

УДК 523.9

Х. И. Абдусаматов

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
196140 Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе 65, корп. 1
E-mail: abduss@gao.spb.ru

**Об оптимальном прогнозировании высоты
следующего 11-летнего цикла активности
и нескольких последующих циклов
на основе долговременных вариаций радиуса Солнца
или солнечной постоянной**

Разработан новый метод оптимального прогнозирования высоты максимума следующего 11-летнего цикла активности до его начала и нескольких последующих циклов на основе долговременных вариаций радиуса Солнца или солнечной постоянной. Метод основан на ранее установленной закономерности: долговременные циклические вариации активности, радиуса и солнечной постоянной, являясь следствием одних и тех же процессов, скоррелированы как по фазе, так и по амплитуде. Наиболее вероятная высота максимума следующего 24-го цикла солнечной активности — $W_{\max} = 70 \pm 10$ единиц относительного числа пятен. В последующих 25-м и 26-м циклах, образующихся в эпоху спада нынешнего векового цикла активности, сохранится тенденция падения высоты максимума солнечной активности до $W_{\max} = 50 \pm 15$ и 35 ± 20 единиц относительного числа пятен соответственно.

ПРО ОПТИМАЛЬНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИСОТИ НАСТУПНОГО 11-РІЧНОГО ЦИКЛУ АКТИВНОСТІ ТА КІЛЬКОХ НАСТУПНИХ ЦИКЛІВ НА ОСНОВІ БАГАТОРІЧНИХ ВАРІАЦІЙ РАДІУСА СОНЦЯ ЧИ СОНЯЧНОЇ ПОСТІЙНОЇ, Абдусаматов Х. І. — Розроблено новий метод оптимального прогнозування висоти максимуму наступного 11-річного циклу активності до його початку та кількох наступних циклів на основі багаторічних варіацій радіуса Сонця чи сонячної постійної. Метод ґрунтується на раніше встановленій закономірності: багаторічні циклічні варіації активності, радіуса і сонячної постійної, як наслідок одних і тих же процесів, скорельовані як за фазою, так і за амплітудою. Найімовірніша висота максимуму наступного 24-го циклу сонячної активності — $W_{\max} = 70 \pm 10$ одиниць відносної кількості плям. У наступних 25-му і 26-му циклах, що прийдуться на епоху спадання нинішнього вікового циклу активності, збережеться тенденція зменшення висоти максимуму сонячної активності до $W_{\max} = 50 \pm 15$ і 35 ± 20 одиниць відносної кількості плям відповідно.

ON OPTIMAL FORECASTING OF THE PEAK OF THE FOLLOWING 11-YEAR ACTIVITY CYCLE AND SEVERAL SUBSEQUENT CYCLES ON THE BASIS OF LONG-TIME VARIATIONS OF THE SOLAR RADIUS OR SOLAR CONSTANT, by Abdussamatov H. I. — A new method of the optimal forecasting of the peak of the following 11-year activity cycle up to its beginning and several subsequent cycles of the activity is developed. The method is based on the regularity established earlier, namely, long-time cyclical variations of the activity, radius and solar constant, being a result of the same processes, are correlated both on the phase and amplitude. The most probable peak of the solar activity cycle 24 is $W_{\max} = 70 \pm 10$ units of the sunspot number. In the subsequent activity cycles 25—26 which will be formed during the decay of the present centenary solar activity cycle the tendency for the drop of the peak of the activity cycle up to $W_{\max} = 50 \pm 15$ and 35 ± 20 units of the sunspot number, respectively, will be kept.

Известно, что среднесрочный оптимальный прогноз вариаций уровня солнечной активности возможен только в пределах текущего наступившего 11-летнего цикла на основе исследования общих свойств и статистических характеристик семейств всех 14 (с 10-го по 23-й) достоверно изученных 11-летних циклов пятнообразовательной деятельности Солнца. Эти исследованные общие свойства и статистические характеристики циклических вариаций солнечной активности основаны на малом количестве достоверно изученных циклов. Тем не менее, они, по истечении 18—24 месяцев с момента начала текущего цикла, когда кривая начала его развития определенно попадает в одну из кривых развития семейств (высоких, средних или низких 11-летних циклов активности), позволяют экстраполировать дальнейшее развитие активности данного цикла. В результате этого с большой вероятностью можно спрогнозировать высоту максимума, время его наступления и ориентировочную продолжительность данного растущего цикла пятнообразовательной активности Солнца [5].

