysis 65 ± 16 Sect. 3.3.1 Aguirre et al. (2008) |
| 13-Attractor analysis 145 ± 7 Sect. 3.3.1 Crosson and Binder (2009) |
| Neural network 145 Sect. 3.3.4 Maris and Oncica (2006) |
| 14-Neural network 117.5 ± 8.5 Sect. 3.3.4 Uwamahoro et al. (2009) |
| Model based methods |
| 15-Explicit models 167 ± 12 Sect. 4.3 Dikpati and Gilman (2006) |
| Explicit models _ 80 Sect. 4.3 Choudhuri et al. (2007) |
| Explicit models _ 85 Sect. 4.3 Jiang et al. (2007) |
| Truncated models _ 80 Sect. 4.4 Kitiashvili and Kosovichev (2008) |
| References marked with * are to the basic principle used in the given prediction method while the actual numerical evaluation for cycle 24 was done by the author. The application for forecast purposes does not necessarily |
| Метод фазовых средних |
| 126 ± 30 первая половина 2011 |



Модель авторегрессии-скользящего среднего (АРСС)

$$W_t = a_1 W_{t-1} + a_2 W_{t-2} + \dots + a_k W_{t-p} + b_0 n_t + b_1 n_{t-1} + \dots + b_k n_{t-q}$$

$n_t, n_{t-1}, \dots, n_{t-k}$ – значения случайного центрированного и нормированного импульса типа «белый шум»,

Идентификация

- Уравнение Юла – Уокера (АР)
- МНК
- Метод максимального правдоподобия
- Фильтр Калмана

Прогноз

$$\hat{W}_{t+1} = a_1 W_t + a_2 W_{t-1} + \dots + a_k W_{t-p+1} + b_1 e_t + \dots + b_{k+1} e_{t-q+1}$$

СКО прогноза - $\sigma_{eW} = b_0$

$$\hat{W}_{t+k} = f(\hat{W}_{t+k-1}, \hat{W}_{t+k-2}, \hat{W}_{t+k-3}, \dots, \hat{W}_{t+1}, W_t, W_{t-1}, \dots, W_{t-p+k})$$

$\uparrow k \Rightarrow \uparrow \sigma_{eW}$

e_t - текущая и предыдущие ошибки прогнозирования

Представление модели АР в пространстве состояния

$$W(k+p) = x_p(k+1) = a_1 W(k+p-1) + a_2 W(k+p-2) + \dots + a_p W(k) + 1n(k)$$

$$x_1(k) = W(k)$$

$$x_2(k) = W(k+1) = x_1(k+1)$$

$$x_3(k) = W(k+2) = x_2(k+1)$$

...

$$x_p(k) = W(k+p-1) = x_{p-1}(k+1)$$

$$W(k+p) = x_p(k+1)$$

$$x_p(k+1) = a_1 x_p(k) + a_2 x_{p-1}(k) + \dots + a_p x_1(k) + 1n(k)$$

Вектор переменных
состояния

Матрица системы

Вектор
наблюдения

$$\begin{array}{c} \mathbf{X}(k+1) \\ \left[\begin{array}{c} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ \dots \\ x_p(k+1) \end{array} \right] \end{array} = \begin{array}{c} \mathbf{A} \\ \left[\begin{array}{cccc} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ a_1 & a_2 & \dots & a_p \end{array} \right] \end{array} \begin{array}{c} \mathbf{X}(k) \\ \left[\begin{array}{c} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \dots \\ x_p(k) \end{array} \right] \end{array} + \begin{array}{c} \mathbf{C} \\ \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \end{array} \right] \end{array} n(t)$$

