

**ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ
ДЛИТЕЛЬНЫХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ
НА ОТОБРАЖЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ
РЕГУЛЯРНЫХ И НЕРЕГУЛЯРНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ**

Жукова А.В.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

**THE EFFECT OF THE METHOD OF PROCESSING
LONG SERIES OF OBSERVATIONS
ON THE DISPLAY OF CYCLIC VARIATIONS
OF REGULAR AND IRREGULAR ACTIVE REGIONS**

Zhukova A.V.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

The catalog of magneto-morphological classes of active regions (ARs) CrAO (<https://sun.crao.ru/databases/catalog-mm-c-ars>) was used to study 2046 ARs of the solar cycle 23 and 1507 ARs of the solar cycle 24. All ARs, except for unipolar spots, were divided into regular (obeying the Hale's polarity law, the Joy's law and the rule of the leading sunspot dominance) and irregular ARs (all others). The results of using different processing methods for cyclic variations of ARs of both types are compared. We used the following methods: a 13-rotation moving average, a cubic spline-approximation for noisy data using cross-validation statistical technique to estimate the smoothing parameter, smoothing by the Gaussian function kernel, and the minimizing-variance method. All smoothing results are close to the results obtained using the traditional moving-average method. At the same time, the use of cubic spline-approximation makes it possible to achieve a smoother shape of the curves, smoothing by the Gaussian kernel makes the multi-peak structure of the cycle more pronounced, especially for irregular ARs.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-99-102

Наиболее часто для сглаживания данных длительных рядов наблюдения применяется метод скользящего среднего за 13 месяцев (<https://www.sidc.be/silso/infosnmstot#:~:text=The%2013%2Dmonth%20smoothed%20monthly,by%201%2F12%20factor>). Чтобы выяснить, насколько (и существенно ли) влияет метод обработки на отображение результата, мы применили несколько других методов сглаживания к данным USAF/NOAA Solar Region Summary (SRS) (<http://solarcyclescience.com/activerregions.html>) и к данным каталога магнито-морфологических классов активных областей (ММК АО) КрАО (<https://sun.crao.ru/databases/catalog-mm-c-ars>) за 23-й и 24-й солнечные циклы.

На рис. 1 представлены циклические вариации числа АО по данным USAF/NOAA SRS, взятым на каждый девятый день (даты соответствуют датам из каталога КрАО). На рис. 1а показаны исходные несглаженные

данные за оборот (тонкая черная линия) и те же данные, сглаженные за тринадцать оборотов при помощи метода скользящего среднего (толстая серая линия). Три другие панели позволяют сравнить результат применения этого метода с применением трех других методов (черные кривые), описанных ниже.