Прогнозы высоты уровня максимума и других основных характеристик очередного, еще не наступившего 11-летнего цикла солнечной активности, не имея физической основы, опираются на все еще недостаточно обоснованные и не всегда правильные предпосылки. Они в той или иной степени базируются на некоторых статистических закономерностях. Однако из-за малого количества изученных семейств 11-летних циклов активности до сих пор надежно не установлены их общие свойства, закономерности развития и вариации высот уровня максимума активности; нет адекватной физической модели их развития, учитывающей вековые изменения. Все это, в частности, препятствует достоверному долгосрочному прогнозированию высоты уровня максимума активности следующего 11-летнего цикла до его начала и на несколько циклов вперед.

Ранее мы заключили, что основным материнским циклом, управляющим и определяющим закономерности развития дочернего 11-летнего цикла активности, радиуса и интегрального потока излучения Солнца — солнечной постоянной, является глобальный вековой цикл [1—3]. При этом, в частности, было установлено, что продолжительность 11-летнего солнечного цикла активности зависит от фазы векового цикла и последовательно увеличивается от фазы роста к фазам максимума и спада векового цикла [3]. Также ранее была установлена универсальная закономерность: долговременные циклические вариации активности, радиуса и солнечной постоянной, являясь следствием одних и тех же процессов, происходящих в глубоких недрах Солнца, взаимокоррелированы как по фазе, так и по амплитуде [1, 2]. При этом долговременная циклическая вариация солнеч-

ной постоянной практически всецело определяется соответствующим колебанием радиуса излучающей поверхности фотосферы, а циклические колебания уровня активности, развивающиеся параллельно аналогичным колебаниям радиуса, и следовательно, солнечной постоянной, являются сопутствующим скоординированным явлением циклической деятельности Солнца. Таким образом, Солнце не находится в состоянии механического и энергетического равновесия, а его глобальные пространственные и физические параметры циклически изменяются. Поэтому оно является переменной звездой, пульсирующей одновременно как с 11-летними, так и с вековыми скоординированными вариациями активности, радиуса и потока радиации.

Следовательно, долговременные совокупные высокоточные данные о вековой и 11-летних составляющих циклических вариаций радиуса или солнечной постоянной являются оптимальным физически обоснованным индикатором последующего хода их вариаций в течение нескольких 11-летних циклов. Они также служат физической основой для наиболее точного прогнозирования высоты уровня максимума активности Солнца в следующем 11-летнем цикле до его начала и на несколько циклов вперед. При этом известно, что временные вариации радиуса Солнца на околоземной орбите будут измеряться со значительно более высокой точностью [4], чем измеряемые вариации интегрального потока излучения Солнца.

Ниже на базе этих представлений попытаемся разработать новый физически обоснованный метод оптимального прогнозирования высоты уровня максимума следующего 11-летнего цикла пятнообразовательной активности как дочернего цикла до его начала и нескольких последующих циклов (с относительно меньшей точностью) на основе надежных высокоточных данных долговременных циклических вариаций радиуса Солнца или солнечной постоянной.

В настоящее время, к сожалению, все еще нет крайне необходимых высокоточных длительных космических измерений радиуса Солнца. Однако при этом имеется практически непрерывный длительный ряд солнечной постоянной S_{\odot} с 1978 г. по настоящее время (жирная линия на рис. 1), измеренный несколькими космическими аппаратами. Одновременно он отражает также и соответствующие скоррелированные вариации радиуса Солнца [1, 2]. Амплитуда 11-летних сглаженных циклических вариаций

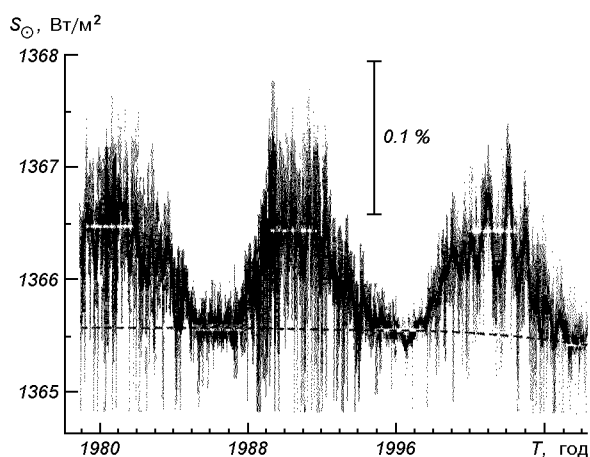


Рис. 1. Вариации интегрального потока солнечной радиации за период с 1978 по 2006 гг. (жирная линия), взятые из сайта www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant, и вековая вариация его абсолютной величины (штриховая линия). Отдельные выбросы вверх или вниз обусловлены прохождением факельных полей или пятен по диску