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{b}n(k)$$

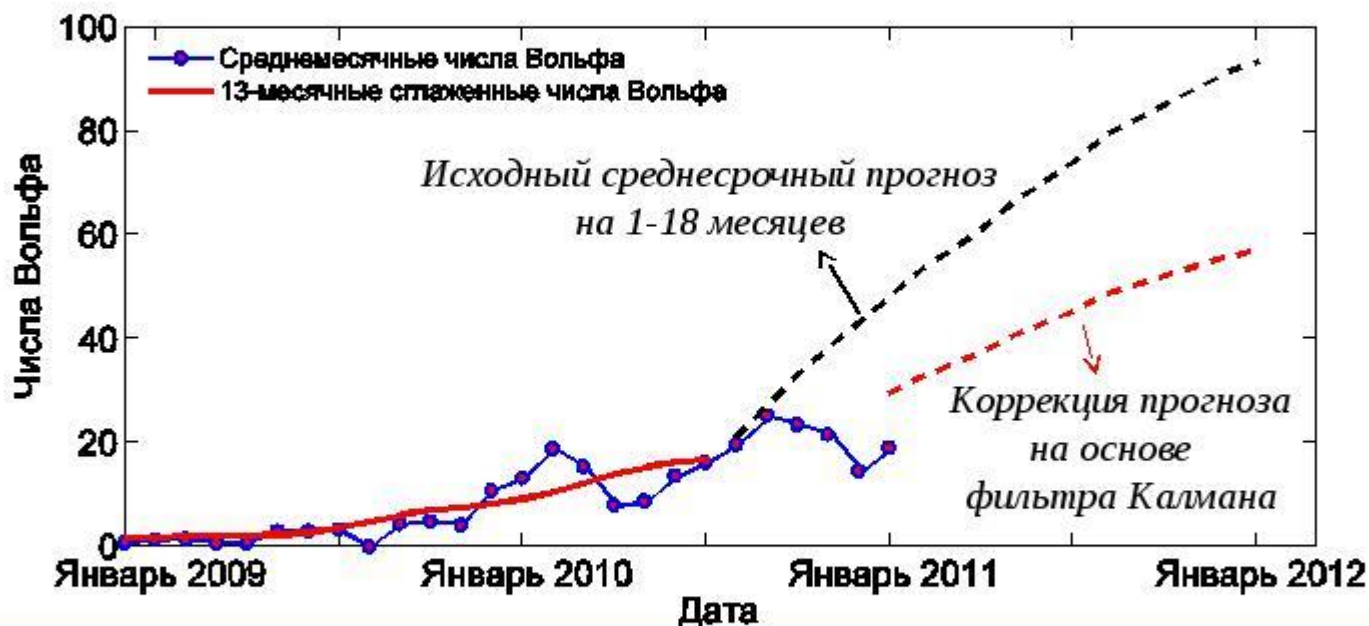
$$W(k) = \mathbf{c}^T \mathbf{x}(k)$$

Адаптивный фильтр Калмана для среднесрочного прогнозирования чисел Вольфа

Т. Подладчикова, Рональд Ван дер Линден

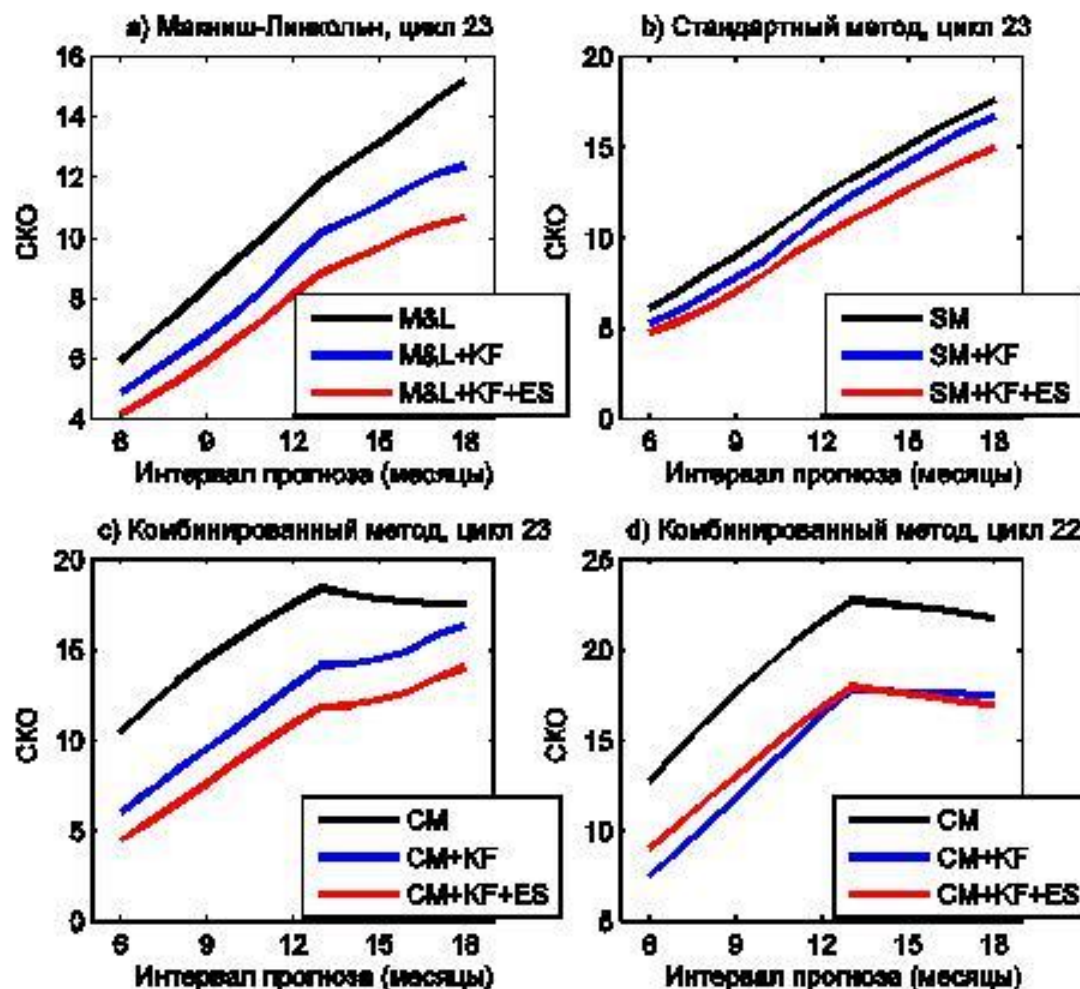
solarwind.cosmos.ru>txt/2011/conf2011thesis.pdf

Основная идея



Применение фильтра Калмана к среднесрочному прогнозу на основе использования 6 последних среднемесячных чисел Вольфа для повышения точности прогнозирования.

СКО прогноза на 6-18 месяцев



- а) СКО по методу Макниша – Линкольна (M&L) за период с 1994-2010 гг;
- б) СКО по Стандартному методу (SM) за период с 1992-2010 гг.
- в) СКО по Комбинированному методу (CM) за период с 1997-2010 гг.
- д) СКО по Комбинированному методу (CM) за период с 1986-1996 гг.

ОТСТУПЛЕНИЕ (перлы)

В. А. Валентинов

ЭКОНОМЕТРИКА

Учебник

2-е издание

Допущено

Министерством образования и науки
Российской Федерации в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности
“Математические методы в экономике”

Точечный прогноз равен

$$\begin{aligned} Y_{\text{пр}} &= 65,322 - 1,368t + 0,9135 - 4,909001 \delta_t - 7,448 \delta_{t-1} + 10,533 \delta_{t-2} = \\ &= 65,322 - 1,368 \times 25 + 0,9135 - 4,909001 \times 0,19 - 7,448 \times 0,6115 + \\ &\quad + 10,533 \times 0,0011 = 26,6584. \end{aligned}$$

Примечание. Расчетные значения зависимой переменной хорошо воспроизводят регулярности временного ряда, однако эти значения получены с помощью перебора подходящего белого шума. При любом изменении содержимого любой ячейки Excel происходит обновление случайных чисел. Этот набор значений белого шума получен одиннадцатым. Остальные наборы белого шума несущественно улучшали модель. Если белый шум отдаленно напоминает регулярности остатков, то с его помощью можно получить достоверную модель.

Вывод. Использование белого шума в предложенной модели является нежелательным, так как результаты расчетов зависят от субъективного выбора набора значений белого шума.

Нерешенная проблема

Нет критерия выбора белого шума, который можно использовать для построения модели скользящей средней.

2. Белый шум δ_t можно получить с помощью генератора случайных чисел, функции Excel — СЛЧИС:

- а) да;
- б) нет.

Немного о теории моделей авторегрессии-скользящего среднего (АРСС)

$$f_t = a_1 f_{t-1} + a_2 f_{t-2} + \dots + a_k f_{t-p} + b_0 n_t + b_1 n_{t-1} + \dots + b_k n_{t-q}$$

Дискретное преобразование Лапласа

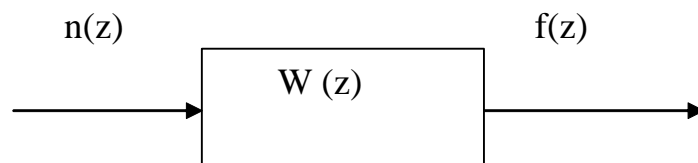
$$f^*(s) = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT_0) e^{-skT_0}$$

$$z = e^{-sT_0}$$

$$u(t) = av(t-k)$$

$$u(z) = az^{-k}v(z)$$

$$f(z) = a_1 z^{-1} f(z) + a_2 z^{-2} f(z) + \dots + a_k z^{-p} f(z) + \\ + b_0 n(z) + b_1 z^{-1} n(z) + \dots + b_k z^{-q} n(z)$$



$$f(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_k z^{-q}}{1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2} - \dots - a_k z^{-p}} n(z) = \frac{B(z)}{A(z)} n(z)$$

Обратимость модели скользящего среднего

$$f(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_k z^{-q}}{1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2} - \dots - a_k z^{-p}} n(z) = \frac{B(z)}{A(z)} n(z)$$

$$x(z) = 1 + b_1 z^{-1} + \dots + b_k z^{-k} = 0$$

Условие обратимости

$$|z_k| < 0$$

$$f(z) = \frac{b_0}{1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2} - \dots - a_k z^{-p} - \dots} n(z) = \frac{b_0}{A(z)} n(z)$$

$$AP(p)CC(q) \Rightarrow AP(\infty)$$

Синтез управления предполагает наличие всех корней $B(z)$ внутри ед. круга

Характеристическое уравнение

$$1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2} - \dots - a_k z^{-p} = 0$$

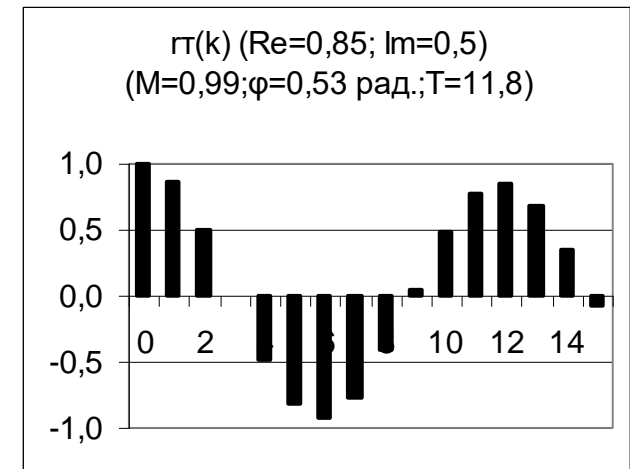
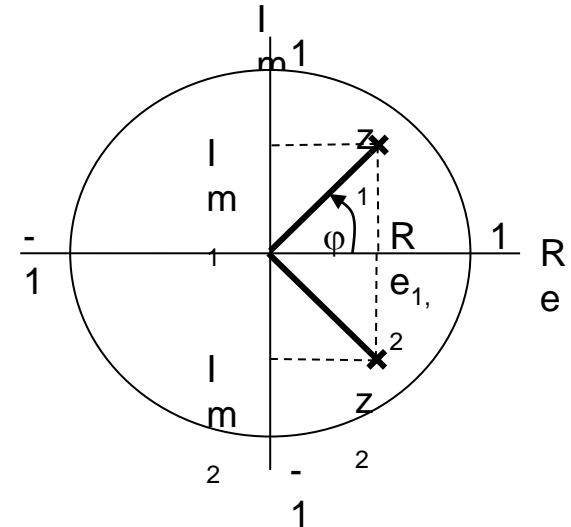
AP2

$$W(z) = \frac{b_0}{1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2}}$$

$$z_{1,2} = \left| \frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_1}{2}\right)^2 + a_2} \right| < 1$$

$$\sigma_f^2 = \frac{1 - a_2}{(1 + a_2)(1 - a_2 - a_1)(1 - a_2 + a_1)} b_0^2$$

$$T \approx \frac{2\pi}{\arg \operatorname{tg}(\varphi)}$$



Модели Бокса и Дженкинса (1770-1869 ???)