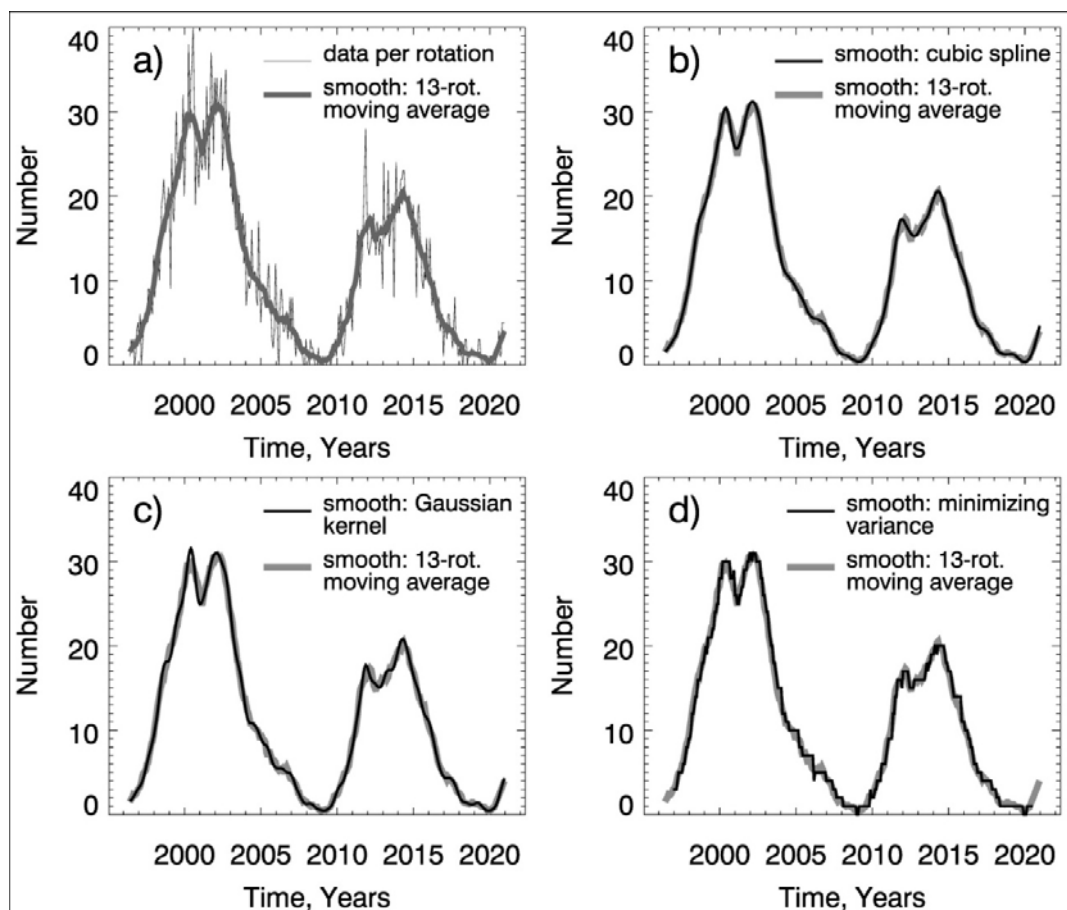


Рис. 1.

Кубическая сплайн аппроксимация для зашумленных данных с использованием статистического метода перекрестной проверки для оценки сглаживающего параметра, описанного в работе [3], была применена для сглаживания данных на рис. 1b. Обращает на себя внимание более гладкая форма представленной черной кривой. Сглаживание при помощи ядра Гауссовой функции (с параметром $\sigma = 3$) было применено на рис. 3c [4]. Пики в двух максимумах каждого из циклов для соответствующей черной кривой выражены более отчетливо.

Помимо этих стандартных методов, мы использовали также метод минимизации дисперсии. Этот метод основан на идеях М.Р. Фреше, исследовавшем свойства дисперсии [5]. В этом случае мы также использовали скользящее окно за тринадцать оборотов. Однако вместо среднего арифметического использовалось реальное значение функции (числа АО) для точки с минимальной дисперсией. Для этого в каждом из скользящих окон

нами рассчитывалась дисперсия для каждой из тринадцати точек; затем определялась та точка, для которой значение дисперсии оказывалось минимальным. Поскольку мы работали с целочисленными данными, для соответствующей черной кривой (рис. 1d) наблюдается ступенчатая форма (квантование). По форме все полученные кривые близки (рис. 1a-d).

Мы применили изучаемые методы также к данным каталога ММК АО КрАО для регулярных (рис. 2) и нерегулярных (рис. 3) АО в разных (относительно экватора) полушариях. Напомним, что регулярные АО – это биполярные группы, подчиняющиеся закону полярностей Хейла, закону Джоя, правилу о доминировании лидирующего пятна; нерегулярные – все остальные АО (кроме одиночных пятен).

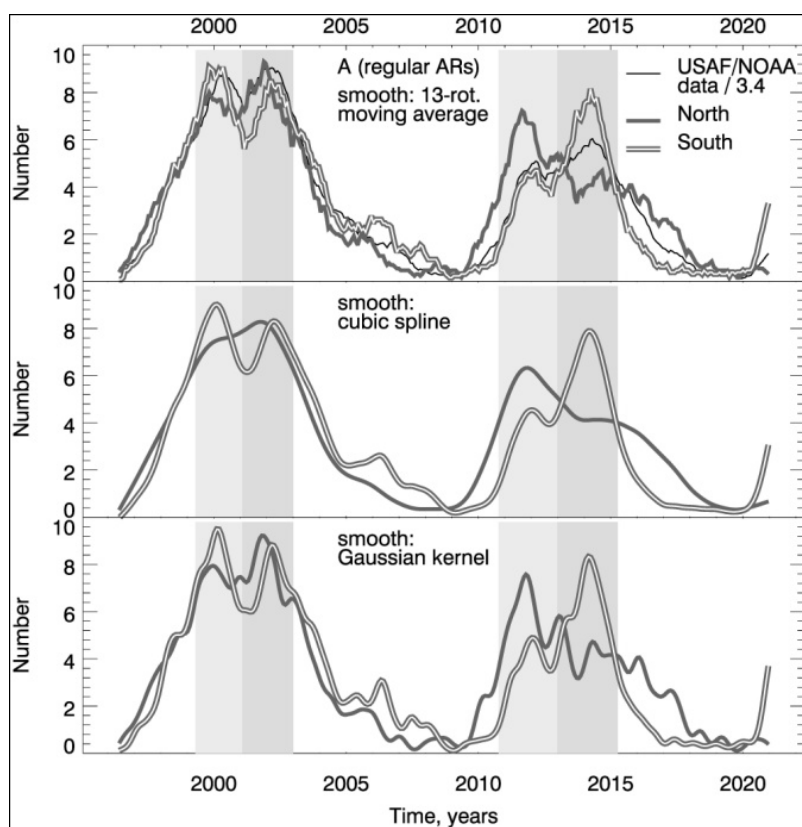


Рис. 2.