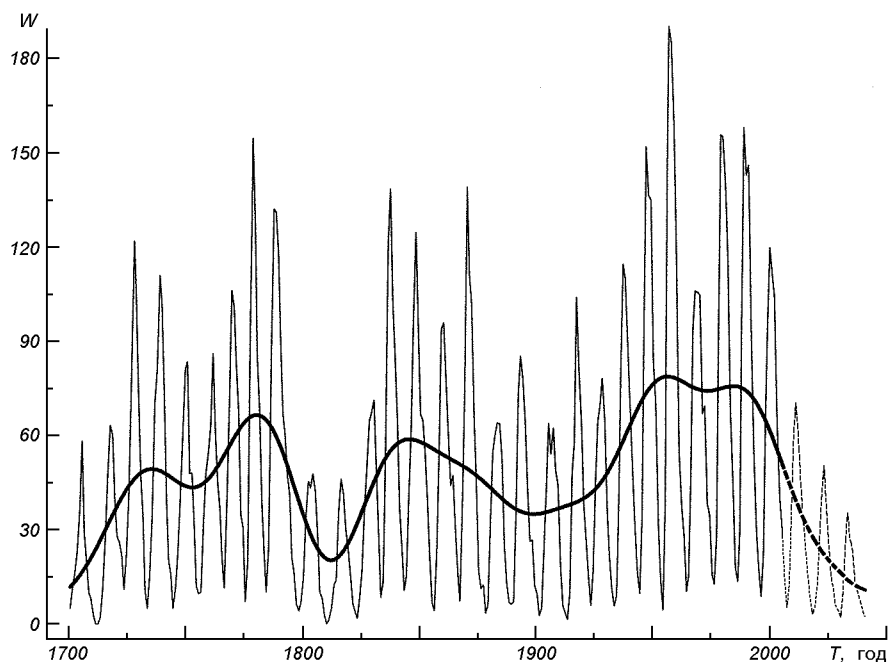


Рис. 2. Наблюдаемые вариации 11-летней пятнообразовательной активности Солнца (сплошная тонкая линия) и вековой активности Солнца (сплошная жирная линия) в 1700—2006 гг. согласно данным [1], а также прогнозируемые нами вариации этих величин в 2006—2040 гг.

солнечной постоянной не превышает $7 \cdot 10^{-4} S_{\odot}$ за цикл и снижается ускоренными темпами. А наблюдаемые на рис. 1 кратковременные вариации солнечной постоянной с характерным временем в несколько суток обусловлены прохождением по солнечному диску факельных полей (выбросы вверх с амплитудой $+0.001 S_{\odot}$) и пятен (выбросы вниз с амплитудой $-0.002 S_{\odot}$). Пятна и факелы таким образом смазывают общий ход вариации солнечной постоянной в течение всего цикла, особенно в его максимуме, и затрудняют оптимальное сглаживание ее кратковременных вариаций. Тем самым они усложняют определение точных значений ее кратковременных и долговременных вариаций. Однако они в целом не оказывают существенного влияния на общий ход вариаций солнечной постоянной (жирная линия на рис. 1) в течение всего цикла. Поэтому, за неимением в настоящее время надежных высокоточных данных о долговременных вариациях радиуса Солнца, здесь мы вынуждены воспользоваться существующими рядами аналогичных коррелированных колебаний величин солнечной постоянной за достаточно длительный период.

Абсолютная величина интегрального потока излучения Солнца, определяемая в минимуме 11-летнего цикла, также ускоренными темпами уменьшается от 21-го цикла к 22-му и 23-му циклам (штриховая линия на рис. 1). Аналогичное скоррелированное уменьшение за этот период, как и ожидалось, наблюдается и для вековых вариаций солнечной активности (жирная линия на рис. 2). На основе этих данных ранее впервые было установлено наличие и векового компонента в вариациях солнечной постоянной [1]. Наблюдаемое одновременное параллельное ускоренное падение вековых компонентов как солнечной постоянной, так и солнечной активности является следствием начала активной фазы спада векового цикла

солнечной деятельности. Главенствующая роль векового цикла в управлении и определении закономерностей развития дочернего 11-летнего цикла [1—3] позволяет оптимально прогнозировать соответствующие вариации и развития основных характеристик следующего наступающего цикла, и в частности, определения прогнозируемой высоты уровня максимума его активности и величины вариации солнечной постоянной.

