

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОДИННАДЦАТИЛЕТНЕГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ИСТОРИЧЕСКИХ ХРОНИК ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДВА ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

Иванов В.Г., Иванова К.Г., Наговицын Ю.А.

*Главная астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия,
ivanovv@gao.spb.ru*

DURATION OF 11-YEAR CYCLE OF SOLAR ACTIVITY BY DATA OF HISTORICAL CHRONICLES OVER THE LAST TWO MILLENNIA

Ivanov V.G., Ivanova K.G., Nagovitsyn Yu.A.

Central astronomical observatory of RAS, Saint-Petersburg, Russia, ivanovv@gao.spb.ru

Abstract

The data of ancient manuscripts on the naked-eye sunspot observations and the middle- and low-latitude observations of aurorae are used for reconstruction, by means of method based on wavelet analysis, of the 11-year cycle length variations over the last two millennia. The obtained variations are compared with the corresponding data following from the Schöve catalogue of the sunspot activity extrema.

Один из методов реконструкции активности Солнца в прошлом основан на анализе упоминаний в исторических хрониках событий, характеризующих уровень этой активности. К таким событиям относятся, прежде всего, наблюдения видимых невооруженным глазом солнечных пятен. Другой исторический источник данных об активности Солнца — наблюдения средне- и низкоширотных полярных сияний.

В пятидесятых годах прошлого века Шоув, в рамках проекта "Spectrum of Time", используя данные исторических хроник о солнечных пятнах, видимых невооруженным глазом, и средне- и низкоширотных полярных сияниях, вычислил годы экстремумов 11-летнего цикла и качественно оценил их амплитуды за период времени с 648-го года до н.э. [1,2]. После того, как Шоувом была выполнена эта работа, ряды исторических наблюдений были существенно дополнены. Кроме того, появились новые математические методы, позволяющие работать с зашумленными и неоднородными рядами. Целесообразным представляется проверить выводы Шоува с помощью современных методов и на расширенном материале.

В настоящей работе мы используем следующие данные:

- Каталог солнечных пятен, видимых невооруженным глазом, Виттмана-Сю (WX, 341 событие, 165 г. до н.э.–1918 г. н.э.) [3];

- Каталог наблюдений низкоширотных полярных сияний Сильвермана (AUS, 1256 событий, 687 г. до н.э.–1495 г.н.э.) [4];
- Каталог наблюдений низкоширотных полярных сияний Кривского (AUK, 6291 событие, 1000–1900 г.г.н.э.) [5].

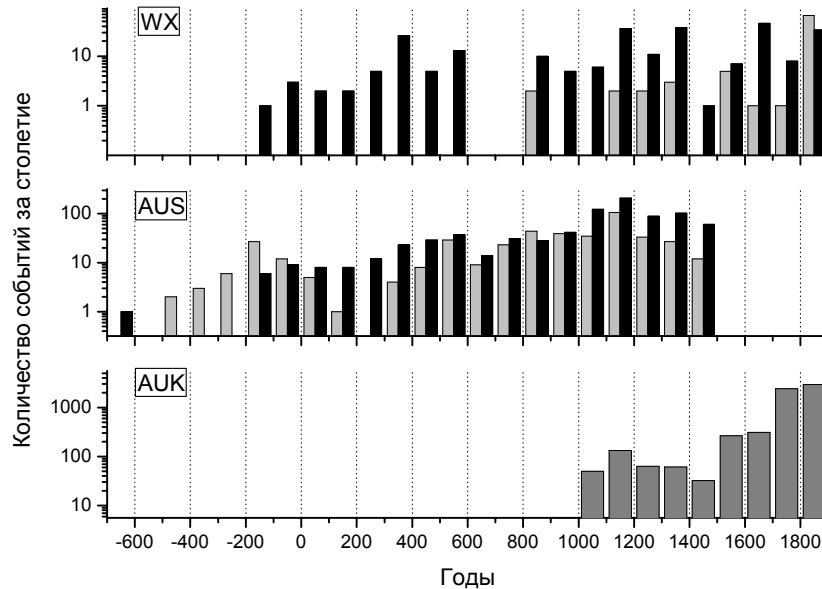


Рис. 1

На рис.1 изображено (в логарифмическом масштабе) количество событий за столетие для каждого из трех каталогов (светлые прямоугольники для каталогов WX и AUS соответствуют данным из европейских источников, темные — из китайских и дальневосточных). Ниже мы используем для обработки ряды ежегодных количеств наблюдений пятен (WX) и полярных сияний (AU), причем последний получен объединением каталогов AUS и AUK.

