



СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ОСЦИЛЛЯЦИИ СОЛНЕЧНОГО ПОТОКА

Ю.А. Складов, В.А. Двинских, Ю.И. Бричков, В.А. Воробьев, А.И. Котума

Приведено описание условий наблюдений солнечного потока со спутника «Метеор-3» № 7 аппаратурой ИСП-2, сложившихся в феврале 1995 года, когда регистрация велась за целый виток длительностью 108 минут ежедневно в течение двух недель. Получены спектры мощностей рядов наблюдений. В периоды усиления солнечной активности обнаружено появление ранее не регистрировавшихся осцилляций интегрального потока Солнца в диапазоне периодов 6 – 15 минут с амплитудами до 0.05% от его величины.

В феврале 1995 года сложились исключительно благоприятные условия для наблюдений Солнца аппаратурой «Измеритель солнечной постоянной» (ИСП-2), созданной в Саратовском госуниверситете, со спутника «Метеор-3» № 7. Уже отмечалось [1,2], что орбита этого ИСЗ околополярная с наклоном к плоскости экватора Земли 82° . Следовательно, южный полюс орбиты имеет склонение -8° . В феврале Солнце, двигаясь к точке весеннего равноденствия, имело величины склонения -13° (середина месяца) ... -8° (конец месяца). Вследствие прецессии орбиты именно в эти дни ее южный полюс, двигаясь навстречу Солнцу, прошел мимо него. Таким образом, при наблюдении со спутника Солнце описывало вокруг южного полюса орбиты круги величиной всего в несколько градусов, вначале уменьшающиеся, а затем, после прохождения полюса, расходящиеся. Возникла ситуация, когда аппаратура ИСП-2 отслеживала Солнце в течение целого витка, наружный блок круглые сутки освещался Солнцем. В силу этого его температурный режим был максимально благоприятным. Разрешающая способность аппаратуры была лучше чем 0.01%.

Учитывая, что продолжительность измерительного цикла обоих измерительных каналов ИСП-2 равна 2 минутам, в период с 12 по 25 февраля были получены ряды по 53–54 отдельных отсчета радиации за виток. Этот наблюдательный материал был использован для поиска возможных осцилляций солнечного потока. Отметим, что из всех реализованных до сих пор спутниковых проектов, только в проекте SMM ACRIM [3, 4] обеспечивалась возможность получения до 28 отсчетов солнечной радиации за виток. В остальных проектах количество отдельных измерений за виток было меньше. В нашем случае ежедневно регистрировались данные за один виток (108 минут) с перерывами около 22 часов. Анализу подвергался каждый такой ряд.

Оценка спектральной плотности мощности [5] эффективно производится с помощью как прямого преобразования Фурье, так и параметрических методов.

Решается и задача по оценке параметров составляющих спектра [6,7], причем частоты этих составляющих неизвестны, а можно лишь указать диапазон, в котором они располагаются. В [8] изложена методика вычисления параметров составляющих квазипериодических колебаний, основанная на аппроксимации отсчетов реализации тригонометрическим полиномом первого порядка (АТП) с изменяющейся частотой его гармонических функций, позволяющая одновременно определить постоянную и переменные составляющие. Предполагая, что последовательность отсчетов данных $x(n)$, $n=0, 1, \dots, N-1$ содержит L гармонических составляющих, можно аппроксимировать ее полиномом вида

$$y_j(n) = Y_{0j} + Y_{1j}\sin(h_j n) + Y_{2j}\cos(h_j n),$$

где $h_j=2\pi/N_j$ – шаг для каждой из выбранных составляющих спектрального анализа при N_j , $j=1, \dots, m$ числе отсчетов за ее период, причем $m \gg L$. Пределы N_1, N_m выбираются из физических соображений, а $N_1 > 2$ отсчетов. По методу наименьших квадратов вычисляются значения коэффициентов Y_{0j}, Y_{1j}, Y_{2j} , $j=1, \dots, m$.

Нахождение гармонических составляющих спектра квазипериодического колебания в заданном частотном диапазоне сводится к отысканию максимумов

$$M_i = (Y_{1i}^2 + Y_{2i}^2)^{1/2}, \quad i = 1, \dots, L.$$

Проведен численный эксперимент. В качестве контрольного выбрано квазипериодическое колебание, содержащее 4 гармонические составляющие одинаковой амплитуды с отношениями частот 0.6 : 0.8 : 1.0 : 1.2 при общем числе отсчетов в 5 раз превышающем отсчеты за период низкочастотной составляющей. При изменении отношения сигнал/шум от 3 до 30 дБ погрешность в оценке периода и амплитуды не превышает 15%.

