

А.П. Крамынин, А.В. Мордвинов¹

О ВЕКОВЫХ ЦИКЛАХ В РЕКОНСТРУИРОВАННЫХ РЯДАХ ЧИСЕЛ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

По реконструированному ряду числа солнечных пятен исследованы характеристики вековых циклов. Установлено, что продолжительность наблюдаемых циклов варьирует в широких пределах – от 50 до 160 лет. При этом выделяются предпочтительные значения продолжительности циклов порядка 60, 90 и, возможно, 120 и 150 лет. Продолжительность ветвей роста и ветвей спада этих циклов несколько различна. Крутизна ветвей, измеряемая тангенсом угла наклона касательной к соответствующей ветви, имеет более вероятные значения $\pm 0,5$ ед. числа пятен в десятилетие, изменяется в пределах от 0 до 2,5 для ветвей роста, от 0 до $-2,5$ для ветви спада и зависит, по-видимому, от уровня солнечной активности.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время прямые наблюдения Солнца насчитывают чуть больше 400 лет. Это позволило достаточно хорошо изучить характеристики 11-летних циклов и установить, что в изменениях высоты 11-летних циклов присутствуют долговременные циклы, получившие название вековых. Впервые на наличие многолетнего цикла продолжительностью 66–83 года обратил внимание Вольф, располагавший данными о солнечной активности примерно за два вековых цикла, поэтому он и считается его первооткрывателем. Результаты ранних исследований вековых циклов изложены в монографии Б.М. Рубашева [3]. Используя данные о солнечно обусловленных явлениях (полярные сияния), Глейсберг получил данные о продолжительности 17 вековых циклов, которая изменялась в пределах от 7 до 11 одиннадцатилетних циклов. С использованием более информативного

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск.

индекса Шове (сконструирован также по полярным сияниям) было установлено, что продолжительность слабовыраженных вековых циклов доходит до 70 лет, а хорошо выраженных – составляет более 100 лет, то есть наблюдается зависимость продолжительности от мощности векового цикла. Средняя продолжительность вековых циклов по оценкам разных авторов колеблется от 79 до 93 лет. Более поздние исследования, посвященные этому вопросу, приведены в работах [2, 7, 8], где представлены данные об изменениях продолжительности долговременных циклов солнечной активности, выявленных по различным солнечно обусловленным явлениям, которые показывают, что интересующие нас долговременные циклы по продолжительности концентрируются в районах 60, 90, 130, а возможно, и более лет. В монографии В.Ф. Чистякова [4] утверждается, что наблюдается цепочка двух видов вековых циклов типа 95–115–95–115 лет и так далее, которая была прослежена автором на протяжении последних 1600 лет. Причем 95-летние циклы имеют крутую ветвь подъема и отлогую ветвь спада, а 115-летние наоборот. Из анализа результатов [4] следует, что текущий вековой цикл имеет продолжительность 115 лет и его минимум наступит в 2020 г. Текущий 115-летний и последующий за ним 95-летний циклы сомкнутся крутыми ветвями, поэтому в минимуме этих вековых циклов будет наблюдаться два относительно слабых 11-летних цикла. Первый из которых мы сейчас, по-видимому, и наблюдаем.

В последнее время для изучения долговременных изменений солнечной активности широко используются реконструкции чисел солнечных пятен $S_n(t)$, рассчитанные по данным о содержании космогенных изотопов ^{14}C и ^{10}Be в природных архивах Земли. Наиболее длинная из них предложена в [9]: ряд реконструирован по данным о содержании ^{14}C , усреднен по 10 годам и охватывает 11 400 лет. Анализу реконструированной из этого ряда последовательности значений чисел солнечных пятен $S_n(t)$ посвящено много работ (см., например, [6] и библиографию в ней), в которых спектральными и другими методами выявлено наличие целого ряда мод, определяющих изменения солнечной активности с временными масштабами от 60 до 6000 лет. В интересующем нас спектральном диапазоне наиболее выдаю-

