МЕТОД ИНС В ЗАДАЧЕ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Крашенинников И.В., Чумаков С.О.

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, krash@izmiran.ru

Симпозиум «ПРОГНОЗ-2023» ИЗМИРАН

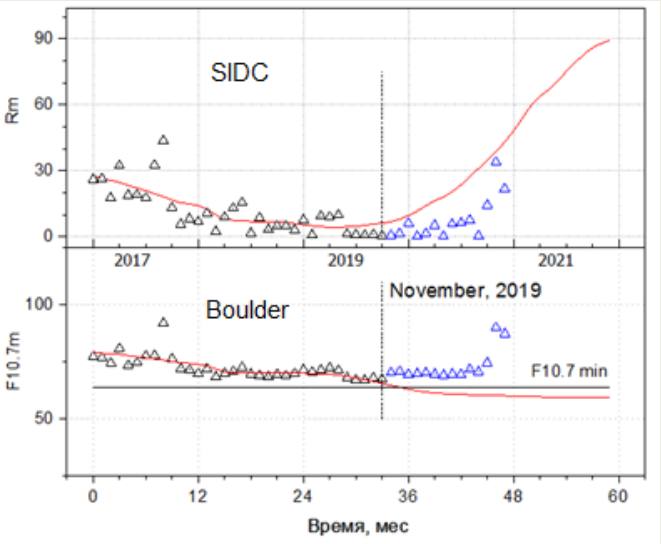
Источники данных для долгосрочного прогноза индексов СА:

Среднемесячное число солнечных пятен - Rm, Rms

http://sidc.oma.be/silso/datafiles SILSO (ранее SIDC), Brussel (обобщенный метод Вальмайера)

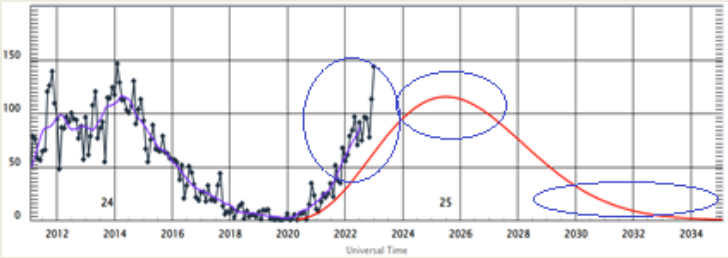
Среднемесячное значение потока солнечного радиоизлучения – F10.7m, F10.7ms

https://www.swpc.noaa.gov/products/predicted-sunspot-number-and-radio-flux SWPC, Boulder

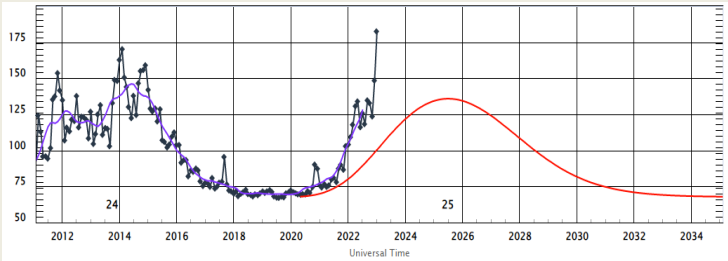


2020 г.

Rms



F10.7ms



Прогноз на 25-й цикл солнечной активности: сделан в ноябре 2019 г. (слева) и в январе 2023 г. (справа). Отличительная особенность – переход на прогнозирование базовой структуры ряда данных – адаптированного цикла индекса СА (предположительно на основе ИНС).