Программа поиска вероятных осцилляций солнечного потока по изложенной методике предусматривала обнаружение гармонических составляющих в диапазоне периодов 4 – 20 мин. путем перебора периодов с шагом 0.02 мин.

Каждый индивидуальный отсчет солнечного потока аппаратурой ИСП–2 определяется в соответствии с рабочей формулой пиргелиометра [9]:

$$E = k(w_t - w_o),$$

где E – плотность потока солнечной радиации, k – переводный множитель, w_t и w_o – мощности электрического тока в приемном элементе при закрытой («тень») и открытой («солнце») трубе пиргелиометра, соответственно. Системой вывода и приёма информации обеспечивалась независимая регистрация как самого аналога оптической мощности ($w_t - w_o$), так и каждой из измерительных мощностей w_t и w_o . В процессе обработки наблюдений спектры мощности для w_t и w_o получались отдельно, чтобы выявить изменения солнечного происхождения. При открытой трубе измерительного канала в w_o будут появляться изменения, вызванные изменениями мощности солнечного излучения. А при закрытой трубе в w_t таких изменений не будет.

Анализ измерений показал, что, например, начиная с 16 февраля, в кривых хода w_o и спектров мощности w_o отмечались особенности, достигшие максимума 19 февраля. На рис. 1, а приведены записи регистрации «солнечной» и «теневого» электрических мощностей рабочего измерительного канала 19 февраля. На кривой «солнечной» мощности w_o видны многочисленные пики и спады, соответствующие быстрым падениям и увеличениям солнечного потока. В то же время кривая «теневого» мощности w_t этих явлений практически не показывает, что и свидетельствует в пользу их солнечного происхождения. По величине пиков легко оценить энергетику этих событий. Аналогом оптической мощности, измеряемой пиргелиометром, является величина ($w_t - w_o$). В данном случае она в среднем за виток составляет 6083 кодовых единиц мощности. Пики и спады составляют 1–3 единиц, т.е. 0.015–0.05% от измеряемой величины интегрального солнечного