Рис.2 показывает (в условных масштабах по осям ординат) ряды WX (толстые линии) и AU (тонкие линии), на которые наложены моменты максимумов солнечной активности из каталога Шоува (серые кружки).

При поиске экстремумов Шоув руководствовался следующими гипотезами: (Ш1) время между последовательными максимумами солнечной активности составляет не менее 8 и не более 16 лет; (Ш2) эти максимумы тяготеют к максимумам наблюдений солнечных пятен и низкоширотных полярных сияний; (Ш3) на столетие приходится ровно 9 максимумов солнечной активности. Выполнение предположения (Ш2) иллюстрируется на рис.3, где приведено распределение количества наблюдений относительно максимумов чисел Вольфа после 1700-го года. Отметим также, что гипотеза (Ш3) приводит к появлению в реконструированном сигнале долговременной синхронизации фазы 11-летнего цикла, существование которой в реальном процессе, вообще говоря, не доказано.

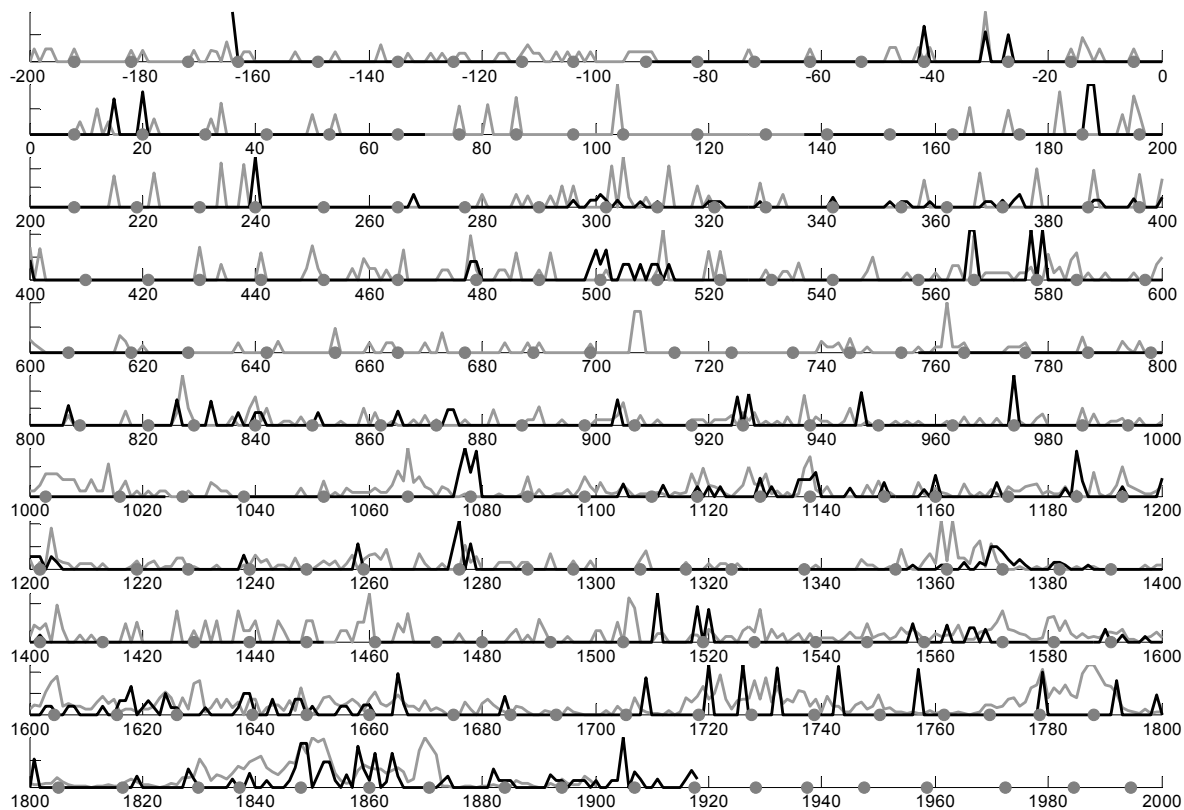


Рис. 2

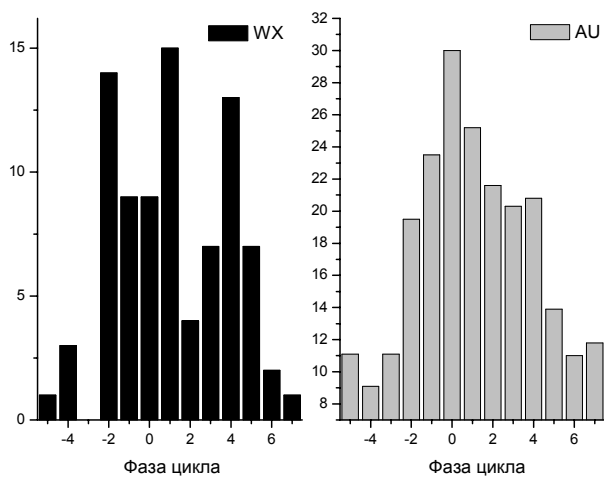


Рис. 3

Метод, который мы предлагаем для проверки выводов Шоува, состоит в оценке средней характерной длины 11-летнего цикла и

сравнении его с соответствующей величиной, полученной из каталога Шоува. Он состоит из следующих этапов:

1. Исходный погодовой ряд данных $x_i^{(0)}$, соответствующих годам t_i ($i=1, \dots, N$), приводится к однородному масштабу делением на бегущее значение его дисперсии в окне шириной 100 лет.

2. Вычисляется непрерывный вейвлет-спектр мощности нормированного ряда $P(t_i, T)$, где T — период.

3. Строится "скелетон" вейвлет-спектра и "ряд факторов заполнения". Для этого выбирается некоторый диапазон периодов ΔT и для каждого года t_i ищется максимум мощности спектра $P(t_i, T)$ в этом диапазоне. Если этот максимум соответствует значению $T_i^{(max)}$, лежащему внутри диапазона, то к скелетону добавляется точка $(t_i, T_i^{(max)})$, а к фактору заполнения — точка $(t_i, 1)$. В противном случае к фактору заполнения добавляется точка $(t_i, 0)$, а к скелетону не добавляется ничего.

4. Лакуны в скелетоне линейно интерполируются, а затем полученные таким образом ежегодные ряды характерных длин цикла T_i и факторов заполнения f_i сглаживаются по времени с гауссовыми весами и $\sigma=22$ года. При этом сглаженный фактор заполнения соответствует представительности полученного значения периода, т.е. близок к единице в эпохи высокой достоверности полученной характерной длины цикла и к нулю — в случае низкой.