Прогноз на 1 год

$$W_t - 1,32W_{t-1} + 0,63W_{t-2} = 14,9 + n_t$$

$$\sigma_{eW23}^2 = 17,2$$

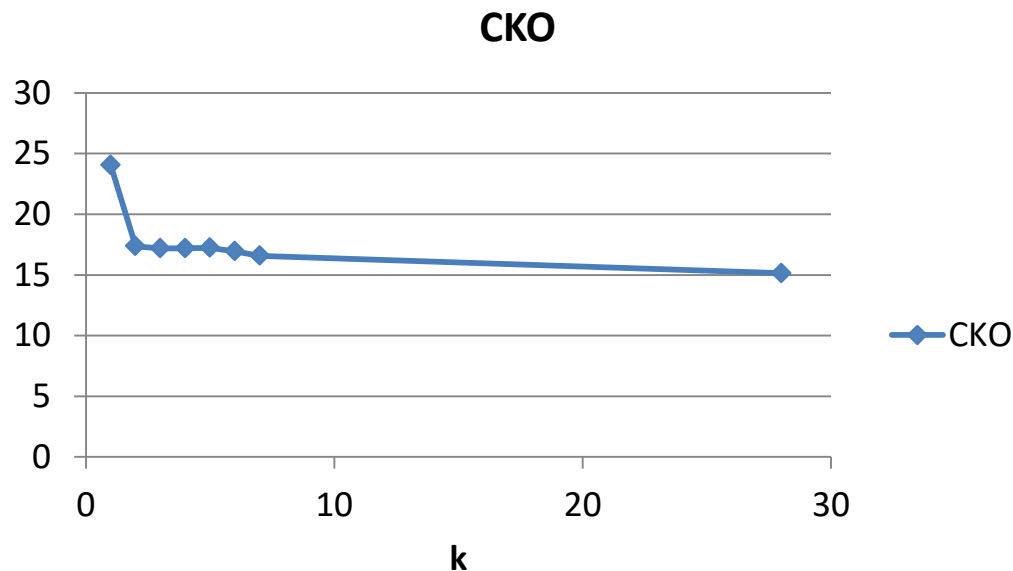
$$W_t - 1,37W_{t-1} + 0,74W_{t-2} - 0,08W_{t-3} = 13,7 + n_t$$

$$\sigma_{eW23}^2 = 17,4$$

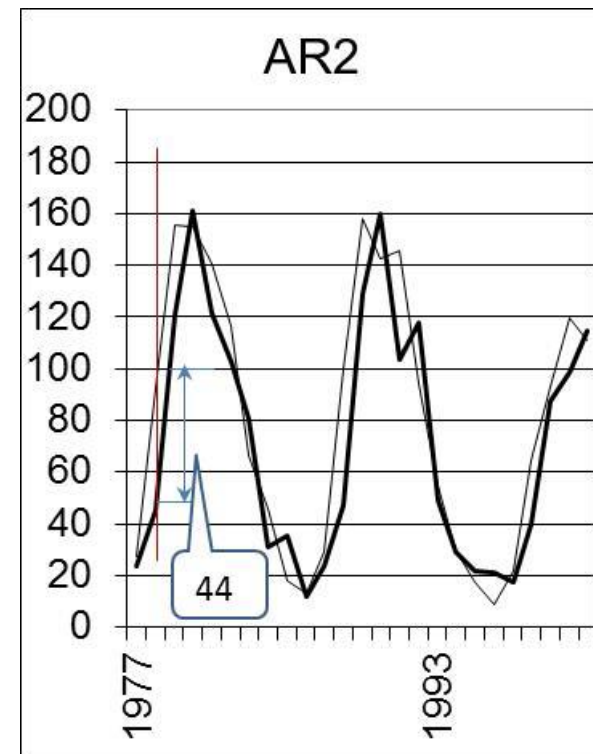
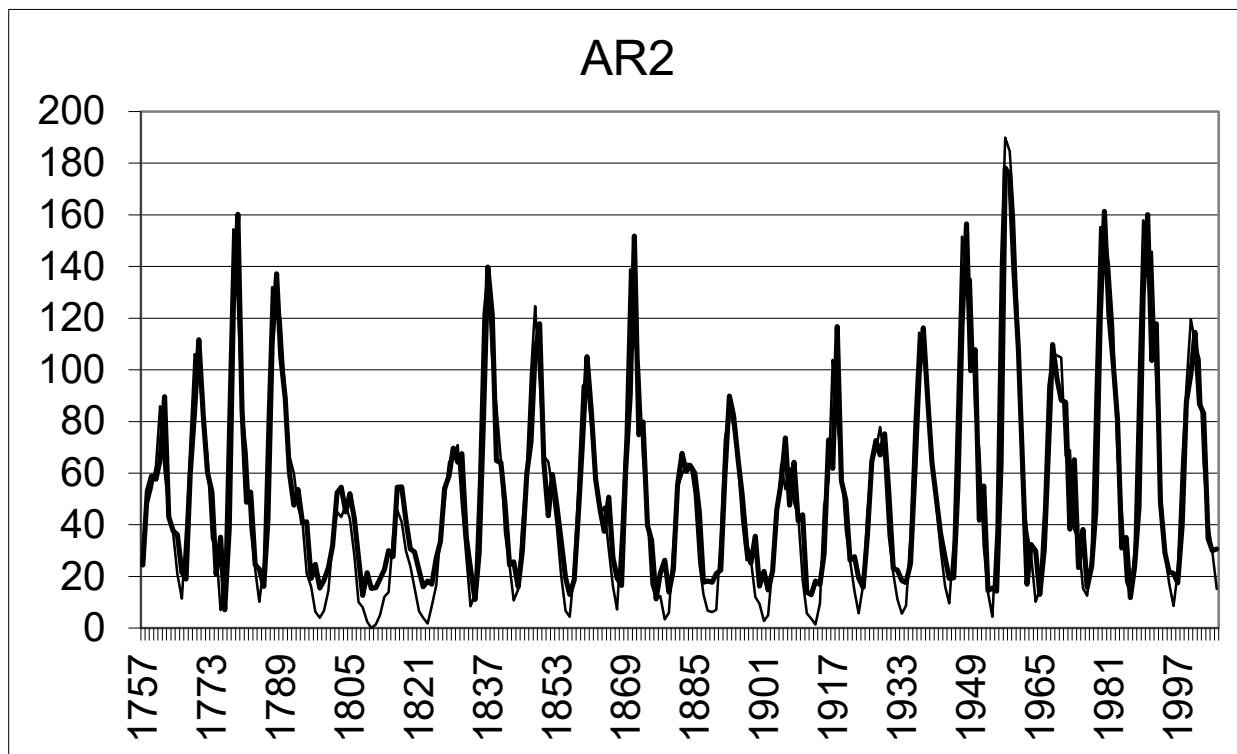
| a(i) | AP(1) | AP(2) | AP(3) | AP(4) | AP(5) | AP(6) | AP(7) |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| a1 | 0.801 | 1.303 | 1.225 | 1.223 | 1.222 | 1.235 | 1.200 |
| a2 | | -0.627 | -0.465 | -0.472 | -0.478 | -0.492 | -0.438 |
| a3 | | | -0.124 | -0.107 | -0.137 | -0.108 | -0.136 |
| a4 | | | | -0.014 | 0.063 | 0.165 | 0.183 |
| a5 | | | | | -0.063 | -0.323 | -0.240 |
| a6 | | | | | | 0.212 | 0.005 |
| a7 | | | | | | | 0.168 |
| CKOe | 24.1 | 17.4 | 17.2 | 17.2 | 17.2 | 16.9 | 16.6 |