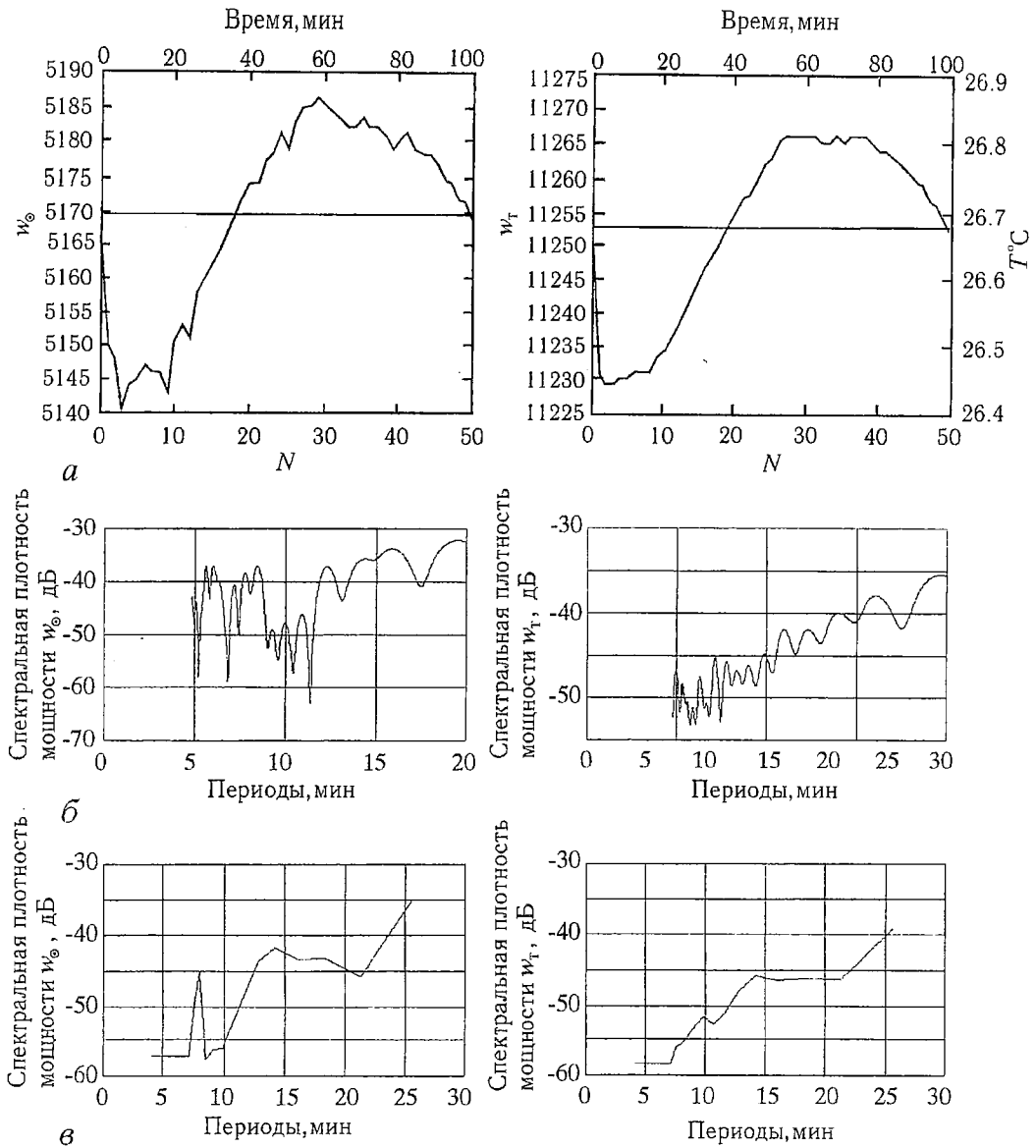


Рис. 1. Данные за виток 19 февраля 1995 года: а – графики хода w_{\odot} и w_T , N – число отдельных отсчетов солнечного потока; б – спектры мощности w_{\odot} и w_T (метод АТП); в – спектры мощности w_{\odot} и w_T (метод БПФ)

потока. На рис. 1, б приведены спектры мощностей «солнечной» и «теневой» электрических мощностей, полученные методом АТП, а на рис. 1, в – то же, методом быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Видно, что спектры мощностей w_T и w_{\odot} резко различаются. На спектрах мощности w_{\odot} видны осцилляции с расщеплёнными периодами около 6 и 8 минут (АТП), вполне определённо около 8 минут на графике БПФ. В последующие дни произошло быстрое затухание процесса. 21 и в особенности 22 февраля кривые спектральной плотности мощностей нормализовались и стали подобными для w_T и w_{\odot} . Для сравнения на рис. 2 приведены аналогичные данные о спектрах мощностей за виток 22 февраля 1995 г. Практически одинаковая картина (близкое сходство спектров мощностей w_T и w_{\odot}) наблюдалось 15 февраля. Между этими датами различие в спектрах возрастало до 19 февраля с последующим затуханием.

