

УДК 523.98, 52.17

Модулирующие периоды солнечной активности и прогноз очередного долгопериодического минимума

У.М. Лейко

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета, 04053, Киев, Украина

Поступила в редакцию 13 октября 2008 г.

Ключевые слова: Солнце, солнечная активность, обработка временных рядов

1 Введение

Цикличность солнечной активности исследуется с того времени, когда почти два столетия назад был обнаружен 11-летний цикл числа появления солнечных пятен. В настоящее время возрос интерес к изучению солнечной активности с целью выявления длительных тенденций солнечной активности и солнечно-земных связей (Комитов и Кафтан, 2003; Наговицын, 2006) и в связи с проблемой изменения климата (Башкирцев, Машнич, 2005).

Для исследования вариаций солнечной активности и уточнения представлений об их характере применяются различные математико-статистические методы анализа временных рядов инструментальных наблюдений явлений солнечной активности. Однако возможности исследования долговременных вариаций по таким рядам ограничены их длиной. Поэтому для этой цели используются более длинные ряды косвенных данных о солнечной активности (Васильев и Дергачев, 2002), например, ряды космогенных изотопов ^{14}C и ^{14}Be . Их использование также имеет свои особенности – существует значительное фазовое отставание измеренных концентраций космогенных изотопов по отношению к уровню активных явлений на Солнце.

Целью настоящей работы является поиск новых методов обработки временных рядов инструментальных наблюдений с целью выявления долгопериодических вариаций солнечной активности.

2 Методика и данные исследования

Для обнаружения длительных периодов вариаций солнечной активности нами была разработана методика обработки временных рядов, которая базируется на применении Фурье-преобразования, узкополосной частотной фильтрации и моделировании амплитудно-модулированных сигналов. Кратко суть методики. Делается Фурье-преобразование исследуемого ряда. В этом ряду обнуляется частотный диапазон, содержащий значимый пик в спектре мощности исследуемого ряда и делается обратное Фурье-преобразование. Вычтя этот ряд из исходного временного ряда, получим ряд, который содержит сигнал с частотой выбранного в спектре мощности пика.

Таблица 1. Параметры моделирования некоторых модулированных сигналов (ряд среднемесячных чисел Вольфа)

№	Несущий период (в годах)	Амплитуда несущего периода	Начальная фаза несущего периода (в годах)	Период модулирующей функции (в годах)	Фаза модулирующего периода (в годах)	Глубина модуляции
1	184.94	18	10	480	-57	0.4
2	103.57	15	9	390	-48	0.6
3	71.92	10	-8	650	81	0.6
4	53.94	6	35	490	-59	0.6
5	40.46	7	5	520	-67	0.6
6	34.07	2	0	490	-60	0.2
7	27.54	5	-2	390	0	0.9
8	22.91	2	5	540	-68	0.6
9	21.22	5	7	500	-60	0.7
10	19.18	3	0	530	0	0.7
11	17.86	0.9	3	480	0	0.1
12	16.70	3	-2	470	0	0.8
13	15.14	4	-8	540	0	0.5
14	14.15	5	0	380	0	0.3
15	13.28	4.5	0	570	70	0.6
16	12.75	2	-2	510	0	0.2
17	11.88	11	-6	390	-50	0.7
18	10.97	22	0	440	-55	0.7
19	10.66	12	0	550	-70	0.5
20	9.99	12	0	420	-53	0.8
21	9.52	6	-2	500	63	0.5
22	9.25	4	0	650	80	0.45
23	8.87	4.5	-2	660	60	0.9
24	8.49	6	-3	640	50	0.9
25	8.12	5.5	2	590	0	0.99

По такой методике нами были обработаны спектры рядов среднемесячных (1749–2007 гг.) и среднегодовых (1700–2007 гг.) чисел Вольфа в области периодов ~8–200 лет. Оказалось, что выделенные таким образом сигналы имеют вид амплитудно-модулированных синусоид. Следующий этап исследования – моделирование амплитудно-модулированного сигнала. При моделировании модулированного сигнала S с несущей частотой ω используются такие параметры: амплитуда, частота и начальная фаза модулируемого синусоидального колебания, частота и начальная фаза модулирующей функции, глубина модуляции и центральный год эпохи максимума модулирующей функции. Опорными параметрами были несущая частота ω и центральный год эпохи максимума модулирующей синусоиды, остальные параметры варьировались до наилучшего совпадения моделированного сигнала с сигналом, полученным в результате применения узкополосной фильтрации временного ряда. Центральный год эпохи максимума определялся как среднее значение моментов максимального и минимального значений амплитуды модулированной синусоиды. Параметры моделирования, полученные при обработке среднемесячных чисел Вольфа, приведены в таблице 1.

