

В. М. Федоров

Исторические этапы в изучении многолетних вариаций солнечной активности

Обобщены результаты истории изучения многолетних вариаций солнечной активности за четыре столетия. В истории исследований выделены два основных направления: история наблюдений солнечной активности (с начала XVII века до настоящего времени) и история непосредственных измерений (с начала XX века до настоящего времени). При этом история измерений многолетних вариаций солнечной активности (солнечной постоянной) подразделяется на хронологические этапы, отражающие различные физико-технические уровни измерений (с земной поверхности, из атмосферы, из космоса).

От Солнца поступает солнечная радиация, которая обеспечивает Землю теплом и светом. Солнечная энергия является основной для развития гидрометеорологических и многих других процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере, на земной поверхности и развития жизни на Земле. Поэтому изучение изменений активности источника энергии происходящих в географической оболочке Земли процессов и обеспечивающего существование жизни на планете имеет важное значение в естественнонаучных исследованиях.

Солнце непрерывно излучает в мировое пространство энергию, мощность потока которой приблизительно составляет $3,94 \cdot 10^{26}$ Вт. На диск Земли приходится часть этой энергии равная произведению солнечной постоянной на площадь большого круга Земли. При среднем радиусе Земли равном 6371 км, площадь большого круга составляет $1,275 \cdot 10^{14}$ м², а приходящая на нее лучистая энергия равна $1,743 \cdot 10^{17}$ Вт. Годовой приход солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы Земли составляет $5,49 \cdot 10^{24}$ Дж. (Дроздов и др., 1989; Хромов, Петросянец, 2006; Абдусаматов, 2009). Этот приход не является постоянным, он подвержен многолетним вариациям, которые происходят на фоне вековых тенденций.

Многолетние вариации, поступающей к Земле, солнечной радиации, в основном, определяются двумя причинами, имеющими различную физическую природу. Одной из причин является изменение активности в излучении Солнца. Другой причиной, определяющей многолетние вариации солнечной радиации, являются небесно-механические процессы, вызывающими изменения элементов земной орбиты (Федоров, 2012). В статье излагается история изучения многолетних вариаций, связанных с изменением излучающей активности Солнца.

История изучения солнечных пятен

В истории исследований излучательной способности Солнца (солнечной активности) можно выделить два основных этапа. Первый (с начала XVII до настоящего времени) отражает научные наблюдения за состоянием солнечной активности. Второй (с начала XX века до настоящего времени) этап включает еще и непосредственные измерения солнечной радиации. Эти основные этапы подразделяются на отдельные исторические фрагменты, маркируемые во времени характерными физико-техническими реперами.

Относительно регулярные наблюдения Солнца ведутся на протяжении почти четырех столетий. В результате этих наблюдений был определен 11-ти летний цикл солнечной активности, проявляющийся в квазипериодическом изменении числа солнечных пятен и составляющий основу представлений о Солнце и многих явлениях солнечно – земной физики (рис. 1). Эта цикличность в образовании пятен на Солнце является наиболее извест-

ным эффектом; она достаточно хорошо документирована и в астрономии представляет собой широко наблюдаемое явление. Однако, следует отметить, что непрерывные и достаточно точные ряды наблюдений солнечных пятен имеются только для периода немногим более ста лет. Данные для эпохи ранее 1850 года оказываются в значительной степени неопределенными. Для более отдаленных эпох существует мало или вообще нет доказательств того, что современный 11-ти летний цикл – постоянное солнечное явление. (Эдди, 1980 а, б). Тем не менее, солнечные пятна – это наиболее легко наблюдаемый индикатор уровня солнечной активности и источник наиболее длительно регистрируемых непосредственных данных об истории Солнца (Витинский, 1983; Foukal, 2004).