Прогноз на 1 год

| a(i) | AP(28) | | | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| a1,a8,a15,a22 | 1.148 | -0.066 | -0.045 | 0.182 |
| a2,a9,a16,a23 | -0.387 | 0.160 | 0.001 | -0.058 |
| a3,a10,a17,a24 | -0.239 | 0.051 | 0.120 | -0.083 |
| a4,a11,a18,a25 | 0.347 | 0.047 | -0.247 | 0.118 |
| a5,a12,a19,a26 | -0.342 | -0.087 | 0.080 | -0.164 |
| a6,a13,a20,a27 | 0.056 | -0.025 | 0.030 | 0.055 |
| a7,a14,a21,a28 | 0.168 | 0.117 | -0.164 | 0.005 |
| CKOe | 15.1 | | | |



AR 3



— - факт — - прогноз

Прогноз на k лет



СКО среднесрочного прогноза

$$\frac{b_0}{1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2}} = \delta_0 + \delta_1 z^{-1} + \delta_2 z^{-2} + \delta_3 z^{-3} + \dots$$

$$\delta_0 = b_0$$

$$\delta_1 = a_1 \delta_0$$

$$\delta_2 = a_1 \delta_1 + a_2 \delta_0$$

$$\delta_3 = a_1 \delta_2 + a_2 \delta_1$$

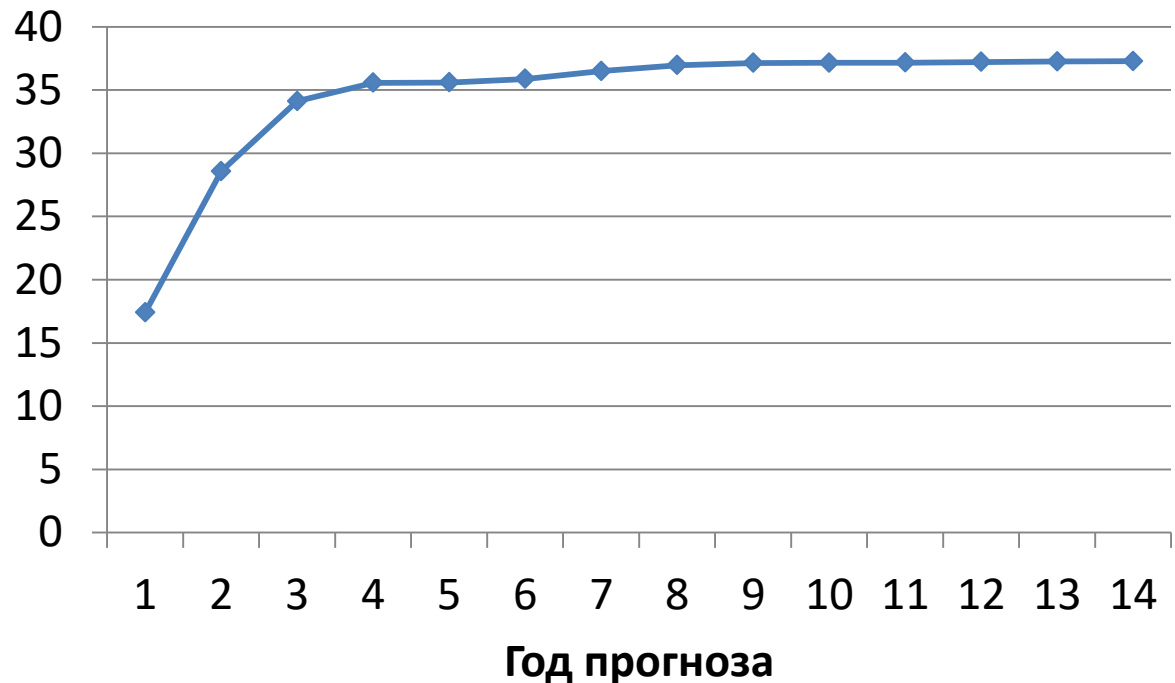
...

$$\delta_k = a_1 \delta_{k-1} + a_2 \delta_{k-2}$$

| δ_i |
|------------|
| 1 |
| 1,303 |
| 1,0708 |
| 09 |
| 0,5782 |
| 83 |
| 0,0821 |
| 06 |
| -0,2556 |
| - |
| 0,3845 |
| 3 |
| - |
| 0,3407 |
| 8 |
| - |
| 0,2029 |
| 3 |
| - |
| 0,0507 |
| 6 |
| 0,0611 |
| 04 |
| 0,1114 |
| 43 |
| 0,1068 |
| 98 |
| 0,0694 |
| 13 |

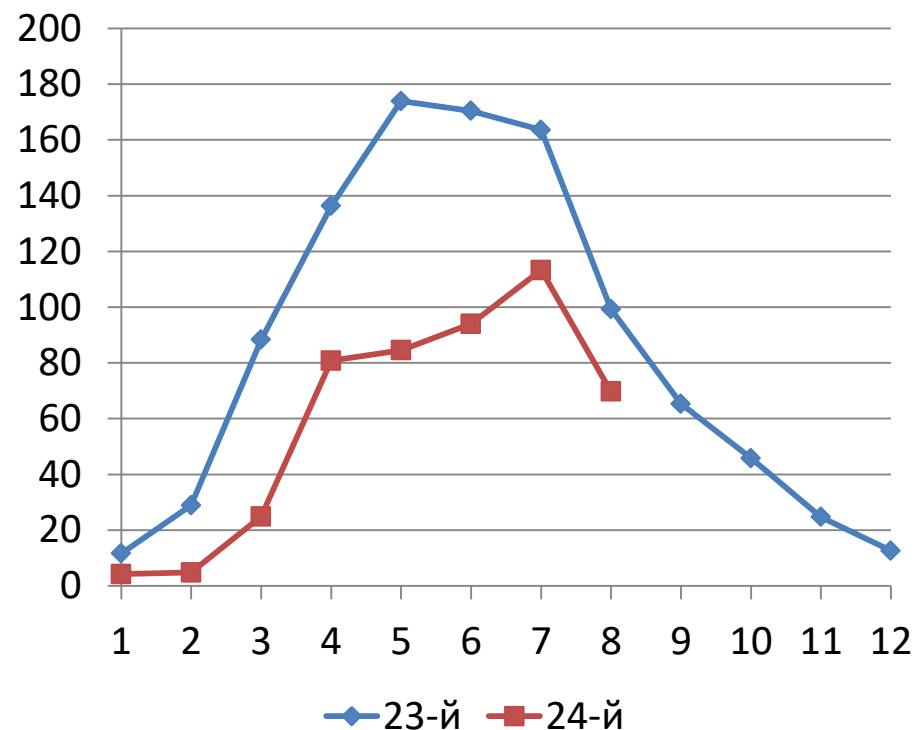
$$CKO = b_0 \sqrt{(1 + \delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots)}$$