Метод скользящего среднего за тринадцать оборотов применялся нами ранее [6]; графики из этой работы воспроизведены на верхних панелях рис. 2, 3. Группы в северном полушарии представлены сплошной серой линией, в южном – двойной линией. Ход цикла проиллюстрирован тонкой черной линией. Два основных максимума цикла отмечены бледно-серой и серой заливкой. Кривые на средних панелях получены с помощью сглаживания методом кубической сплайн аппроксимации, на нижних панелях – с помощью ядра Гауссовой функции. Кривые на средних панелях имеют наиболее гладкую форму, кривые на нижних панелях имеют более отчетливо выраженные пики на разных фазах цикла.

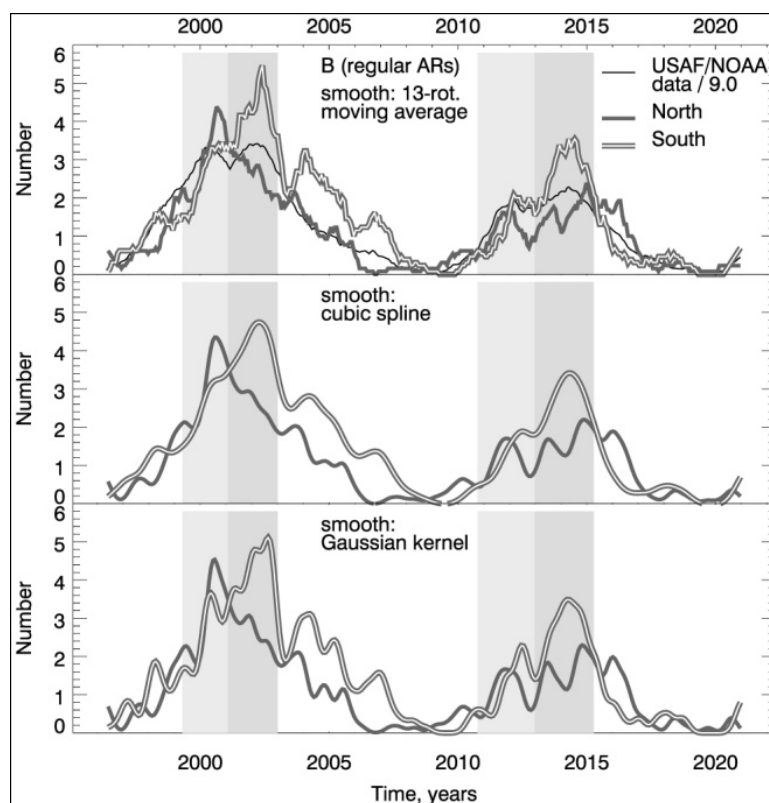


Рис. 3.

На основании исследования можно сделать следующие выводы.

1. Все методы сглаживания имеют основания для использования.
2. Результаты, полученные стандартными методами, близки к результату, полученному методом минимизации дисперсии, который может рассматриваться как наиболее корректный математически.
3. Особенности методов: кубическая сплайн аппроксимация позволяет получить кривые наиболее гладкой формы; сглаживание ядром Гауссовой функции позволяет выделить не только два основных максимума, но и проследить многопиковую структуру цикла.

Автор благодарит соавторов по работе [6] за ценные советы, а также Н.Г. Макаренко, обратившего наше внимание на идеи М.Р. Фреше.

Исследования выполнены при поддержке РНФ (проект 18-12-00131).

Литература

1. Hale, G.E., Ellerman, F., Nicholson, S.B., Joy, A.H. // *Astrophys. J.*, 1919, 49, 153.
2. Van Driel-Gesztelyi L., Green L.M. // *Liv. Rev. Solar Phys.*, 2015, 12, 1.
3. Craven P., Wahba G. // *Numer. Math.*, 1979, 31, 371.
4. Дженкинс Г., Ватмс Д. Спектральный анализ и его приложения. – Изд. «Мир», Москва, 1971, 317 с.
5. Frèchet, M., 1948, *Annales de l'institut Henri Poincaré*, 10(4), p. 215.
6. Zhukova A.V., Sokoloff, D.D., Abramenko, V.I., Khlystova, A.I. // *Adv. Space Res.*, 2022, (online publ. 13.09. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.09.013>).