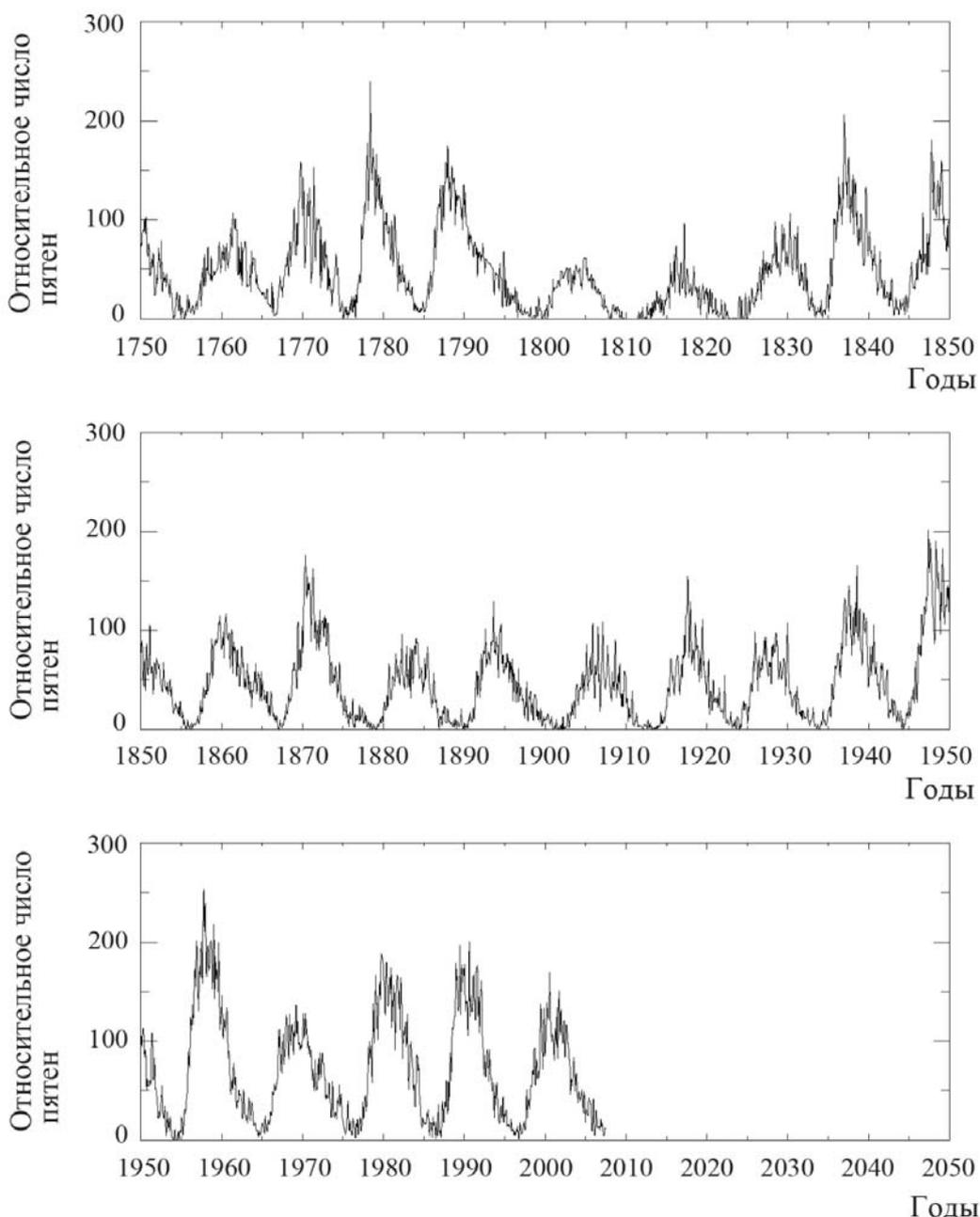


Рис. 1. Распределение солнечных пятен (<http://www.thesis.lebedev.ru/>).