СКО



23-й и 24-й циклы

| 23-й цикл | | 24-й цикл | |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 1996,5 | 11,6 | 2008,5 | 4,2 |
| 1997,5 | 28,9 | 2009,5 | 4,8 |
| 1998,5 | 88,3 | 2010,5 | 24,9 |
| 1999,5 | 136,3 | 2011,5 | 80,8 |
| 2000,5 | 173,9 | 2012,5 | 84,5 |
| 2001,5 | 170,4 | 2013,5 | 94 |
| 2002,5 | 163,6 | 2014,5 | 113,3 |
| 2003,5 | 99,3 | 2015,5 | 69,7 |
| 2004,5 | 65,3 | | |
| 2005,5 | 45,8 | | |
| 2006,5 | 24,7 | | |
| 2007,5 | 12,6 | | |



Forecasting the Time Series of Wolf Numbers for the 23rd Solar Cycle

1996

T. N. Bondar^{*}, N. M. Rotanova, and V. N. Obridko

$$Z_{t+l} = \varphi_1 Z_{t+l-1} + \varphi_2 Z_{t+l-2} + \dots + \varphi_{p+d} Z_{t+l-p-d} - \theta_1 a_{t+l-1} - \theta_2 a_{t+l-2} - \dots - \theta_g a_{t+l-g} + a_{t+l}, \quad (1)$$

with their 95% confidence intervals. The rms errors are ± 4.8 for a one-year forecast, ± 10.2 for a five-year forecast, and ± 18.6 for an eight-year forecast. Analysis of our calculations shows that the technique used for stochastic parametric modeling yields values of the Wolf numbers for the 23rd solar cycle that are lower than for the preceding 22nd solar cycle by a factor of almost 2

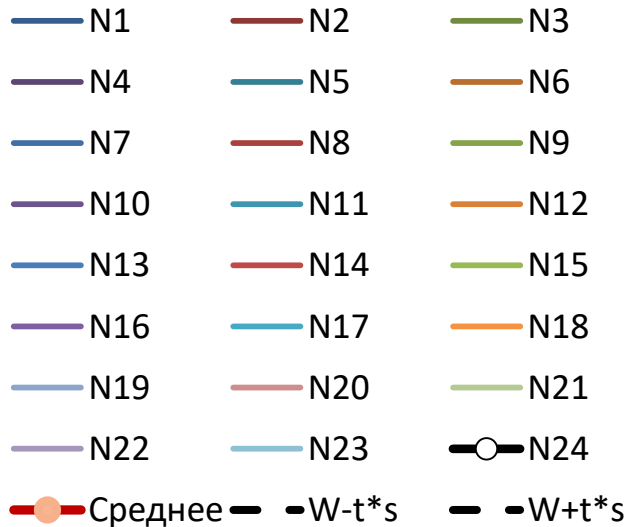
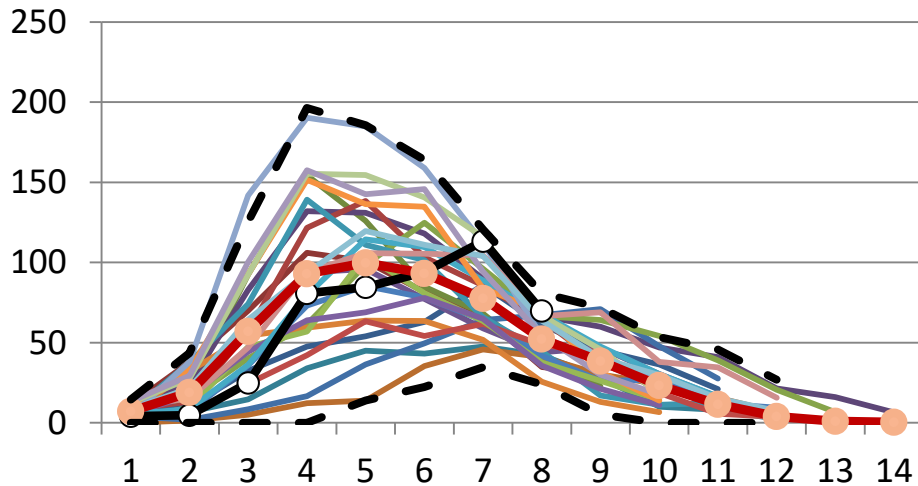
$T_{\text{begin}23}=1996;$
 $T_{\text{wmax } 23}=2000;$
 $W_{\text{max}23}=173,9;$

CONCLUSION

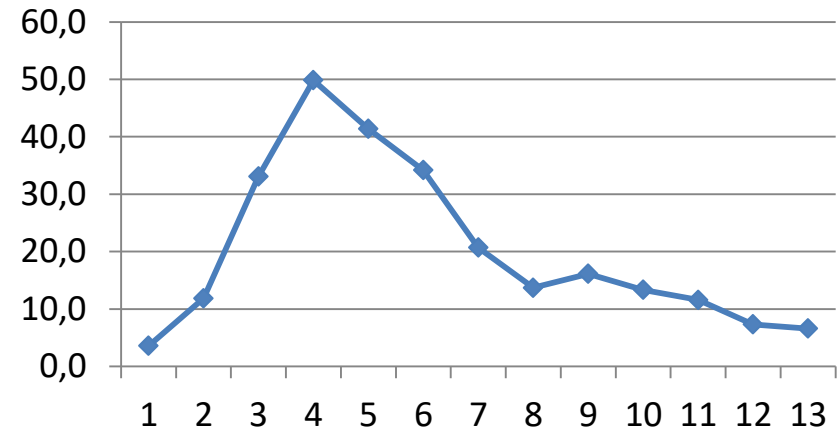
W_t for the 23rd solar cycle and their 95%-probability errors. We show that the forthcoming cycle will most probably be low, that the predicted values do not vary linearly, and that the maximum of their variations, 73.8 ± 10 , will occur in 2001. This implies that Gnev-