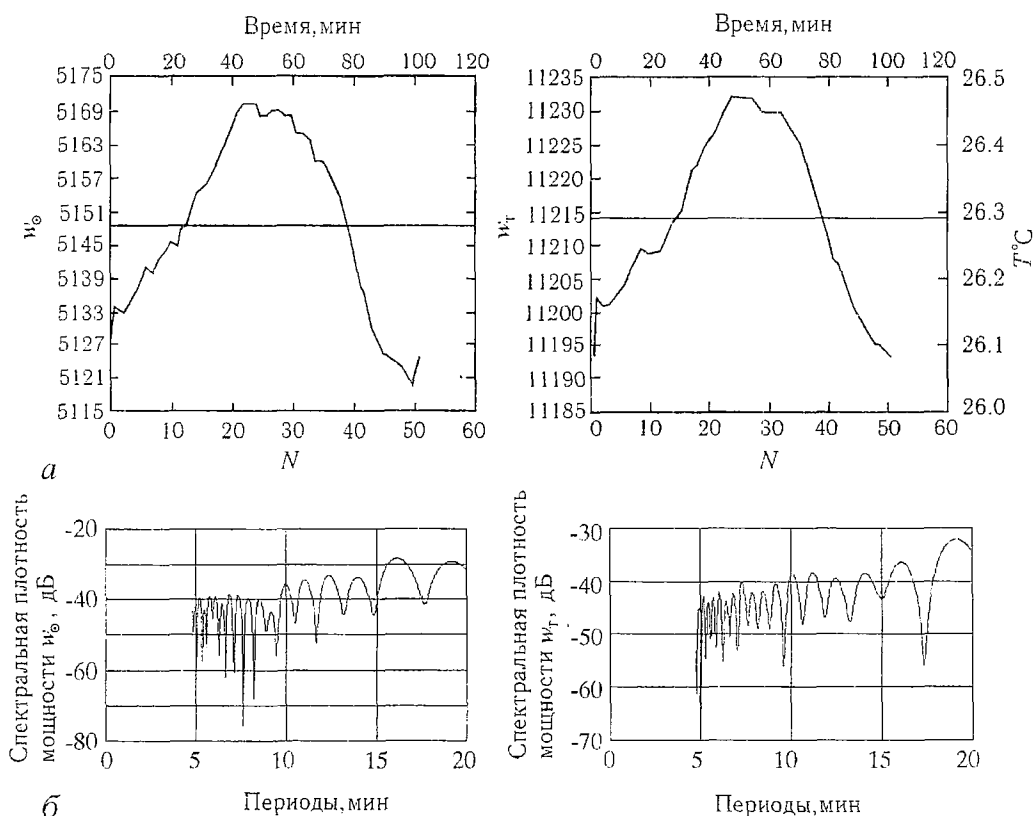


Рис. 2. Данные за виток 22 февраля 1995 года: *a* – графики хода w_0 и w_T , N – число отдельных отсчетов солнечного потока; *б* – спектры мощности w_0 и w_T (метод АПГ)

Для выявления причин был проведен поиск событий на Солнце по материалам [10, 11]. Оказалось, что в период регистрации осцилляций, начиная с 16 февраля 1995 года, на Солнце наблюдался целый ряд событий. Отмечено значительное увеличение потока рентгеновских лучей, количество вспышек достигало 11 (20 февраля) с одной вспышкой средней мощности, зарегистрированы многочисленные вспышки в линии H_{α} , быстрое увеличение значения числа Вольфа и мощности потока на длине волны 10.7 см. 19 и 20 февраля отмечалось прохождение через центральный меридиан Солнца группы пятен с общей площадью до 300 миллионных долей поверхности. На рис. 3 приводим размещённый в сети Интернет Национальным Геофизическим Центром

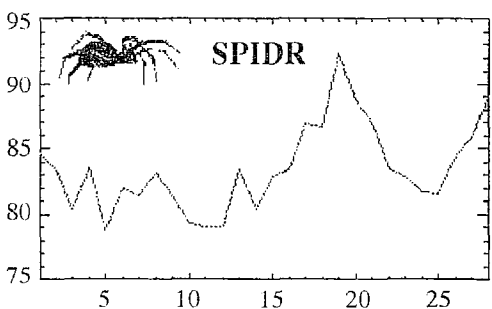


Рис. 3. Поток солнечного излучения 10.7 см, приведённый к 1 астрономической единице, февраль 1995 года. По оси абсцисс даты, по оси ординат плотность потока в единицах $10^{-22} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$

Данных (США) график хода известного индекса солнечной активности – потока на длине волны 10.7 см. Видно, что в отмеченный период наблюдалось кратковременное значительное изменение его величины с пиком 19 февраля 1995 года.

Предварительный анализ наблюдательного материала показал, что аналогичные явления регистрации осцилляций интегрального по спектру солнечного потока по данным измерений ИСП-2 наблюдались 15–17 июля 1994 года, 2–3 и 14–15 августа 1994 года и в другие дни при повышении явлений солнечной активности.

Изучение массива данных, полученных аппаратурой ИСП–2, продолжается. Можно сделать предварительный вывод о возбуждении ранее не регистрировавшихся осцилляций интегрального солнечного потока с амплитудами до $5 \cdot 10^{-4}$ от его мощности и периодами 6–15 минут во времена событий с резким повышением солнечной активности. О продолжительности зарегистрированных осцилляций судить трудно из-за скважности наблюдений – один виток в сутки. Можно отметить также, что процессы развития и затухания кратковременных изменений солнечного потока проходят практически синхронно с развитием явлений солнечной активности.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект №97–0565579) и ГНТП «Астрономия» (проект № 1.5.3.5).