3 Модулирующие периоды солнечной активности

В результате моделирования нами были определены значения периодов модулирующих функций. Оказалось, их значения находятся в пределах 350–660 лет. Следует упомянуть, что

циклические колебания с периодами 350 и 1200 лет были выявлены Комитовым и Кафтаном (2003).

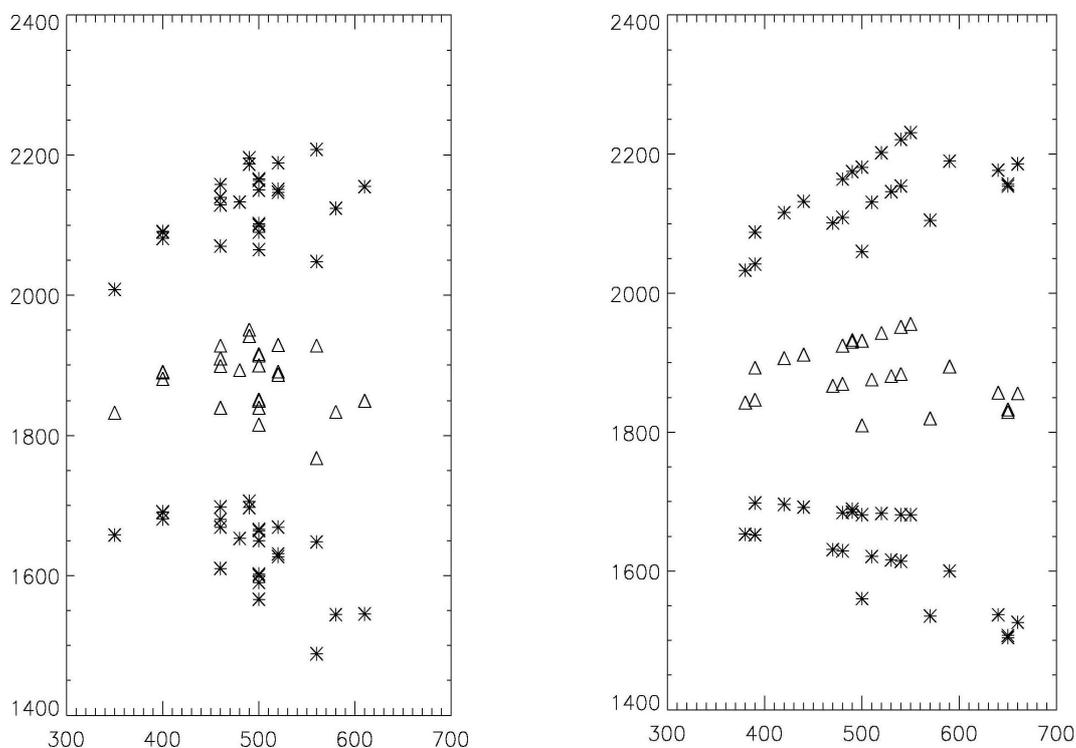


Рис. 1. Моменты максимумов (треугольники) и предыдущего и будущего минимумов (звездочки соответственно в верхней и нижней частях рисунка) модулирующих функций, полученные при обработке рядов среднегодовых чисел Вольфа (левый рисунок) и среднемесячных чисел Вольфа (правый рисунок). По оси ординат – календарные годы, по оси абсцисс – значение модулирующего периода в годах

На рис. 1 приведены моменты наступления максимумов полученных модулирующих функций (треугольники). Наблюдаются следующие закономерности. Чем больше период модулирующей функции, тем позже по времени наступает ее максимум. Треугольники на рис. 1 образовали три линии, т. е. вся группа периодов разбилась на три группы. Если пронумеровать прямые на рис. 1 сверху вниз, то первый период модулирующей функции первой группы и последний период второй группы имеют близкие (почти совпадающие) моменты наступления максимального значения амплитуды модулирующей функции – 1956 г. и 1943 г. соответственно. То же самое наблюдается и со второй и третьей группой периодов. Самые высокие модулирующие периоды в третьей группе.

Если анализировать несущие периоды – картина противоположная. В первую группу вошли несущие периоды с самыми высокими значениями – с 184.9 г. по 21.22 г. (за исключением периодов 71.9 г. и 27.5 г.) и группа хорошо известных 4 периодов с 11.88 г. по 9.99 г. Во второй группе – периоды 19.10 г. по 12.75 г. (за исключением периода 13.28 г.) и периоды 27.54 г. и 8.12 г. В третьей группе – четыре коротких периода с 9.52 г. по 8.49 г. и периоды 71.92 г. и 13.28 г.