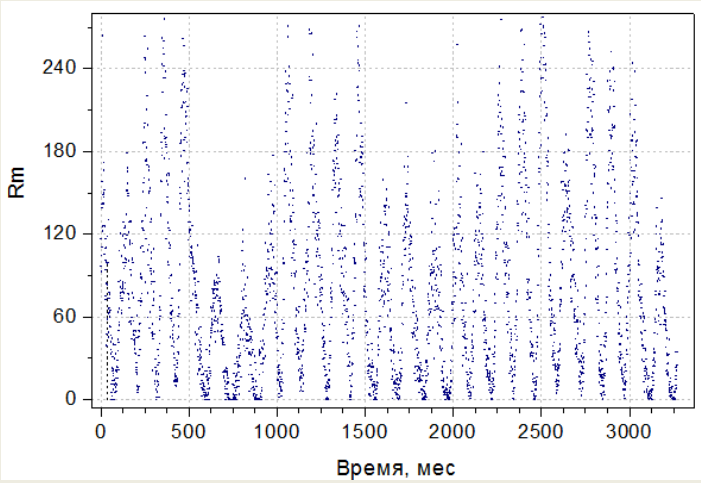
Podladchikova, T. and Van der Linden, A., A Kalman filter technique for improving medium-term predictions of the sunspot number, Sol. Phys., 2012, vol. 277, pp. 397–416.

David H. Hathaw. The Solar Cycle // Living Rev. Solar Phys., 12, (2015), 4 DOI 10.1007/lrsp-2015-4

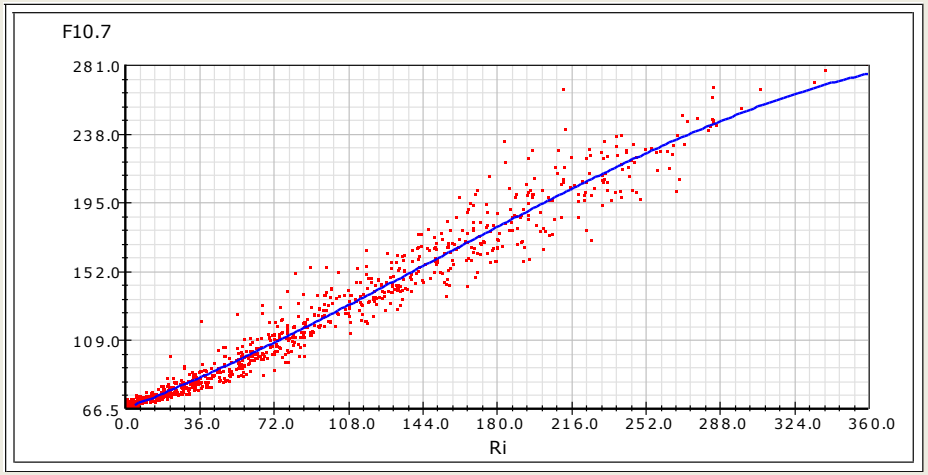
ИЗМИРАН

Статистические соотношения Rm/F10.7m: полиномиальная регрессия

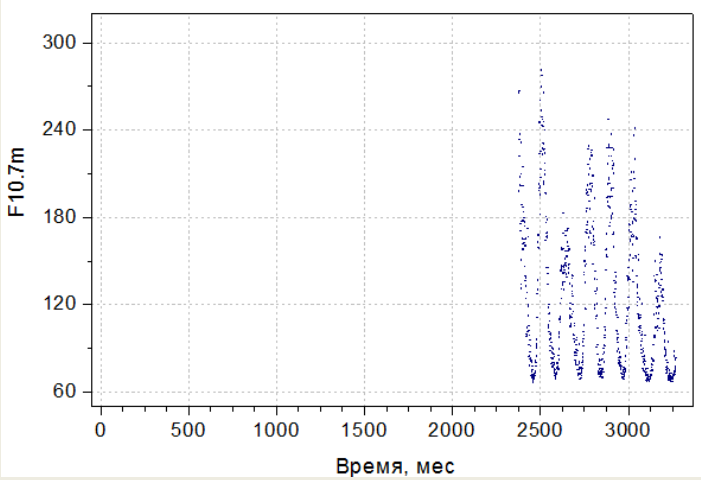
Временной ряд Rm (с 1749 г.)



Полиномиальная регрессия 3-й степени



Временной ряд F10.7m (с 1947 г.)