Средний цикл

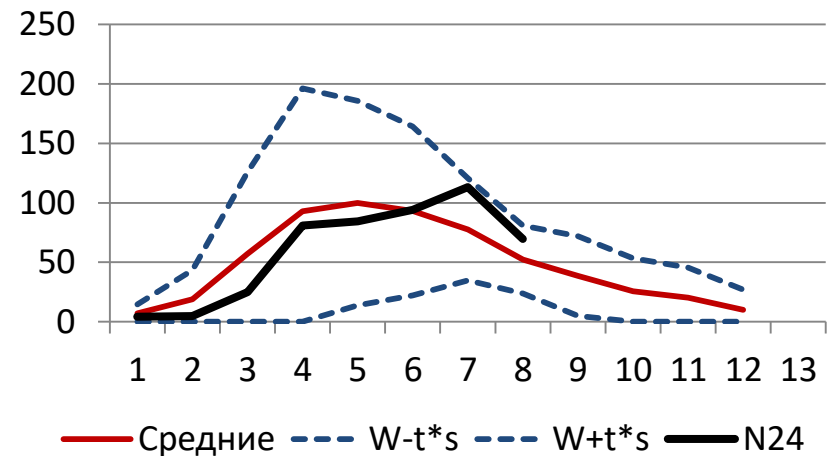
W



СКО

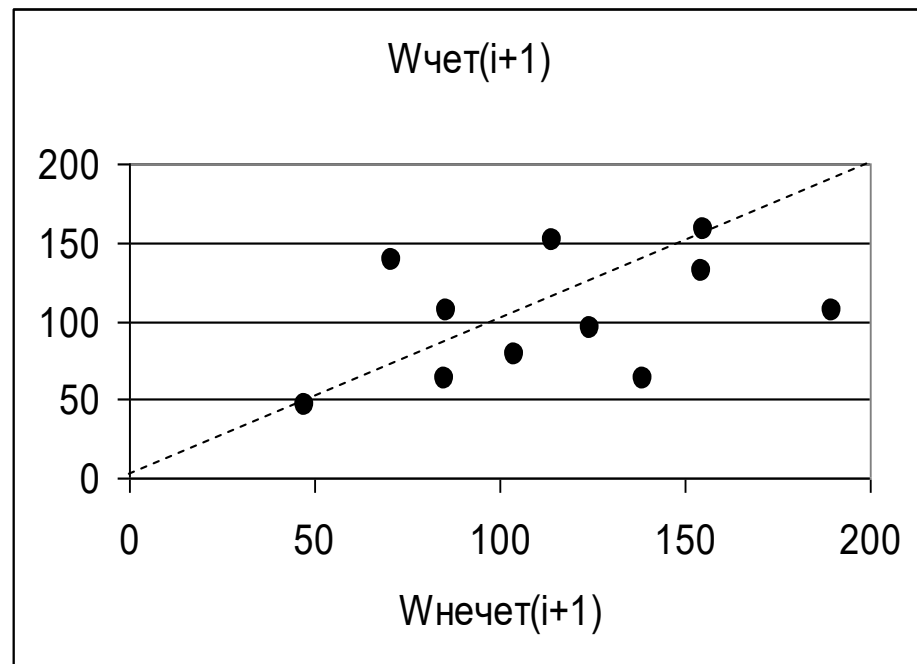
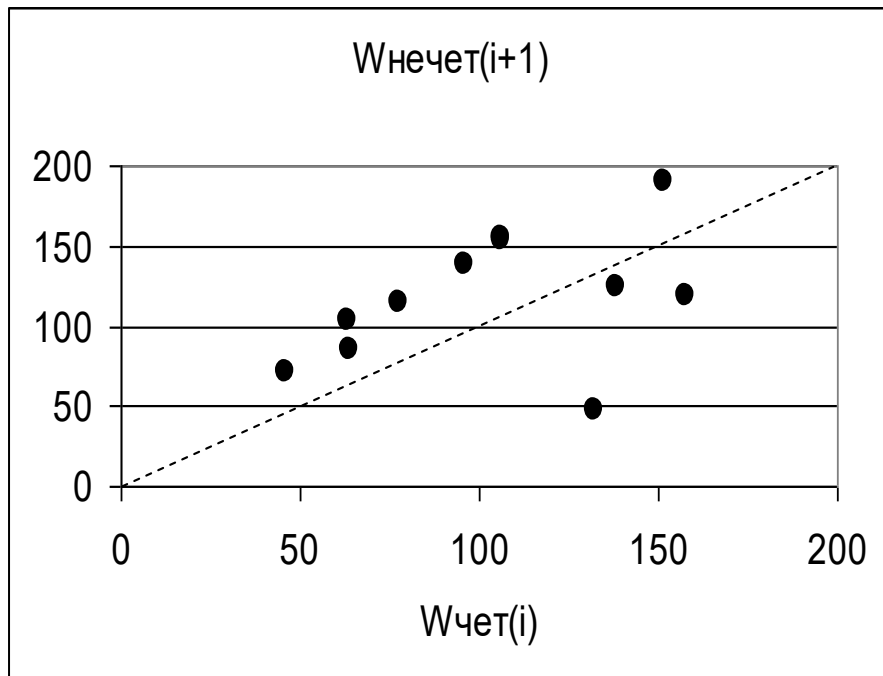


W



Правила Оля-Гневышева и Капецкого

«Четный цикл ниже следующего нечетного»



| | | | | Уровень значимос ти |
|------|----|-------|------|---------------------------|
| r | n | СКО r | tr | |
| 0.41 | 11 | 0.30 | 1.36 | 0.21 |

Gleissberg (1939)
 Garcia and Mouradian (1998)
 Hathaway et al. 1999)
 Rozelot, (1994)
 Ogurtsov et al. (2002)

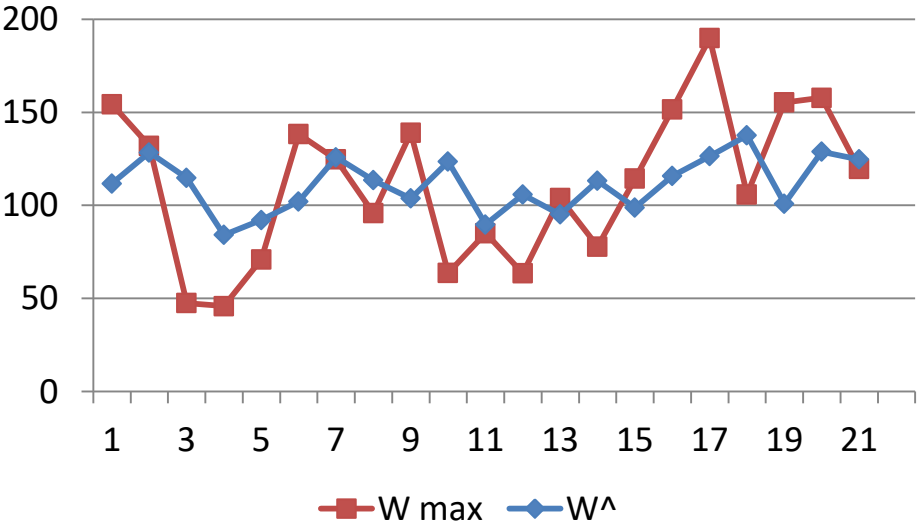
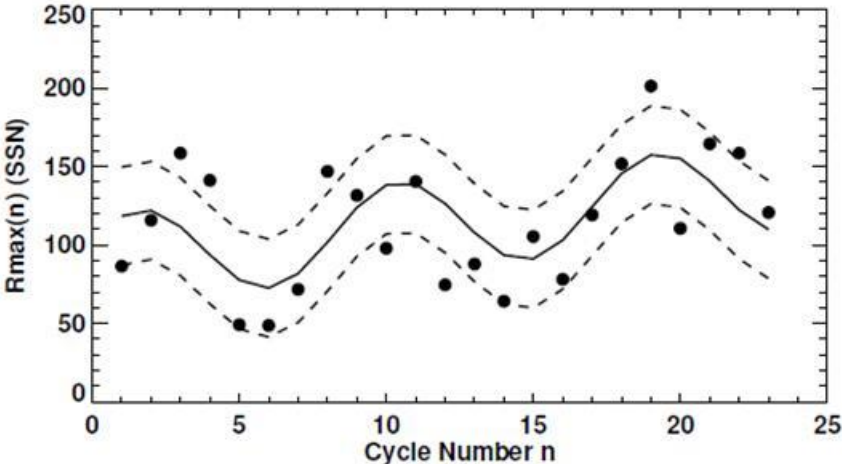
The Gleissberg Cycle

| a2 | a1 | a0 |
|--------|--------|--------|
| -0,103 | 0,390 | 79,169 |
| 0,242 | 0,235 | 30,71 |
| | 39,61 | |
| 0,134 | | |
| 1,40 | 18 | |
| 4371 | 28234, | |