По моментам наступления максимума амплитуды модулирующего периода первой идет третья группа (что хорошо видно на рис. 1). Все максимумы этой группы имели место в первой половине XIX столетия, второй группы – во второй половине XIX столетия, первой группы – в первой половине XX столетия.

Итак, исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Чем выше значение несущего периода, тем меньше значение периода модулирующего его синусоиды. Чем меньше значение несущего периода, тем раньше имел место максимум его модулирующей функции.

4 Эпохи минимумов и максимумов модулирующих функций

Как уже упоминалось, на исследуемом интервале времени наблюдались только эпохи максимумов модулирующих функций. Длительность эпохи экстремума модулирующей синусоиды определить четко достаточно трудно, поскольку она зависит от нескольких параметров: несущего периода, модулирующего периода, глубины модуляции (которые в свою очередь определены приблизительно). Поэтому в настоящей работе мы будем пользоваться термином центральный год эпохи максимума (минимума). Он определялся как среднее значение моментов максимального и минимального значения амплитуды модулированной синусоиды.

Определив значения модулирующих периодов, мы определили моменты наступления двух ближайших минимумов (предыдущего и будущего) модулирующих функций (рис. 1). Эпохи предыдущих минимумов модулирующих функций распределены в двух временных интервалах: 1504–1537 гг. и 1600–1698 гг. Как известно, в 1645–1715 гг. наблюдался длительный минимум солнечной активности (маундеровский минимум). Предыдущая эпоха минимума тринадцати из двадцати пяти рассмотренных модулированных колебаний приходится как раз на этот интервал времени. Эпохи минимума еще шести периодичностей находятся в интервале времени 1600–1645 гг., т. е. в непосредственной близости маундеровского минимума. Эпохи минимума остальных шести модулированных периодичностей приходятся на первую треть шестнадцатого века (1504–1537 гг.), следующую за шпереровским минимумом солнечной активности (1400–1500 гг.). Таким образом, причиной маундеровского минимума может быть то, что в этот интервал времени имело минимум достаточно большое число модулированных колебаний. Следует ли ожидать в ближайшем будущем минимум солнечной активности, подобный маундеровскому? Проанализируем центральные моменты времени эпох ближайших будущих минимумов. Как видно из рис. 1, моменты наступления ближайшего будущего минимума находятся в пределах временного интервала 2033–2231 гг. и охватывают три столетия. В XXI столетии минимум будут иметь пять модулирующих функций, в XXII – 17, в XXIII – 3. Напомним, что в течение маундеровского минимума 13 модулирующих синусоид имели минимальную амплитуду. Исходя из этого можно предположить, что следующий продолжительный минимум солнечной активности следует ожидать в XXII столетии. Длительность его, судя по расположению точек в верхней части рис. 1, ожидается больше ста лет, т. е. длиннее маундеровского минимума. Понижение уровня солнечной активности следует ожидать и в XXI веке: два первых минимума модулирующих функций ожидается уже в 2033 г. и 2044 г., а еще три минимума – во второй половине XXI столетия.

5 Заключение

В результате обработки временных рядов наблюдений солнечных пятен была получена новая информация о вариациях солнечной активности – существовании вариаций в диапазоне периодов 350–660 лет, которые модулируют хорошо известные периодичности в области периодов ~8–200 лет. Анализ этих периодичностей показал, что они в течение исследуемого интервала времени, а именно в течение 1700–2007 лет, имели максимум. Ближайший прошлый

минимум этих модулирующих функций совпал по времени с маундеровским минимумом солнечной активности. Поэтому вполне логично предположить, что маундеровский минимум солнечной активности наступил вследствие суперпозиции минимумов большого числа периодических процессов солнечной активности. Ближайший будущий минимум полученного класса периодичностей (вариаций) ожидается в 2032–2232 гг., а наибольшее их количество приходится на XXII столетие. Т. е. следующий продолжительный минимум солнечной активности, очевидно, будет иметь место в XXII столетии, его длительность будет около ста лет.

Выявлен ряд интересных свойств нового класса периодичностей. Оказалось, чем длинней несущий период, тем короче период модулирующей его синусоиды. Чем больше период модулирующей функции, тем позже по времени наступает ее максимум.

Литература

- Башкирцев В.С., Машнич Г.П. // Солнечно-земная физика. 2005. Выпуск 8. С. 179.
Васильев и Дергачев (Vasiliev S.S. and Dergachev V.A.) // Annales Geophysicae. 2002. Т. 20. Р. 115.
Комитов Б.П., Кафтан В.И. // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т. 43. №. 5. С. 592.
Наговицын Ю.А. // Письма в Астрон. журн. 2006. Т. 32. №. 5. С. 382.