щие пики соответствуют квазипериодичностям 60, 90, 105, 125 лет. В работах А.П. Крамынина и А.В. Мордвинова [1, 5] методом комплексной демодуляции и методом разложения по естественным ортогональным функциям ряда $S_n(t)$ было показано, что долговременные периодичности начиная с 200-летних и более модулируют амплитуду вековых циклов, предпочтительная продолжительность и форма которых, вероятно, может быть двух видов. При использовании ряда $S_n(t)$ следует учитывать, что частота дискретизации ряда $f_d = 0,1 \text{ год}^{-1}$, что близко к частоте 11-летнего цикла f_{11} . Это приведет к искажению истинного спектра, связанного с наложением спектров, то есть в ряду $S_n(t)$ появится ложный сигнал с частотой, равной разности $(f_d - f_{11})$. Принимая среднюю продолжительность 11-летнего цикла 11,1 года, получим период ложной гармоника 101 год. Представляет интерес исследовать динамику и форму вековых циклов другими методами и установить в них роль выявленных мод в 60, 90, 105, 125 и несколько больше лет, сравнить полученную информацию об этих модах с информацией о них, выявленной по другим рядам.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Использование для исследования последовательности $S_n(t)$ совместно с рядом ее производной позволяет построить фазовый портрет системы, представленный на рис. 1.

Его анализ показывает, что вековые циклические колебания накладываются на длинноволновой тренд – аддитивную составляющую ряда $S_n(t)$. В тоже время мы видим, что диаметр витков, описывающих вековые циклы, несколько растет с увеличением уровня солнечной активности: имеет место мультипликативная составляющая $S_n(t)$. Последнее говорит о том, что амплитуда вековых циклов зависит от уровня активности.

Значение производной ряда по времени определяет крутизну ветвей цикла. Ее распределение и аппроксимация гауссовской моделью приведены на рис. 2. Анализ рис. 2 показывает, что крутизна ветвей, измеряемая тангенсом угла наклона касательной к данной точки ветви, имеет наиболее вероятные значения $\pm 0,5$ ед. числа пятен