Среднемесячные индексы СА: Rm и F10.7m

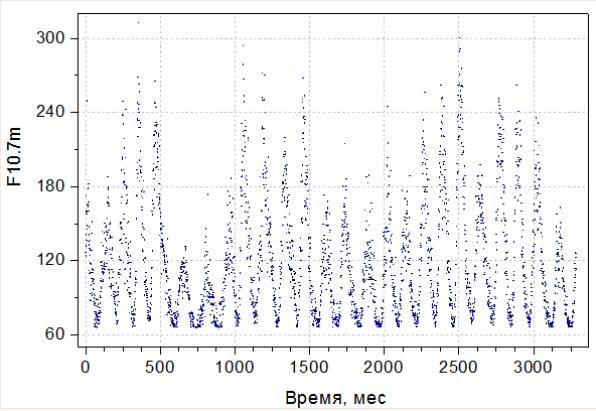
Коэффициент корреляции 0.98
в области совместного существования

Коэффициенты полинома 3-й степени (RMS)
k3 = -2.84393e-006
k2 = 0.00126887
k1 = 0.494065
k0 = 66.136 - константа

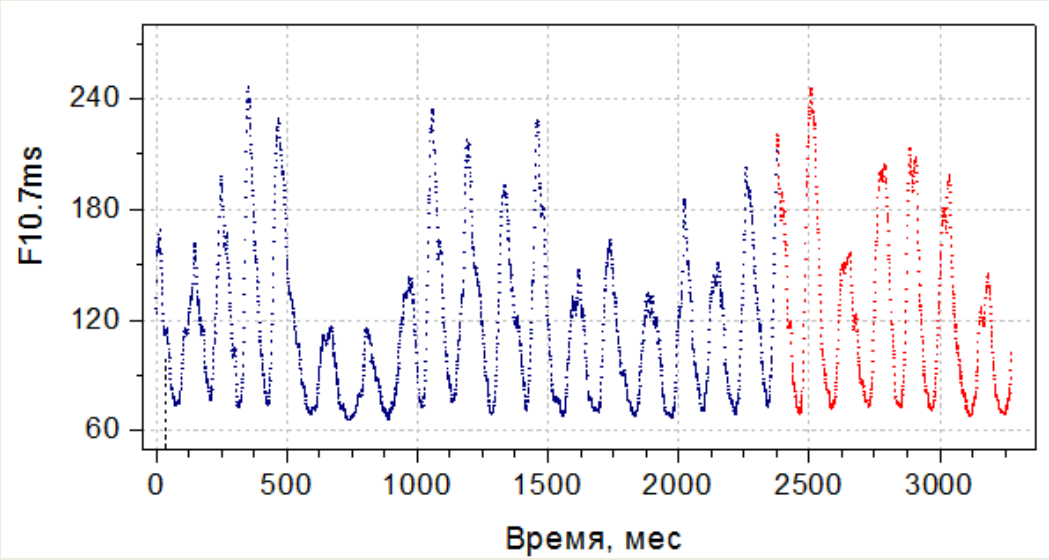
ИЗМИРАН

Временной ряда F10.7ms: комбинированное расширение

Временной ряд F10.7m* из Rm

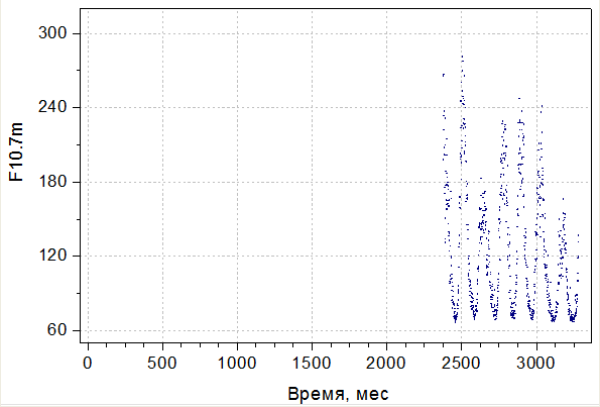


Комбинированный ряд F10.7ms (сглаженный - 13-мес.)