Достоверно известно, что телескоп был изобретен в Голландии в 1608 году. Исследование небесных объектов с помощью телескопа начали почти одновременно английский математик Томас Гарриот, немецкий ученый Симон Мариус и Галилей. Свои первые

телескопические наблюдения Галилей обнаружил в начале 1610 года в книге «Sidereus Nuntius» («Звездный вестник»). Это были результаты телескопических наблюдений Луны, открытие четырех спутников Юпитера. Также Галилеем наблюдались в телескоп Венера и Сатурн. Ряд телескопических открытий завершился открытием темных пятен на Солнце. По собственному утверждению Галилея, он впервые заметил их в конце 1610 года (Берри, 1904) но, по-видимому, не обратил на них особенного внимания (в письме от 4 мая 1612 года он пишет, что наблюдал их восемнадцатью месяцами ранее; в «разговоре о двух системах» он отмечает, что видел их еще в то время, когда читал лекции в Падуе, т.е. не позже сентября 1610 года). Однако формальное объявление об открытии пятен на Солнце было сделано Галилеем в мае 1612 года, когда это открытие было сделано независимо от него Томасом Гарриотом в Англии, Иоаном Фабрицием в Голландии и иезуитом Христофором Шейнером в Германии, и обнаружено Фабрицием в июле 1611 года (Берри, 1904). Именно Шейнеру принадлежит честь открытия факелов, кроме того он произвел ряд наблюдений над движениями и появлением пятен (Берри, 1904). Собственно солнечные пятна наблюдались и ранее невооруженным глазом, но их происхождение объясняли прохождением Меркурия по диску Солнца.

О цикличности проявления появления солнечных пятен не было известно до 1843 г., когда немецкий астроном – любитель Генрих Швабе указал на явную 10-ти летнюю периодичность, выявленную на основании его 17-ти летних наблюдений. Это открытие, тем не менее, оставалось незамеченным до тех пор, пока известный немецкий географ Александр Гумбольдт не опубликовал выводы Швабе (по 25-ти летним наблюдениям) в своем многотомном труде «Космос», изданном в 1851 году (Гумбольдт, 1866; Силкин, 1967; Максимов и др., 1970).

С учетом полученных Швабе (и ставших известными) результатов, была разработана международная программа наблюдений Солнца (продолжающихся в настоящее время). Основной целью этой программы стали исследования и наблюдения для определения того, является ли, найденная Швабе цикличность реальным и непрерывным эффектом. Инициатором и организатором этих наблюдений был Рудольф Вольф из цюрихской обсерватории (его показатель чисел солнечных пятен - индекс или числа Вольфа - используется и в настоящее время). Вольф провел обширные исследования исторических данных о регистрации солнечных пятен для определения существования цикла в прошлом. После длительных и целенаправленных исследований им были собраны исторические доказательства, относящиеся к промежутку времени между наблюдениями Швабе и открытием пятен при помощи телескопа (в начале XVII в.). Вольф пришел к заключению, что 11-ти летний цикл действительно существовал, начиная с 1700 г., а возможно и раньше. Восстановленные им числа солнечных пятен за этот ранний период признаны реальными во всех последующих работах, посвященных истории Солнца. Более половины данных, приведенных на рис.1, являются результатом этих исследований Вольфа.

Относительное число солнечных пятен (индекс Вольфа – W) вычисляется, как сумма числа пятен (a) и удесятеренного числа всех групп пятен (b), т.е. $W = a + 10b$ (Эйгенсон и др., 1948; Витинский, 1983). Или $R = k(f + 10g)$ где f – число отдельных пятен, которые объединяются в g групп, k – эмпирический коэффициент (Кондратьев, 1954, 1965; Бакулин и др., 1983; Абдусаматов, 2009). Важность этого индекса определяется, во-первых, его простотой. Во-вторых, тем, что его значения, благодаря работам Вольфа, из-

вестны с 1700 года – годовые данные или с 1749 г. – месячные данные (Chernosky, Nagan, 1958; Эйгенсон, 1963; Кондратьев, 1965; Климишин, 1976).

Около 160 лет назад было установлено, что 11-ти летний цикл солнечной активности проявляется не только в изменении числа солнечных пятен (факельных площадок и солнечных вспышек), но и в изменении во времени широты групп пятен (рис.2). В 1852 году три исследователя: Эдуард Сабин в Англии, Рудольф Вольф и Альфред Готье из Швейцарии, независимо друг от друга, обратили внимание на определенное соответствие между периодическими изменениями солнечных пятен и земными магнитными явлениями. Кроме того, что их периоды одинаковы, неизменно случается так, что в эпохи с большим количеством солнечных пятен на Земле отмечаются сильнейшие магнитные бури. Также совпадают и периоды ослабления этих явлений (Берри, 1904).