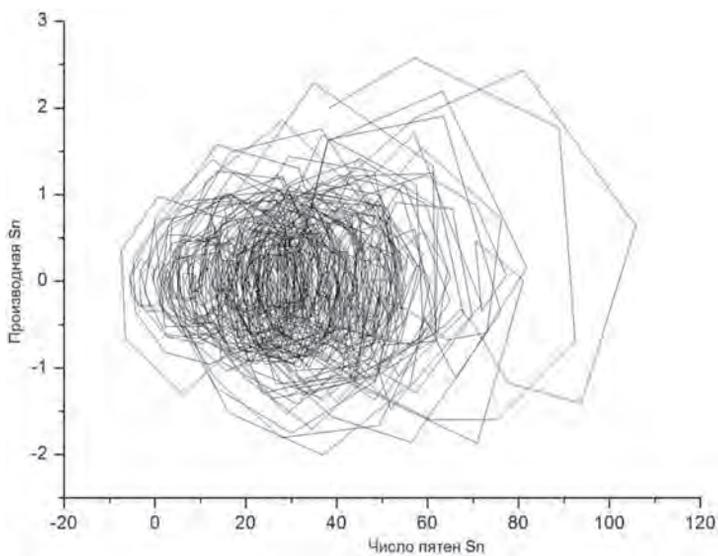


Рис. 1. Фазовый портрет системы, воспроизводящей число солнечных пятен $S_n(t)$

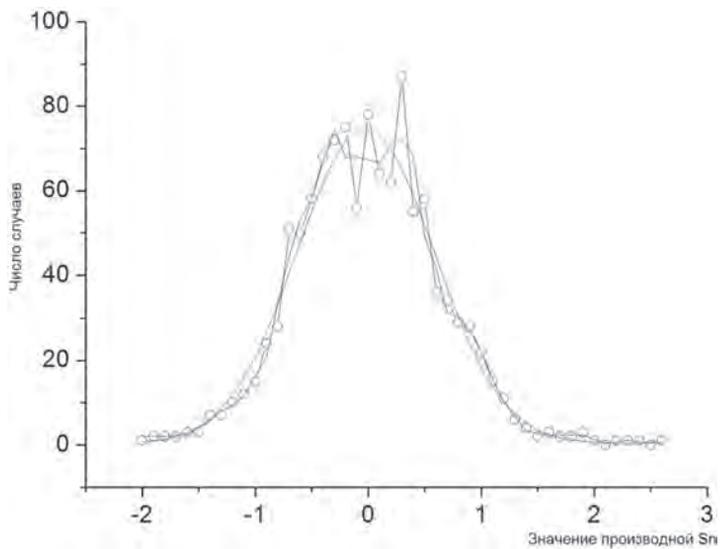


Рис. 2. Распределение значений производной (кружки), гладкая кривая – ее аппроксимация моделью Гаусса, ломаная кривая – распределение сглажено скользящей средней по трем членам

в десятилетие для ветвей роста и спада соответственно, изменяется в пределах от 0 до 2,5 для ветви роста и от 0 до -2 для ветви спада и зависит, по-видимому, от уровня солнечной активности.

Всякий раз, когда значение $S_n(t)$ будет проходить через локальный минимум или максимум, производная $S_n(t)$ будет менять знак, положительное значение производной будет соответствовать ветви роста, а отрицательное – ветви спада. Так как дифференцирование $S_n(t)$ аналогично применению к ряду $S_n(t)$ высокочастотного фильтра, то полученный в результате этой операции ряд будет характеризовать продолжительность коротких циклов, в частности вековых. Поэтому, определяя протяженности отрезков с положительной и отрицательной производной и их сумму, мы получим продолжительности ветви роста, ветви спада и всего цикла в целом. Распределение этих характеристик, представленное на рис. 3, 4, позволяет определить их наиболее вероятные значения.

Анализ рис. 3 показывает, что наиболее часто встречаемый цикл имеет продолжительность 55–60 лет (пик кривой распределения),

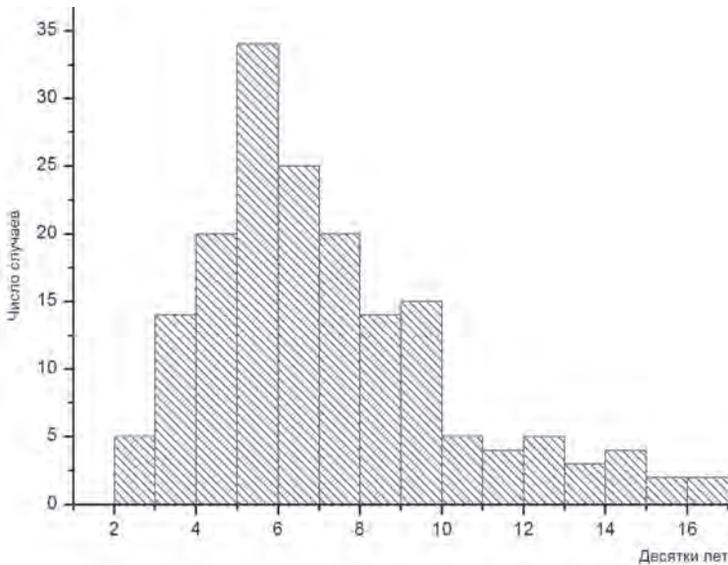


Рис. 3. Распределение продолжительности вековых циклов

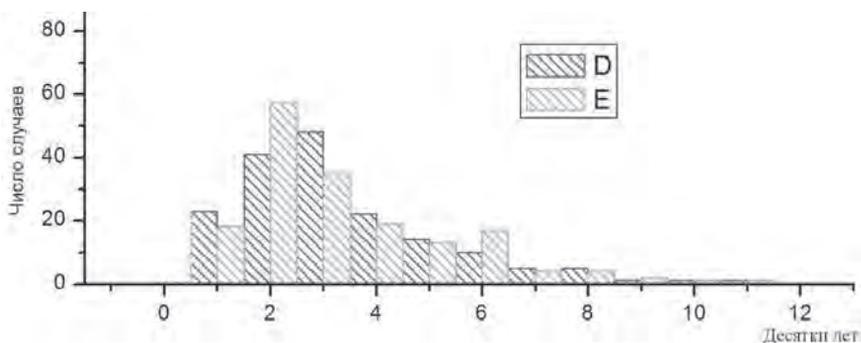


Рис. 4. Распределение продолжительности ветвей роста (E) и спада (D) вековых циклов