Временной ряд F10.7m (с 1947 г)

*Инкорпорируется в ряд F10.7m**



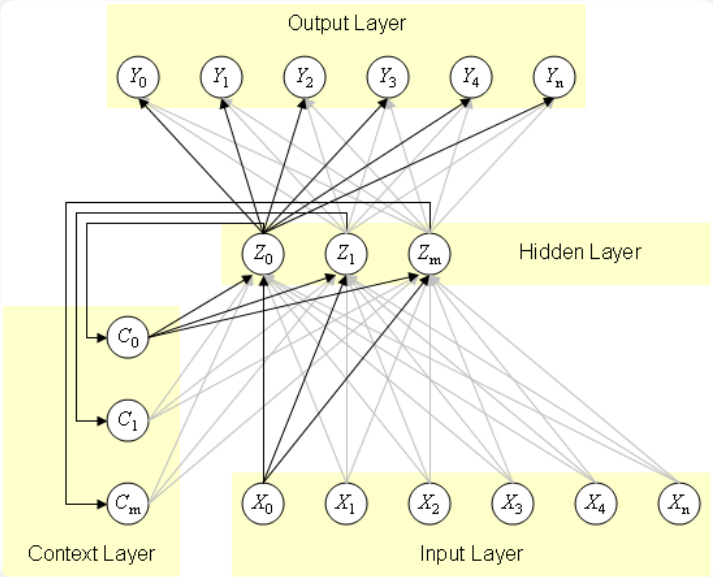
Сведение задачи по технологии построения долгосрочного прогноза к аналогии процесса с солнечными пятнами:

$$Fms(adp) = Fms - K0\ (66.136)$$

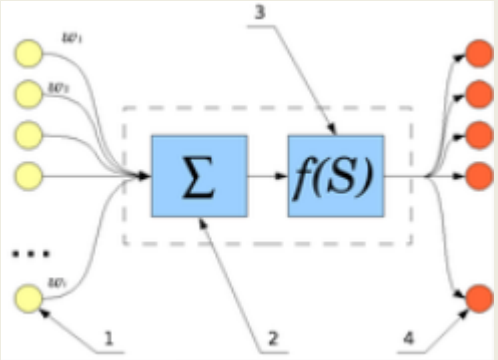
Искусственная нейронная сеть - ИНС (Элмана):

Для решения задач прогнозирования используются сети с обратной связью, в частности, сеть Элмана с контекстным слоем (обратная связь)

ИНС



Нейрон



Базис

Класс периодических функций (гиперболический тангенс)

Общие моменты работы методов прогнозирования на основе ИНС:

- подобрать топологию нейронной сети;
- нормализовать данные под выбранную нейросеть;
- экспериментально подобрать параметры ИНС;
- тестирование на модельных задачах и реальных данных с известным результатом;
- прогнозирование развития на основе предыдущих данных (временного ряда).

Elman J.L. Finding structure in time // Cogn. Sci. V. 14. P. 179—211. 1990.
https://doi.org/10.1207/s15516709cog1402_1.

ИЗМИРАН

Особенности в задаче долгосрочного прогнозирования СА :

Особенности метода прогнозирования индексов СА на основе ИНС:

- способность понимать циклический характер временного хода;
- подбор базовой (периодической) функции внутри цикла
- возможность адаптации базовой функции при наличии экспериментальных и эмпирических данных;
- устойчивость в динамическом режиме прогнозирования.

Рабочие параметры ИНС в совокупности с методом нормализации исходных данных:

- контекстный слой с обратной связью;
- число нейронов входного слоя – 6;
- число нейронов скрытого слоя - 10;
- число контекстных нейронов совпадает с числом нейронов скрытого слоя;
- рекуррентная схема процесса обучения .

Цель работы:

- создание системной реализации задачи прогнозирования солнечной активности для запитки ионосферных моделей в масштабе до 3-х лет.

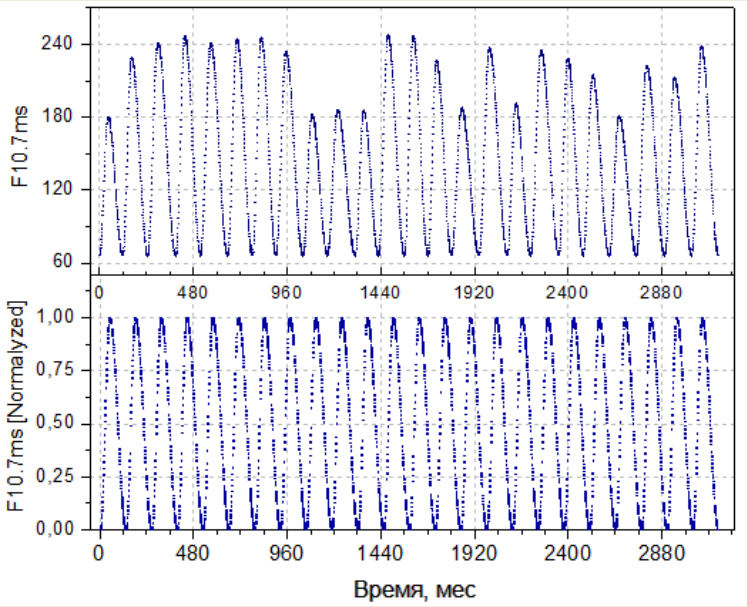
Бархатов Н. А. и др. Долгосрочное прогнозирование индексов солнечной активности методом искусственных нейронных сетей // Изв. ВУЗов. Радиофизика. Т. XLIV. № 9. Сс. 806-814. 2001.