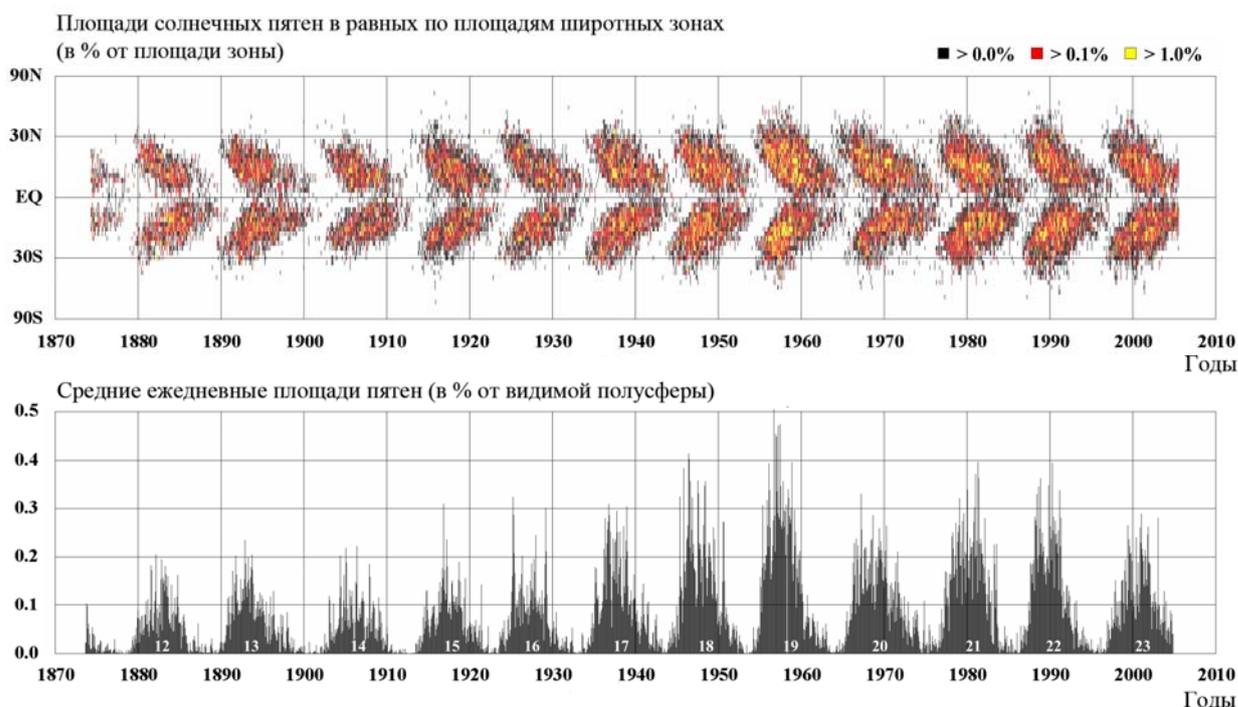


Рис. 2. Характер изменения широты групп пятен в ходе 11-летнего цикла числа пятен (<http://science.nasa.gov>; <http://www.thesis.lebedev.ru/>).

Это распределение было изучено английским исследователем Солнца Ричардом Кэррингтоном (результаты опубликованы в 1863 году в монографии «Наблюдение пятен на Солнце») из Королевской обсерватории Гринвича (Royal Greenwich Observatory). Он обнаружил, что в начале 11-ти летнего цикла пятна обычно появляются в высоких широтах (в среднем на расстоянии $\pm 25 - 30^\circ$ от солнечного экватора), тогда как в конце цикла они концентрируются вблизи экватора (в среднем на широтах $\pm 5 - 10^\circ$). Позже (1880 г.) этот эффект был детальнее исследован немецким ученым Густавом Шпёрером. Оказалось, что среднюю продолжительность 11-ти летнего цикла можно определить гораздо, точнее, по изменению широты групп солнечных пятен, чем по вариациям чисел Вольфа. Исследования Кэррингтона и Шперера показывающие характер изменения широты групп пятен в ходе 11-ти летнего цикла числа пятен, наряду с открытием Швабе – Вольфа 11-ти летнего цикла образования пятен представляют основные, достоверно известные закономерности в многолетней изменчивости солнечной активности (Эйгенсон и др., 1948; Витинский, 1983; Foukal, 2004; Абусаматов, 2009).