далее – 90 (плато на распределении), существуют также небольшие пики протяженностью 120 и 145 лет. Все эти значения квазипериодичностей встречаются и в спектре ряда $S_n(t)$, и на диаграмме в статье [7], что подтверждает достоверность выводов, полученных из анализа распределений. Периоды продолжительностью 105–120 и 50–60 лет наблюдаются и в спектре, рассчитанном по ряду среднегодовых чисел Вольфа. Период продолжительностью 50–60 лет может быть второй гармоникой векового цикла, отражая его особенности, например наличие двух вершин или асимметрию ветвей. Распределение на рис. 4 показывает небольшую асимметрию ветвей в цикле 55–60 лет. Наиболее вероятная продолжительность ветви роста – 20 лет, а ветви спада – 30. Также, возможно, наблюдается небольшая асимметрия ветвей для цикла 120 лет.

Рассмотрим вид спектра, который получится, если мы будем иметь цепочки двух типов вековых циклов длительностью 95–115 лет [4]. В этом случае в спектре будут наблюдаться следующие пики: наиболее высокий будет соответствовать среднему периоду $(95 + 115)/2 = 105$, следующий по мощности – периоду $95 + 115 = 210$ лет. Все эти периодичности наблюдаются в вариациях солнечной активности. В этом случае 210-летний цикл с большим провалом посередине можно считать основным циклом, так же как и 22-летний цикл по отношению к 11-летнему.

ВЫВОДЫ

По реконструированному ряду числа солнечных пятен исследованы характеристики вековых циклов. Установлено, что продолжительность наблюдаемых циклов варьирует в широких пределах – от 50 до 160 лет. При этом выделяются предпочтительные значения продолжительности циклов приблизительно 60, 90 и, возможно, 120 и 150 лет. Продолжительность ветвей роста и ветвей спада несколько различна. Крутизна ветвей, измеряемая тангенсом угла наклона касательной к соответствующей ветви, имеет наиболее вероятные значения $\pm 0,5$ ед. числа пятен в десятилетие и изменяется в пределах от 0 до 2,5 для ветви роста и от 0 до -2 для ветви спада. Она зависит, по-видимому, от уровня солнечной активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крамынин А.П., Мордвинов А.В. О модуляции амплитуды вековых циклов солнечной активности // Избранные проблемы астрономии. 2011. С. 138.
2. Наговицын Ю.А. Что мы знаем о Солнце и солнечно-земных связях? – http://www.gao.spb.ru/russian/publ-s/prezent/nagovitsyn_lect.pdf.
3. Рубашев Б.М. Проблемы солнечной активности. М.: Наука, 1964. 361 с.
4. Чистяков В.Ф. Солнечные циклы и колебания климата. Труды УАФО. Владивосток: Дальнаука, 1997. 156 с.
5. Kramynin A.P., Mordvinov A.V. Solar activity secular cycles // Geomagnetism and Aeronomy. 2013. Vol. 53, № 8. P. 949–952.
6. Mordvinov A.V., Kramynin A.P. Long-term changes in sunspots activity, occurrence of grand minima, and their future tendencies // Solar physics. 2010. Vol. 264. P. 269–278.
7. Nagovitsyn Yu.A. Solar activity during the last two millennia: Solar patrol in ancient and medieval china // Geomagnetism and Aeronomy. 2001. Vol. 41, № 5. P. 680–688.
8. Nagovitsyn Yu.A., Ivanov Vol.G., Miletsky E.Vol., Volobuev D.M. Esai database and some properties of solar activity in the past // Solar physics. 2004. Vol. 224. P. 103–112.
9. Solanki S.K., Usoskin I.G., Kromer B., Schussler M., Beer J. Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 year // Nature. 2004. Vol. 431, № 7012. P. 1084–1087.