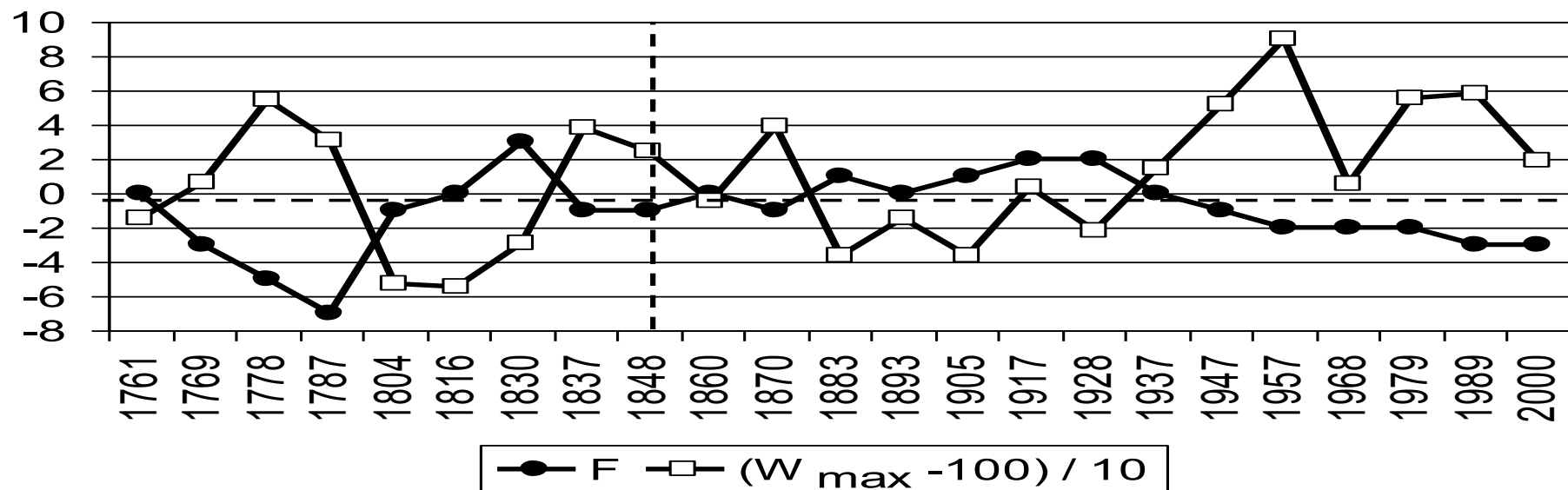
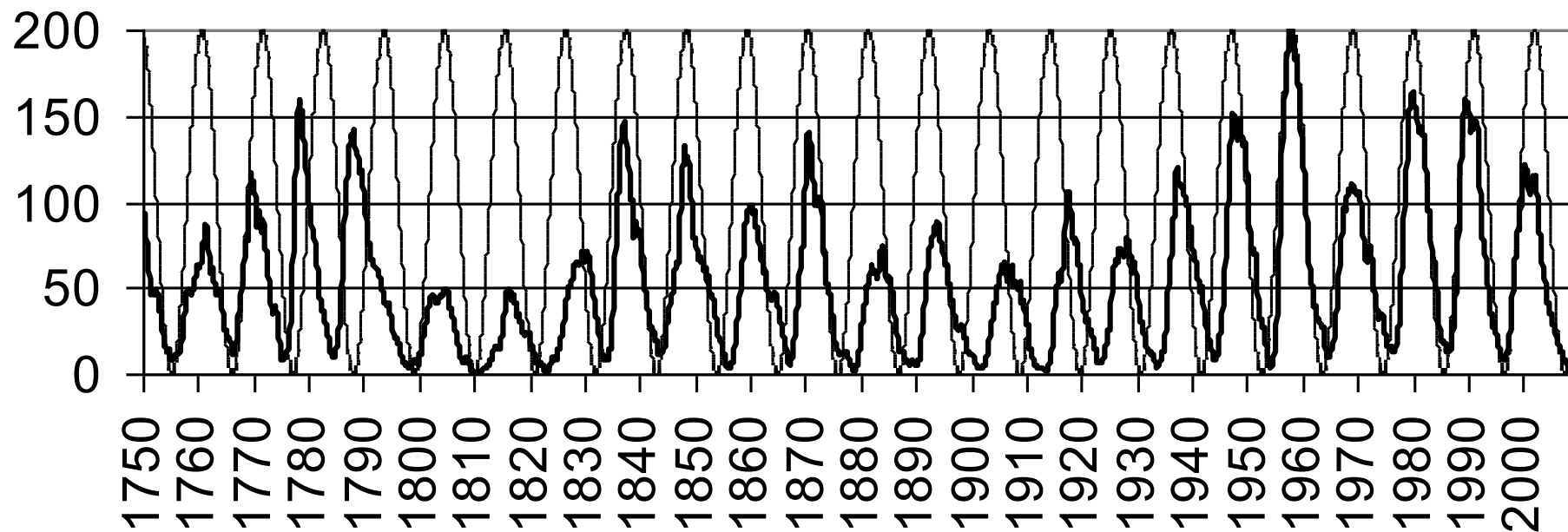
CKO Wmax = 38,0
 CKO e = 39,6: T=10 (MHK)
 CKO e = 35,8; T=7 (Ю-У)

$$z_{1,2} = \frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\frac{a_1^2}{4} + a_2}$$