В конце XIX века Густав Шпёрер и Эдвард Маундер при изучении архивов наблюдения Солнца обратили внимание на приблизительно 70-ти летний период (с середины XVII века) когда сообщений о солнечных пятнах практически не было (Eddy, 1976). В опубликованных позже статьях Маундер сделал вывод о том, что в течение этого времени, примерно, с 1645 по 1715 гг., нормальный солнечный пятнообразовательный цикл был полностью или почти полностью подавлен. Он указал, что это явление, если оно реально, заставляет сомневаться в отношении постоянного характера 11-ти летнего цикла солнечной активности.

Более поздние исследования этого вопроса подтвердили справедливость вывода Маундера и выявили некоторые дополнительные факты неизвестные во времена Маундера (например, по изучению частоты полярных сияний, для которой характерна высокая корреляционная связь с уровнем солнечной активности, изотопного состава льда и т.д.). В течение всего периода (с 1645 по 1715 гг.) солнечная активность характеризовалась уровнями более низкими, чем минимумы современных циклов. Поскольку относительные значения чисел пятен в этот период изменялись в пределах от 0 до 5, не представляется возможным выделить их максимальное значение, и вопрос о существовании 11-ти летнего цикла для этого периода, таким образом, остается открытым.

Регулярные наблюдения магнитных полей солнечных пятен, открытые в начале прошлого столетия (1913 г.) американским астрономом Дж. Хейлом привели к признанию реальности 22-х летнего цикла солнечной активности. Для 14-го (по цюрихской нумерации) цикла Хейл определил, что полярность магнитных полей ведущих (хвостовых) пятен северного (южного) полушария Солнца изменяется на противоположную при переходе от одного 11-ти летнего цикла к другому (Струве и др., 1967). Первоначальная полярность восстанавливается, следовательно, через 22 года. В дальнейшем такие изменения наблюдались в течение всех последующих 11-ти летних циклов. В соответствие с цюрихской нумерацией, в нечетных циклах полярность магнитного поля ведущих пятен групп северного полушария положительная (северная), а в четных циклах – отрицательная (южная). В южном полушарии отмечается противоположная картина (Anderson, 1939).

Таким образом, 11-ти летний и 22-х летний циклы солнечной активности считаются надежно установленными (для настоящего времени). Существование более длинных циклов солнечной активности является пока предположением. Так, например, рядом исследователей выделяется вековой (80 – 90-летний) цикл солнечных пятен – цикл Глейсберга (Gleissberg, 1958; Эйгенсон, 1963; Абдусаматов, 2009). Наиболее четко 80 – 90-летняя вариация выделяется по сумме среднегодовых чисел Вольфа в 11-ти летнем цикле или по максимальным их значениям. С 1749 года по среднегодовым относительным числам пятен было выделено два минимума и три максимума вековых циклов. Согласно цюрихской нумерации 11-ти летних циклов, минимумы были в 6-м и 14-м циклах, а максимумы в 3-м, 9-м и, вероятно, в 19-м циклах. При разложении чисел Вольфа на их основные составляющие – число групп пятен и среднюю продолжительность их существования, оказывается, что первая в основном показывает изменения со средним периодом 11 лет, а вторая – со средним периодом 80 – 90 лет. Из этого следует, что 11-ти летний цикл характерен для частоты явлений солнечной активности, а вековой – для их мощности (амплитуды). Однако окончательно вопрос о существовании вековой вариации солнечной активности (и солнечной постоянной) не решен. Отдельными исследователями отмечается суще-

ствование вариаций солнечной активности и с более длительными периодами, например 200-летний цикл Зюсса (Schove, 1955; Абдусаматов, 2009).