Разность абсолютной величины солнечной постоянной (-0.02 Вт/м^2) в минимумах (после максимума) двух последовательных 21-го и 22-го циклов привела к падению активности W_{\max} в 22-м цикле на 6.4 ед. относительного числа пятен, а разность абсолютной величины солнечной постоянной (-0.12 Вт/м^2) в минимумах 22-го и 23-го циклов привела к уменьшению активности W_{\max} в 23-м цикле на 37.4 ед. Поэтому ожидаемая разность -0.18 Вт/м^2 абсолютной величины солнечной постоянной в минимумах 23-го и 24-го циклов приведет к соответствующему уменьшению активности W_{\max} в 24-м цикле на 54.0 ед. относительного числа пятен. Следовательно, наиболее вероятная высота уровня максимума следующего 24-го цикла солнечной активности, определенная нами данным методом до начала этого цикла, составит около $W_{\max} = 70 \pm 10$ единиц относительного числа пятен. При этом ранее на основе установленной зависимости продолжительности 11-летнего солнечного цикла от фазы векового цикла нами было заключено, что начало наступления 24-го солнечного цикла следует ожидать в августе 2007 ± 0.4 года, а его максимум — ориентировочно в июле 2011 ± 0.4 года. [3].

Что касается долговременных циклических вариаций величины радиуса Солнца ΔR_{\odot} , то они целиком проявляются в соответствующих вариациях солнечной постоянной ΔS_{\odot} , связанных известным соотношением [1, 2]

$$\Delta R_{\odot} = R_{\odot} \Delta S_{\odot} / 2S_{\odot} = 3.4813 \cdot 10^5 \Delta S_{\odot} / S_{\odot} \quad (\text{км}).$$

Вычисленные по этой формуле вековые изменения абсолютной величины радиуса Солнца ΔR_{\odot} в минимумах 22—24-х циклов относительно максимальной абсолютной величины радиуса в минимуме 21-го цикла приведены в таблице. В соответствии с этими данными в 1990-х гг. прошлого столетия началось постепенное уменьшение абсолютной величины радиуса Солнца, которое к 2018 году составит более 80 км.

Долговременные вариации солнечной постоянной S_{\odot} , радиуса Солнца ΔR_{\odot} и максимальное сглаженное за 13 месяцев относительное число W_{\max} пятен в цикле

Цикл	S_{\odot} , Вт/м ²		$S_{\odot}^{\max} - S_{\odot}^{\min}$, Вт/м ²	W_{\max}	ΔR_{\odot} , км
	максимум	минимум			
21	1366.49 ± 0.06 (1979 XII)	1365.57 ± 0.03 (1986 VIII)		164.5 (1979 XII)	0 (1986 VIII)
22	1366.46 ± 0.06 (1989 VII)	1365.55 ± 0.03 (1996 V)	0.89	158.1 (1989 VII)	-5.1 (1996 V)
23	1366.41 ± 0.06 (2000 IV)	1365.43 ± 0.03 (2007 VII)?	0.86	120.7 (2000 IV)	-35.7 (2007 VII)?
24	$1366.24 \pm 0.15?$ (2011 VII)?	$1365.25 \pm 0.10?$ (2018 IX)?	0.81?	$70.0 \pm 10.0?$ (2011 VII)?	-81.6? (2018 IX)?

Примечание. S_{\odot}^{\max} и S_{\odot}^{\min} — сглаженные величины солнечной постоянной, измеренные в максимуме данного цикла и минимуме начала цикла

Ход вариации градиента абсолютной величины солнечной постоянной в минимумах (после максимума) трех последовательных циклов определяет дальнейший ход величины как солнечной постоянной, так и уровня солнечной активности не только наступающего, но и нескольких последующих циклов (с несколько меньшей точностью). Поэтому наблюдаемое в настоящее время ускорение падения 11-летней и вековой составляющих как солнечной постоянной, так и активности указывает на дальнейший их спад еще в течение нескольких последующих циклов. Следовательно, в последующих 25-м и 26-м циклах, образующихся в эпоху активного спада нынешнего векового цикла активности, сохранится тенденция падения абсолютной величины солнечной постоянной, а также соответствующей высоты максимума уровня солнечной активности до $W_{\max} = 50 \pm 15$ и 35 ± 20 ед. относительного числа пятен (рис. 2). Поэтому мы вправе ожидать наступления фазы глубокого минимума в вариациях активности, радиуса и солнечной постоянной в начале 27-го цикла ориентировочно в 2040 г. (см. рис. 2), который может продлиться от 45 до 65 лет. Что касается предварительно прогнозируемых высот уровня максимума активности 25-го и 26-го циклов, то они будут дополнительно уточнены и скорректированы по результатам наблюдений радиуса или солнечной постоянной в минимумах (после максимума) 24-го и 25-го циклов, что позволит еще до начала каждого нового наступающего цикла наиболее точно прогнозировать высоту вариаций его активности. Прогнозы, полученные данным методом, в целом находятся в согласии с прогнозами [1, 2, 7, 9, 10, 11], но не соответствуют прогнозам [6, 8].