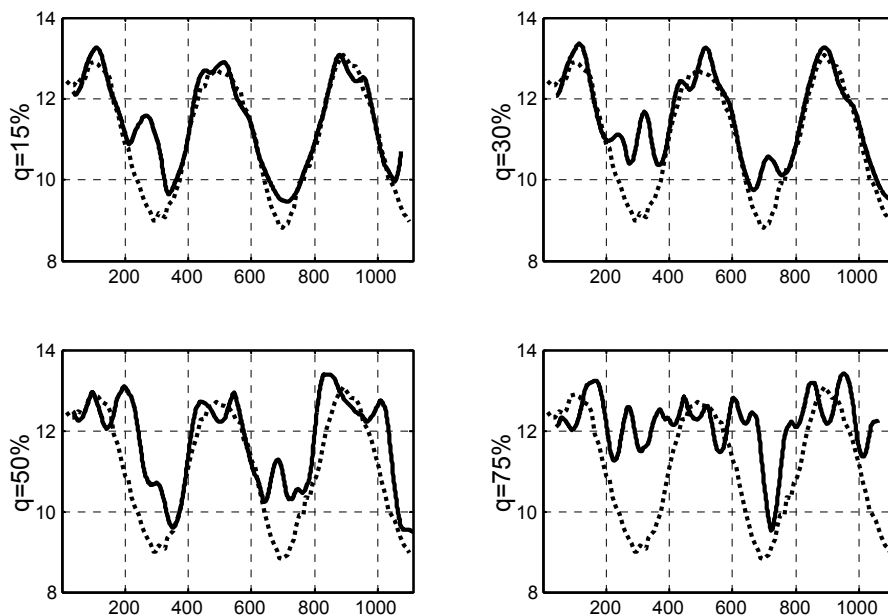


Рис. 4

Описанный метод был проверен на искусственных рядах. Для этого был построен сигнал с периодом 11 лет, модулированным по частоте периодом 200 лет. Из "идеального" ежегодного ряда наблюдений этого сигнала (число наблюдений в максимуме 11-летнего цикла равно 1, а в

другие фазы цикла равно 0) случайным образом исключалась часть наблюдений равная q , оставшиеся же случайно сдвигались на ± 2 года. Результаты применения описанного метода к модельным рядам при разных значениях q изображены на рис.4. Видно, что даже после потери 50% точек поведение восстановленного периода (непрерывная кривая) достаточно хорошо воспроизводит поведение периода исходного ряда (пунктир). Заметно также, что при больших искажениях сигнала метод имеет тенденцию завышать значение периода.

На верхнем графике рис.5 изображены полученные данным методом характерные длины 11-летнего цикла для рядов WX (T_{WX} , сплошная кривая) и AU (T_{AU} , пунктир). Видно, что существуют как эпохи согласованного поведения этих двух периодов, так и эпохи их полного рассогласования. Построим теперь сводный ряд вариаций длины цикла T_{WXAU} , полученный усреднением кривых для двух отдельных рядов с весами, равными их "факторам заполнения".