В настоящее время ряд организаций проводит сбор данных и регулярные наблюдения солнечного цикла, и подсчет числа пятен на Солнце. Например, Solar Influences Data Analysis Center (SIDC) в Бельгии (<http://www.sidc.be>; <http://www.icsu-fags.org/ps11sidc.htm>). В этом отделе физики Королевской обсерватории определяется так называемое международное число солнечных пятен – International Sunspot Number. Кроме этого подсчет числа пятен ведется в National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) в США (<http://www.noaa.gov>). Число пятен, определяемых в Национальном управлении океанических и атмосферных исследований, имеет название NOAA sunspot number.

Измерения солнечной постоянной

История измерений солнечной постоянной включает измерения с земной поверхности, из атмосферы (с самолетов и аэростатов) и внеатмосферные измерения (со спутников и ракет) (Поток энергии Солнца и его изменения, 1980). В метеорологии радиометрические измерения начались в конце XIX столетия. Для решения проблемы точности и обеспечения возможности сравнения результатов измерений на различных приборах и на различных станциях, были введены специальные радиометрические шкалы. В течение многих лет эти стандарты или шкалы подвергались ряду ревизий, отражающих усовершенствования в радиометрии. До середины прошлого столетия обычно использовались две такие шкалы: Онгстрёма (1905 г.) и Смитсоновская шкала (1913 г.). Накануне Международного геофизического года была введена новая Международная пиргелиометрическая шкала (МПШ, 1956), основанная на этих шкалах.

В начале прошлого столетия в Смитсоновской астрофизической обсерватории начали проводить серию высокогорных измерений солнечной постоянной. Согласно полученным (более чем за полвека) данным вариации солнечной постоянной составили от 0,1 до 1%. Проведенными измерениями также обнаружено долговременное увеличение среднего значения солнечной постоянной примерно на 0,25% за 50 лет (Abbot, 1957). Анализ полученных результатов за четыре солнечных цикла (с 1908 по 1952 гг.) показал, что пределы возможных вариаций солнечной постоянной находятся в диапазоне $\pm 1\%$ (от средней величины солнечной постоянной). Это было подтверждено и повторным анализом полученных в Смитсоновской обсерватории результатов. Средняя многолетняя величина солнечной постоянной, полученная в Смитсоновской обсерватории составила $1,94 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ или 1352 Вт/м^2 (Кондратьев, 1965; Макарова и др., 1991).

Исторически первые прямые измерения солнечной постоянной вне тропосферы были выполнены в Ленинградском университете в 1961 году (группой под руководством К.Я. Кондратьева). Комплекс приборов поднимался аэростатом на высоту до 32 км. Всего до 1967 года было проведено 28 подъемов аэростата. Методика наблюдений и результаты подробно изложены в ряде публикаций (Кондратьев, 1965; Кондратьев и др., 1966; Кондратьев, Никольский, 1970, 1982; Макарова, Харитонов, 1972; Поток энергии Солнца и его изменения, 1980). В результате этих измерений была обнаружена весьма заметная вариация солнечной постоянной (2,5%). Значение солнечной постоянной по результатам всего комплекса измерений составило $1356 \pm 14 \text{ Вт/м}^2$.

В 1966 году Лабораторией реактивного движения (калифорнийский технологический институт) и лабораторией Эппли была предложена программа измерений солнечной

постоянной в рамках выполнения которой Драммондом (Drummond) было получено среднее значение солнечной постоянной по результатам шести полетов на реактивном исследовательском самолете NASA равное 1359 ± 13 Вт/м². В 1968 году Кендалл (Kendall) провел измерения с радиометром PACRAD с борта самолета NASA. Окончательное значение полученное в результате этих измерений оказалось равным 1373 ± 14 Вт/м². Среднее значение по всем измерениям с самолетов составило 1378 ± 26 Вт/м².