Таким образом, предложенный и использованный нами физически обоснованный метод оптимального прогнозирования высоты следующего 11-летнего цикла активности до его начала и нескольких последующих циклов основан, во-первых, на установленной закономерности: долговременные циклические вариации активности, радиуса и солнечной постоянной скоррелированы как по фазе, так и по амплитуде [1, 2], во-вторых, на главенствующей роли глобального векового цикла в определении и управлении физическими закономерностями развития дочерних 11-летних циклов активности, радиуса и потока излучения [3] и, в-третьих, на исследовании хода долговременных вариаций векового компонента — градиента абсолютной величины радиуса или солнечной постоянной в течение минимумов (после максимума) трех последовательных циклов. Полученная разность абсолютной величины солнечной постоянной или радиуса Солнца в минимумах (после максимума) двух последовательных циклов является физической основой для оптимального прогнозирования соответствующей вариации и развития основных характеристик следующего наступающего цикла и, в частности, определения прогнозируемой высоты уровня максимума его активности и величины вариации солнечной постоянной. А ход вариации градиента абсолютной величины радиуса Солнца или солнечной постоянной в минимумах трех последовательных циклов определяет дальнейший ход величины как солнечной постоянной, так и уровня солнечной активности не только наступающего, но и нескольких последующих циклов (с несколько меньшей точностью).

1. Абдусаматов Х. И. О долговременных вариациях потока интегральной радиации и возможных изменениях температуры в ядре Солнца // Кинематика и физика небес. тел.—2005.—21, № 6.—С. 471—477.
2. Абдусаматов Х. И. Об уменьшении потока солнечного излучения и понижении глобальной температуры Земли до состояния глубокого похолодания в середине XXI века // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2006.—103.—С. 122—127.

3. Абдусаматов Х. И. О времени завершения текущего солнечного цикла и зависимости продолжительности 11-летних циклов от фазы векового цикла // Кинематика и физика небес. тел.—2006.—22, № 3.—С. 183—186.
4. Абдусаматов Х. И., Алексеев Ю. В., Антошков А. А. и др. Эксперимент «Астрометрия» по измерению временных вариаций формы и диаметра Солнца на служебном модуле российского сегмента МКС // Изв. РАН. Сер. физ.—2007.—71, № 4.—С. 556—561.
5. Ишков В. Н. Солнце в текущем 23 цикле солнечной активности // Тез. докл. IX Пулковской междунар. конф. по физике Солнца «Солнечная активность, как фактор космической погоды». — Санкт-Петербург, 2005.—С. 69.
6. Кафтан В. И. Кинематическое моделирование солнечной активности. Прогноз 24-го солнечного цикла // Тез. науч. докл. всероссийской конф. «Экспериментальные и теоретические исследования основ прогнозирования гелиогеофизической активности». — Троицк, 2005.—С. 33.
7. Милецкий Е. В., Иванов В. Г. Динамические модели для долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования активности Солнца // Тез. науч. докл. всероссийской конф. «Экспериментальные и теоретические исследования основ прогнозирования гелиогеофизической активности». — Троицк, 2005.—С. 51.
8. Мордвинов А. В., Макаренко Н. Г., Юнгер Х., Крамынин А. П. Эмпирическая модель солнечного воздействия на климат Земли и прогноз цикла 24 // Тр. IX Пулковской междунар. конф. по физике Солнца «Солнечная активность, как фактор космической погоды». — Санкт-Петербург, 2005.—С. 197—202.
9. Callebaut D. K., Makarov V. I. The advent of a grand minimum and climate effects // Тр. IX Пулковской междунар. конф. по физике Солнца «Солнечная активность как фактор космической погоды». — Санкт-Петербург, 2005.—С. 161—168.
10. Duhau S. An early prediction of maximum sunspot number in solar cycle 24 // Solar Phys.—2003.—213.—P. 203—212.
11. Sello S. Solar cycle activity: a preliminary prediction for cycle 24 // Astron. and Astrophys.—2003.—401.—P. 691—693.

Поступила в редакцию 28.08.06