ИЗМИРАН

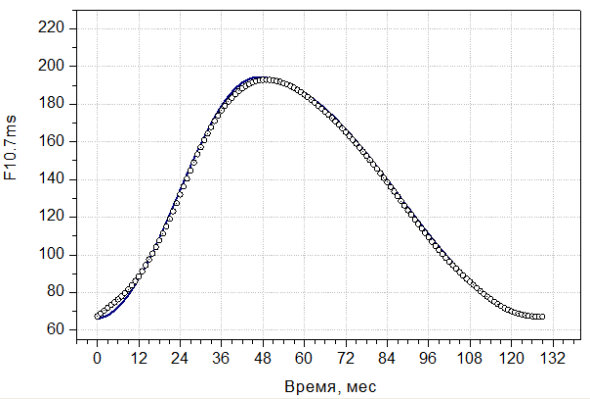
Временной ряд F10.7ms: Моделирование и данные (22-й цикл)

Синтезированный временной ряд F10.7ms – с асимметричной функцией СА внутри цикла, вариациями максимума и длительности циклов.

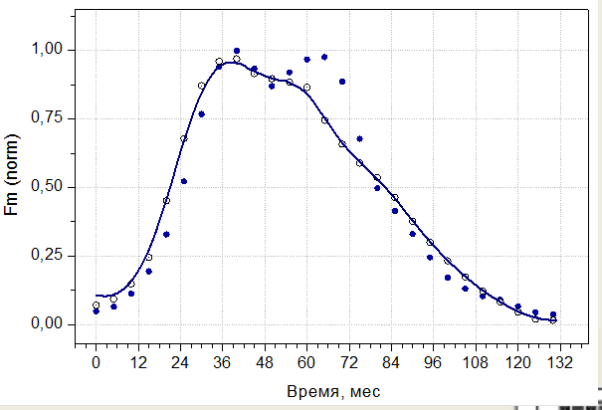
ИНС анализирует и обучается на нормализованном временном ряде F10.7 и прогноз на цикл строится в поисковой процедуре с краевыми критериями: положительная производная функции в начале и нулевая в конце цикла