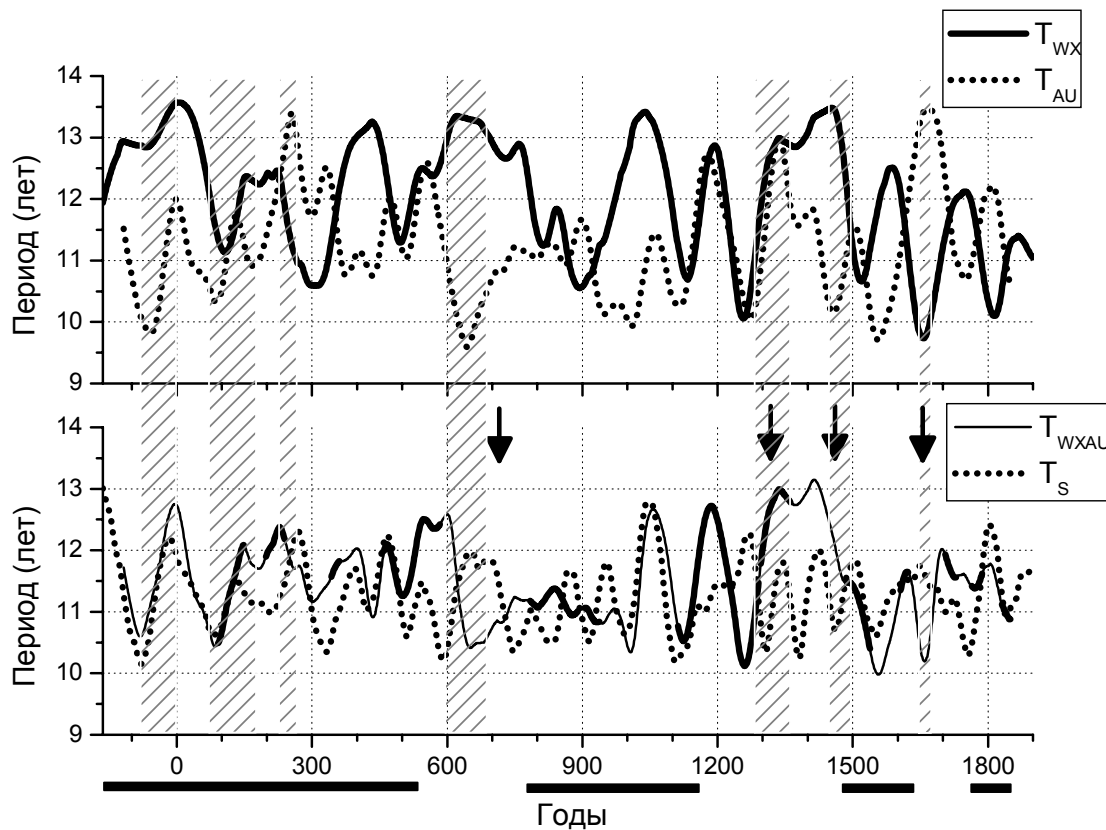


Рис. 5

Этот сводный ряд T_{WXAU} изображен на нижнем графике рис.5 (сплошная кривая). При этом линией большей толщины выделены участки согласованного поведения рядов T_{WX} и T_{AU} , для которых $|T_{WX} - T_{AU}| \leq 1$, а штриховой заливкой отмечены эпохи низкой достоверности периода, когда

средний для двух рядов фактор заполнения меньше 0.3. На том же рисунке приведены аналогичным образом сглаженные длины 11-летнего цикла, полученные из каталога Шоува (T_S , пунктир). Можно видеть, что в эпохи, помеченные черной горизонтальной линией под осью времени, наблюдается довольно согласованное поведение T_{WXAU} и T_S . В эти эпохи реконструированный нами период либо близок к значениям, полученным по каталогу Шоува (до II века, в V и XI веках), либо, по меньшей мере, воспроизводит особенности поведения T_S с небольшим сдвигом в сторону больших периодов. Эпохи рассогласования между поведением периодов T_{WXAU} и T_S (примерно 500-800, 1150-1450 и 1650-1750 г.г.) тяготеют к эпохам глобальных минимумов солнечной активности (центры которых отмечены на рисунке черными вертикальными стрелками), причем в эти эпохи, как правило, мал и фактор заполнения. Заметим, что в эпохи малого количества исторических данных моменты максимумов цикла в каталоге Шоува интерполировались в предположении о наличии стабильного периода вблизи 11.1 лет (гипотеза ШЗ). Как видно на рис.5, наш метод, не использующий подобного предположения, указывает в эти эпохи на вариации длины цикла с большей амплитудой.

Таким образом, характерные продолжительности 11-летних солнечных циклов, полученные по историческим данным при помощи вышеописанного метода и приведенные в каталоге Шоува, в целом согласуются между собой в эпохи среднего и высокого уровня глобальной солнечной активности. В эпохи глобальных минимумов активности эти два подхода дают разные результаты, что, вероятно, связано с фрагментарностью исторических данных и говорит о невысокой надежности реконструкций в эту эпоху.

Данная работа поддержана грантами INTAS 00-752 и 01-550, программами Президиума РАН "Нестационарные явления в астрономии" и Минпромнауки "Астрономия" N 1105.

- [1] D.J. Schove, Jour. Geophys. Research, v.60, 127 (1955).
- [2] D.J. Schove, J. Brit. Astr. Ass., v.72, 30 (1962).
- [3] A.D. Wittmann, Z.T. Xu, Astron. Astrophys. Suppl. v.70, 83 (1987);
ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/ANCIENT_DATA/Early_Reports
- [4] S. Silverman, ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/miscellaneous/aurora/cat_ancient_auroral_obs_666bce_1951/
- [5] L. Krivsky, and K. Pejmi, Publ. Astron. Inst. Czechoslovakia., N.75, (1988);
ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/AURORAE/aurorae.dat