Библиографический список

1. *Скляр Ю.А.* Измеритель солнечной постоянной 2-го поколения (ИСП–2) на спутнике «Метеор–3» № 7 // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1994. Т. 2, №5. С. 116.
2. *Скляр Ю.А., Бричков Ю.И., Воробьев В.А., Котума А.И., Пахомов Л.А., Фейгин В.М.* Измеритель солнечной постоянной второго поколения на спутнике «Метеор–3» № 7 // Исследование Земли из космоса. 1995. №4. С. 17.
3. *Скляр Ю.А.* Солнечная постоянная (состояние исследований) // Исследование Земли из космоса. 1994. №4. С. 96.
4. *Mecherikunnel A.T., Kyle H.L., Lee III R.B.* Solar constant data from Earth radiation budget measurements // NASA Conference Publication 3086. Greenbelt. Maryland. 1990. P. 309.
5. *Марпл С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990.
6. *Серебренников М.Г., Первозванский А.А.* Выявление скрытых периодичностей. М.: Наука. 1965.
7. *Отнес Р., Эноксон Л.* Прикладной анализ временных рядов. М.: Мир. 1982.
8. *Двинских В.А.* Вычисление параметров составляющих квазипериодических колебаний // ЖТФ. 1992. Т. 62, вып. 12. С. 168.
9. *Кмито А.А., Скляр Ю.А.* Пиргелиометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
10. Solar Geophysical Data. March 1995. № 607. P. 1.
11. Solar Geophysical Data. April 1995. № 608. P. 1.

*Саратовский государственный
университет
Научно-исследовательский институт
механики и физики СГУ*

Поступила в редакцию 17.09.97

SOLAR ACTIVITY AND SOLAR FLUX OSCILLATIONS

Yu.A. Sklyarov, V.A. Dvinskikh, Yu.I. Brichkov, V.A. Vorobyov, A.I. Kotuma

The conditions of full orbit solar flux observation by Solar Constant Monitor (SCM–2) from «Meteor–3» № 7 satellite in February 1995 are described. The power spectra of such daily measurement series of 108 min. duration during two weeks are obtained. The total solar flux oscillations (not registered earlier) with periods range 6–15 min. and amplitudes of 10^{-4} order of its value were detected when solar activity became more intense.



Склярлов Юрий Андреевич – родился в январе 1931 года в Ставропольском крае. Окончил физический факультет Саратовского госуниверситета (1953). Кандидат физико–математических наук (1965). Доктор технических наук по специальности геофизика, физика атмосферы (1984). Профессор, зав. кафедрой метеорологии и климатологии СГУ. Действительный член Международной АН Высшей школы по направлению «Физика космического пространства». Основные научные интересы в области астрономии, актинометрии, солнечно–земных связей. Является Главным конструктором и руководителем программы «Измеритель солнечной постоянной». Созданная под его руководством аппаратура работала на двух ИСЗ. Ю.А. Склярловым лично и в соавторстве опубликовано 5 монографий и книг, в том числе издана на английском языке монография А.А. Кmito, Yu.A. Sklyarov «Pyrheliometry». New Delhi: Oхonian Press. PVT LTD, 1987. Автор и соавтор более 150 научных работ, из которых 15 опубликовано за рубежом, имеет 12 патентов и авторских свидетельств на изобретения.



Двинских Василий Александрович – родился в 1927 году. Окончил Московский энергетический институт (1951). Профессор кафедры электро– и радиотехники. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико–математических наук в Харьковском государственном университете (1960) по автоколебательным системам. Опубликовал две монографии и более двухсот статей по исследованию автоколебательных систем.



Бричков Юрий Иванович – родился в 1946 году в Ярославской области, окончил Саратовский госуниверситет (1968). После окончания СГУ работал в НИИ ГРП г. Рязани, с 1970 года работает в НИИ механики и физики СГУ. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико–математических наук (1979) в Главной геофизической обсерватории по специальности геофизика, физика атмосферы. Заведующий лабораторией астрономических и геофизических исследований. Область научных интересов – пиргелиметрия, исследования составляющих радиационного баланса Земли с летательных аппаратов. Автор и соавтор более 50 публикаций в отечественных и зарубежных изданиях.



Воробьев Владимир Анатольевич – родился в Саратове в 1958 году, окончил Саратовский госуниверситет (1980). После окончания СГУ работает в НИИ механики и физики СГУ, в настоящее время – в должности научного сотрудника. Область научных интересов – автоматизация актинометрических измерений, исследования составляющих радиационного баланса Земли с летательных аппаратов. Автор и соавтор ряда статей в отечественных и зарубежных изданиях.



Котума Александр Иванович – родился в Куйбышеве в 1973 году. Окончил Саратовский госуниверситет (1995). В настоящее время аспирант кафедры метеорологии и климатологии СГУ. Область научных интересов – изучение компонентов радиационного баланса Земли по данным спутниковых измерений.