| Re | Im | Arg | T |
|------|------|------|-----|
| 0,20 | 0,26 | 0,90 | 6,0 |

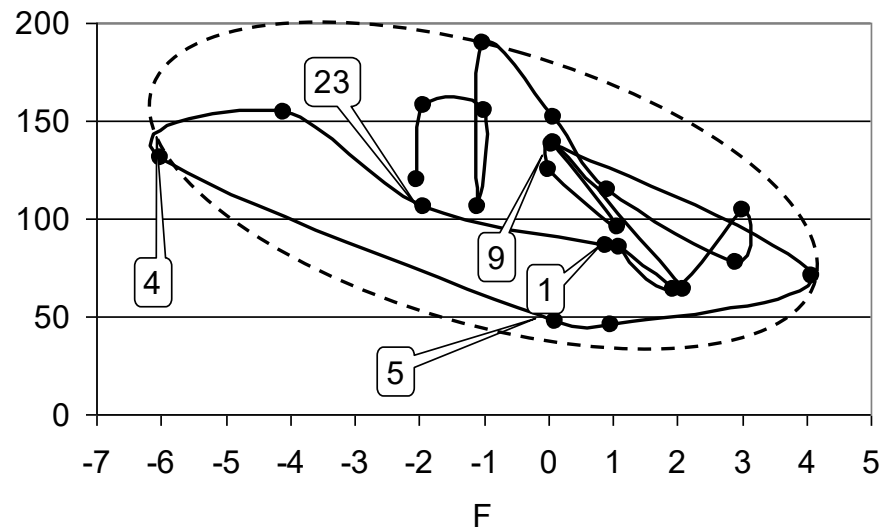


Связь W_{\max} с фазой

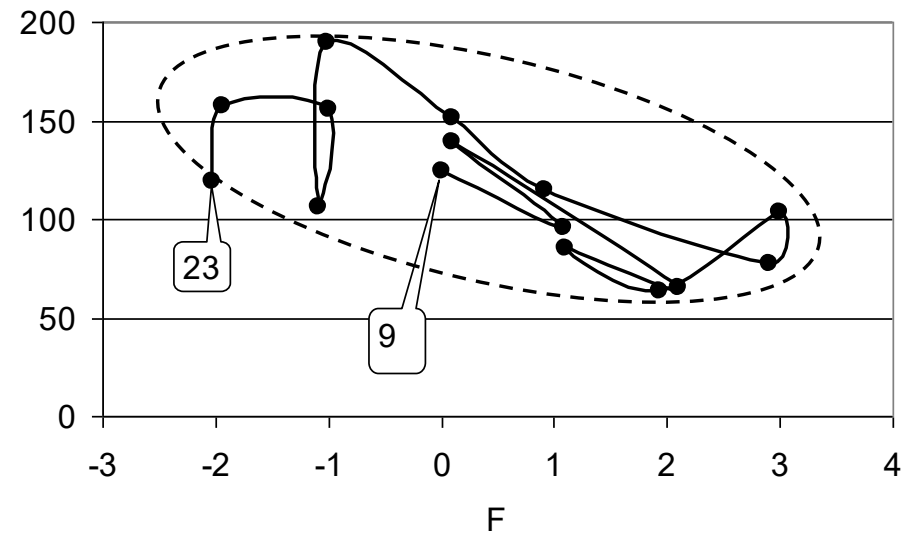


Связь W_{\max} с фазой

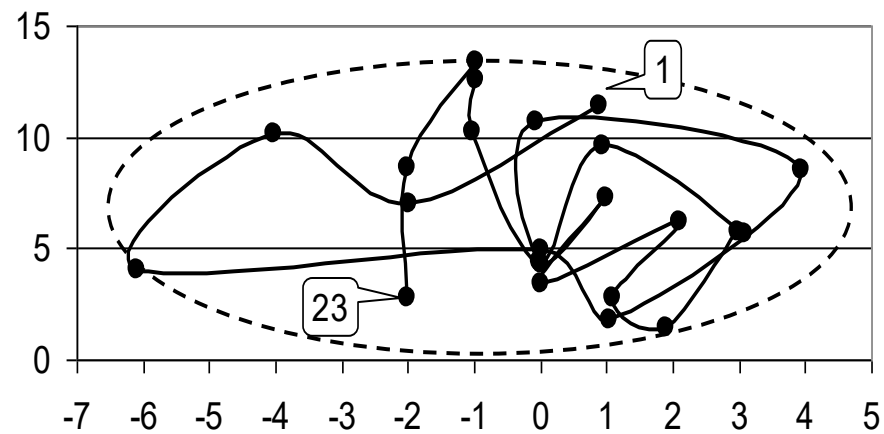
W_{\max}



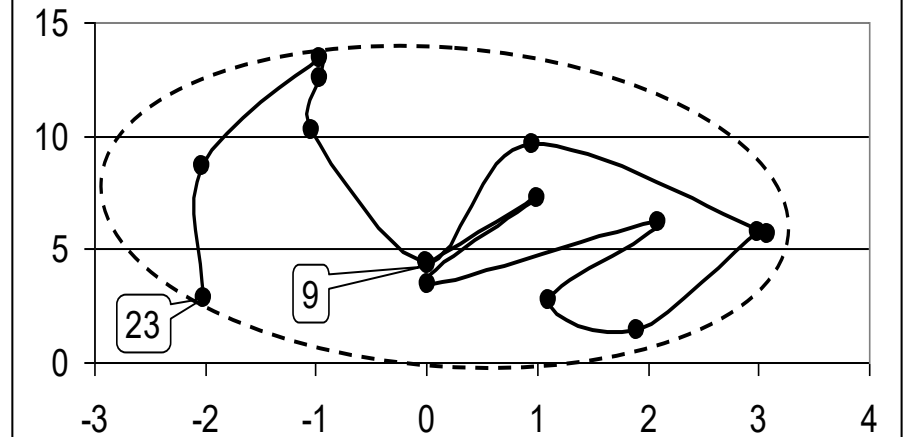
W_{\max}



$W_{2\min}$



$W_{2\min}$



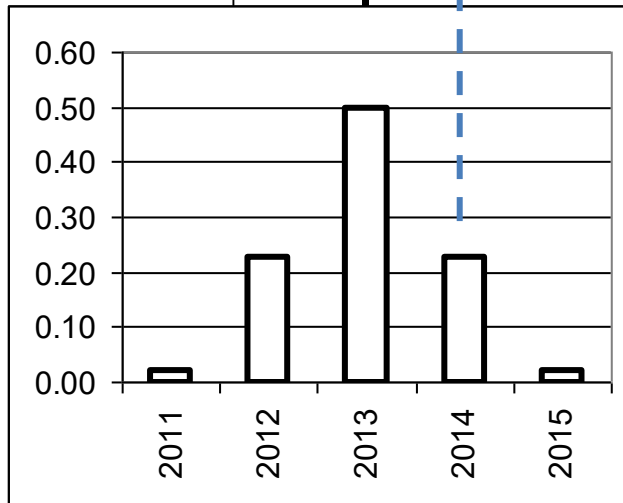
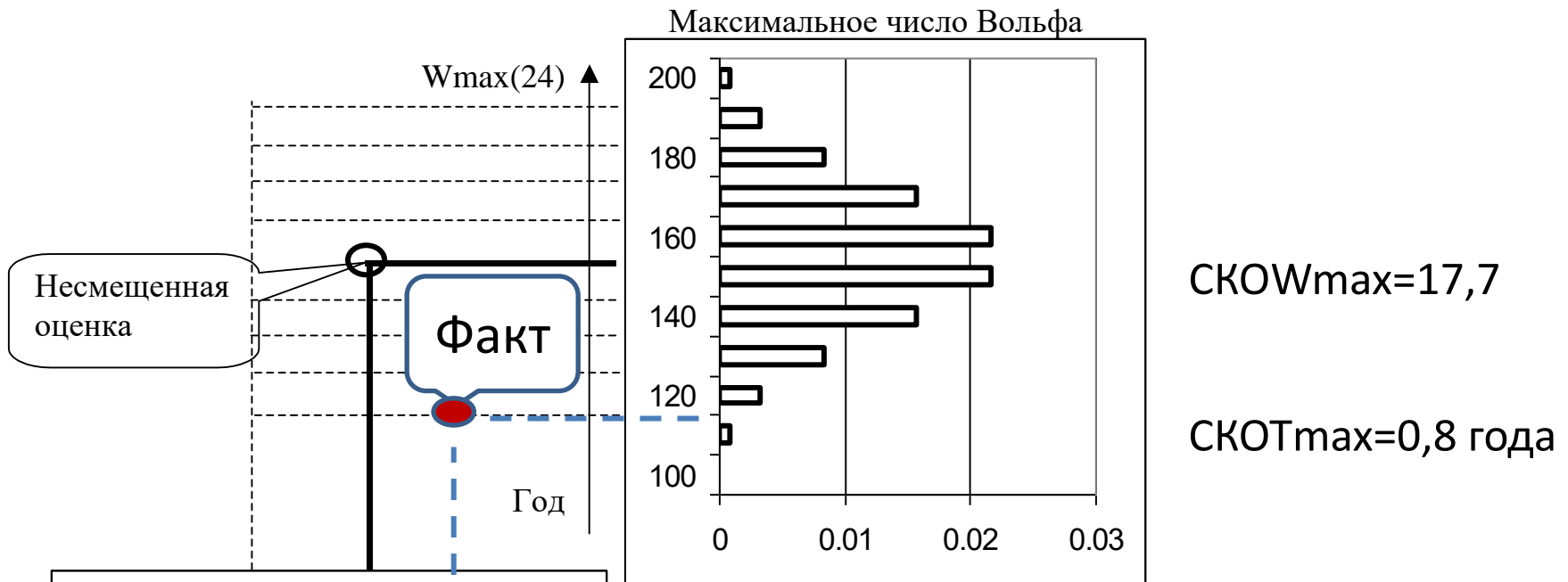
Значимость связи W_{\max} с фазой

| | r | n | Оценка СКО r | t-критерий Стьюдента | Уровень значимости, α |
|----------------------|-------|----|-----------------|-------------------------|---------------------------------|
| W_{\max} -F (1-23) | -0,57 | 23 | 0,18 | 3,19 | 0,004 |
| W_{\max} -F (9-23) | -0,72 | 15 | 0,19 | 3,72 | 0,003 |

$$W_{\max 24} = -16,2\hat{F} + 123 = 155$$

$$\sigma_{e\hat{W}_{\max}} = 17,7$$

Прогноз W_{\max} и T_{\max} по фазе



Прогноз $T_{W_{\max}}$

НАСА (2006) - 2010

Обридько В.Н.(2008) – 2010

По фазе (2008) – 2013

[Алекс Крит](#) (2012) -2013

М.Н.Храмова,

С.А.Красоткин,

Э.В.Канонович (2001)- 2012

Выводы

1. Адекватных одномерных моделей долгосрочного прогноза среднегодовых чисел Вольфа в литературе не найдено.
2. Линейные модели авторегрессии – скользящего среднего не позволяют прогнозировать. Адекватный прогноз, возможно, может быть синтезирован на основе многомерных моделей, т.е. с учетом других физических характеристик и процессов.
3. СКО прогноза года и значения максимального среднегодового числа Вольфа в начале формирования текущего цикла составляют , соответственно.