В период 1968 – 1969 гг. Р. Уилсоном (Willson) также были проведены аэростатные измерения солнечной постоянной. Среднее значение солнечной постоянной (по трем аэростатным измерениям) составило 1373 ± 14 Вт/м². В 1969 году им же было выполнено определение солнечной постоянной вблизи максимума цикла № 20 и получено значение равное 1369 Вт/м². Точность аэростатных измерений оценивается величиной 0,2 – 0,5% (Willson, 1972, 1973, 1978; Фрелих, 1980).

Измерения вариаций солнечной постоянной с использованием космических аппаратов обладают большей достоверностью, прежде всего, в связи с тем, что они проводятся за пределами земной атмосферы. Эти измерения, во-первых, исключают атмосферную экстинкцию (поглощение и рассеяние) и, во-вторых, осуществляются в течение многих суток. Первое длительное измерение солнечной постоянной за пределами земной атмосферы выполнено в эксперименте, поставленном Лабораторией реактивного движения на искусственных спутниках Земли «Маринер – 6» и «Маринер – 7» в 1969 году. Измерения показали, что величина солнечной постоянной не изменялась больше чем в пределах точности измерений (около $\pm 0,25\%$) вблизи максимума солнечного цикла, причем в течение этого времени суточное число солнечных пятен принимало как экстремально большие, так и экстремально малые значения (Уилсон, Хики, 1980; Willson et al., 1980; Макарова и др., 1991).

В соответствии с реализацией программы эксперимента «Радиационный баланс Земли» (ERB), проведенного с борта космического аппарата «Нимбус – 6» запущенного в 1975 г. были получены значения солнечной постоянной в диапазоне от 1388 до 1392 Вт/м². В 1976 году проводились одновременные измерения солнечной постоянной с зондирующей ракеты (высота около 100 км) и космического аппарата «Нимбус – 6». Среднее значение по ракетным данным составило 1376 ± 7 Вт/м², по данным космического аппарата – 1376 ± 14 Вт/м². С учетом поправок абсолютное значение определяется в 1367 Вт/м² (это значение солнечной постоянной принято нами в [методике расчета](#) солнечной радиации поступающей на поверхность земного эллипсоида в отсутствии атмосферы). Эта величина сравнима со значением 1369 Вт/м², полученным Уилсоном в 1969 г. Поскольку эти два измерения, совершенные в минимуме и максимуме солнечной активности, согласуются в пределах ошибок абсолютного радиометра, то это показывает, что солнечная постоянная оставалась неизменной в пределах 0,75% в течение второй половины цикла № 20 (Уилсон, Хики, 1980). Среднее значение скорректированных величин солнечной постоянной, полученных при измерениях с помощью самолетов, ИСЗ «Маринер - 6», «Маринер - 7», «Нимбус – 6» и ракет («Аэробы») составило для периода 1962 – 1980 гг. 1369 ± 6 Вт/м² (Макарова и др., 1991). Данные ракетных наблюдений солнечной постоянной проведенных в 1976 году с помощью четырех абсолютных радиометров различной конструкции приводятся в работе Кондратьева и Никольского (1982). Значение, осредненное по записям трех согласованных радиометров, оказалось равным 1367 ± 6 Вт/м².

По оценкам Фрëлиха (Fröhlich), основанным на обзоре всех измерений, выполненных с помощью самолетов, аэростатов и космических аппаратов наиболее вероятное значение солнечной постоянной равно $1373 \pm 20 \text{ Вт/м}^2$ (Фрëлих, 1980). Это среднее сравнимо со средневзвешенным значением $1370 \pm 1 \text{ Вт/м}^2$ которое было получено по всем измерениям, включая данные ракетного эксперимента в 1976 г. и исправленные данные эксперимента ERB («Нимбус – 6»). При учете всех данных за 1976 г. величина солнечной постоянной была заключена в диапазоне $1368 - 1379 \text{ Вт/м}^2$. При этом отмечается, что данные измерений с аэростата и самолета заметно отличаются от данных космических измерений (табл. 1).

Табл. 1. Сравнение результатов определения солнечной постоянной, полученных различными экспериментальными методами (Фрëлих, 1980).