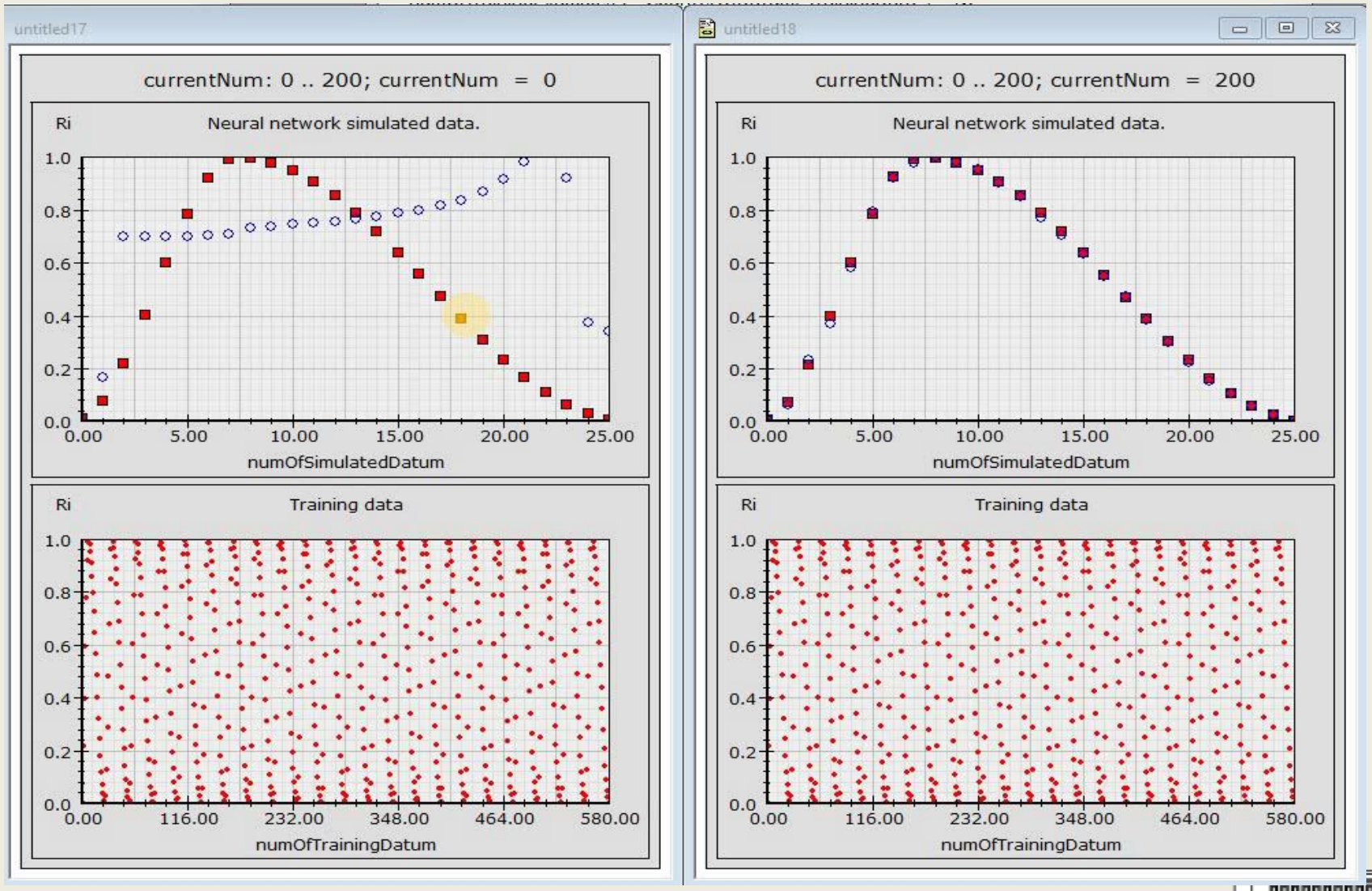
F10.7ms – модельный цикл



F10.7ms – 22-й цикл СА

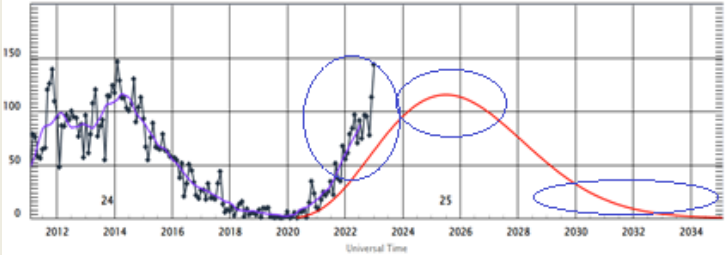


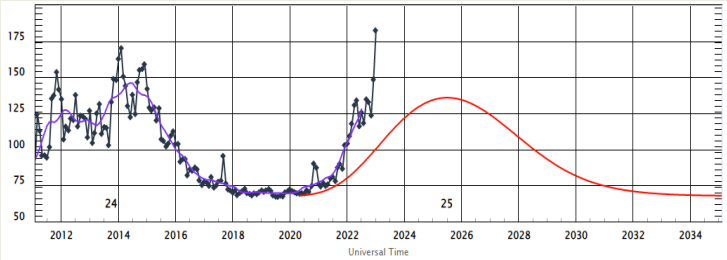
Визуализация процесса обучения ИНС Элмана в модельном примере:

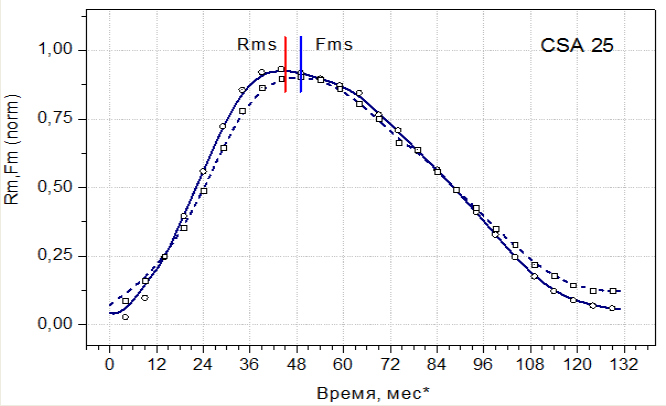


ИНС – прогнозирование и анализ (реальные данные – 25-й цикл):

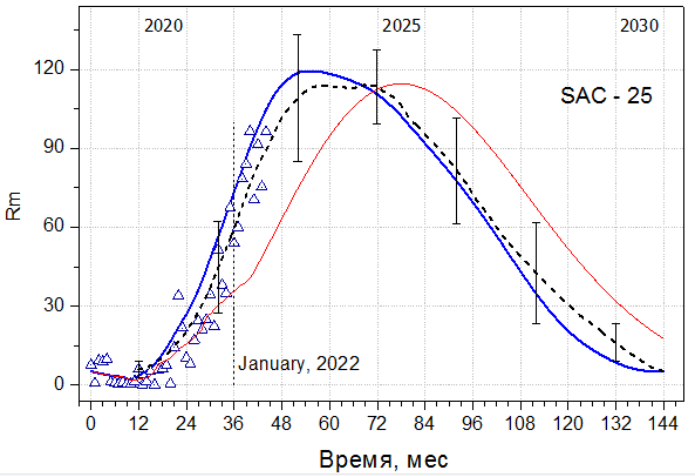
Прогнозирование на 25-й цикл СА в статическом режиме



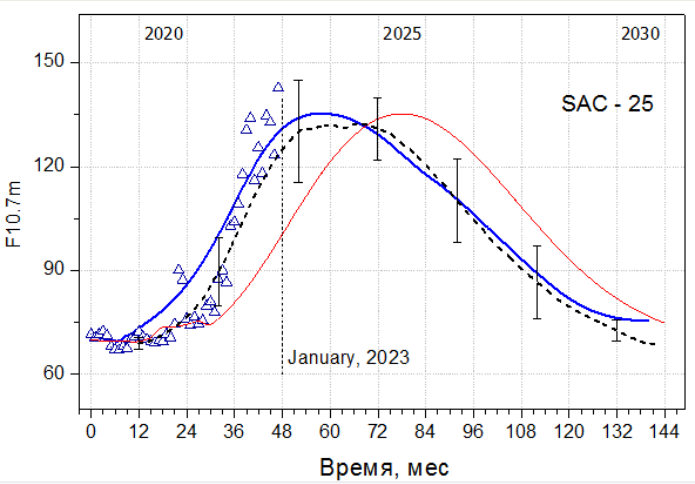




Rms



F10.7ms



Hathaway D.H. The Solar Cycle. // Living Rev. Sol. Phys. 2015. 12:4. doi: 10.1007/lrsp-2015-4

Babu Ram Tiwari and Mukul Kumar. The Solar Flux and Sunspot Number; A Long-Trend Analysis

ИЗМИРАН

Метод ИНС в долгосрочном прогнозировании : Заключение

МЕТОД ИНС В ЗАДАЧЕ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

1. Разработан метод долгосрочного прогнозирования, исходя из исторических данных наблюдений, временных зависимостей двух базовых индексов солнечной активности Rms и F10.7ms на масштабе цикла на одной основе, что позволяет избежать раскорреляции прогнозных функций внутри цикла;
2. Анализ результатов долгосрочного прогнозирования показал, что полученные функциональные зависимости Rms и F10.7ms более соответствуют как общим представлениям о динамике СА, так и, в частности, текущим данным для 25-го цикла.

Спасибо за внимание!

ИЗМИРАН