Метод наблюдений	Солнечная постоянная, Вт/м ² .
Аэростат	1379 (± 3)
Самолет	1379 (± 3)
Космический аппарат	1368 (± 2)
Средневзвешенное значение	1370 (± 1)

Числа в скобках соответствуют стандартным отклонениям от средневзвешенных значений. Измерения при помощи самолета производятся на высотах 10 – 12 км, на аэростатах – 20 – 36 км.

Начиная с запуска американских спутников «Нимбус – 7» (1978 г.), а затем и SMM (1980 г.), оснащенных полостными радиометрами (радиометр Н – F из серии ЕРБ и активный полостной радиометр АКРИМ соответственно), начался новый этап в измерении солнечной постоянной (рис. 3)

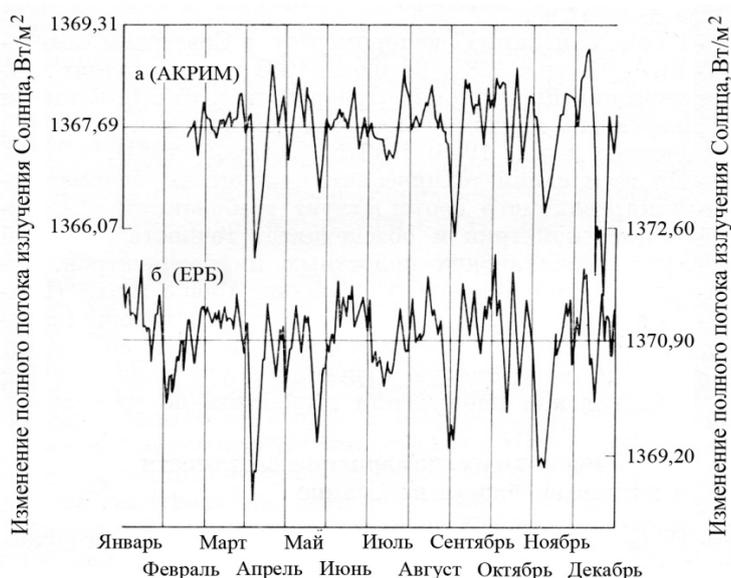


Рис. 3. Сопоставление полных потоков солнечного излучения, измеренных в 1980 году на спутниках SMM (а) и «Нимбус – 7» (б) по Макаровой и др., 1991.

Впервые за всю историю определения солнечной постоянной ее измерения достигли точности в сотые доли процента (Willson, 1978, 1982, 1984 а, б; Willson, Hudson, 1988,

1991; Pap., Fröhlich, 1999; Willson et al., 1981; Fröhlich et al., 1991; Livingston et al., 1991; Fröhlich, 1988, 1989, 2000). Совершенствование измерений солнечной постоянной в это время определяется в основном тремя факторами: усовершенствованием измерительных приборов (пиргелиометры) и увеличением точности каждого измерения; выносом приборов за пределы атмосферы (чем полностью устранен важнейший источник ошибок наземных наблюдений – атмосферная экстинкция); автоматизацией наблюдений и широким применением компьютерной техники. В результате достигнута высокая внутренняя точность наблюдений на одном и том же спутниковом приборе в $\pm 0,3 - 0,7 \text{ Вт/м}^2$, что составляет 0,02 – 0,05% значения солнечной постоянной (Макарова и др., 1991). Необходимость такой точности определяется полученными результатами, подтверждающими весьма малые изменения потока солнечного излучения.

При достигнутой внутренней точности и обязательном применении контроля чувствительности оказалось возможным определить точное значение солнечной постоянной и наблюдать ее вариации – суточные, недельные и более долговременные (например, спутниковые наблюдения в экспериментах по измерению солнечной постоянной для программы NASA по исследованию активного Солнца и для космической программы «Шатл»). При этом, наиболее информативный материал был получен с «Нимбуса – 7» (запущен в ноябре 1978 года) и SMM - Solar Maximum Mission (запущен в феврале 1980 года). Абсолютное значение солнечной постоянной в рассматриваемый период было заключено в пределах $1367 - 1373 \text{ Вт/м}^2$, а среднее значение – $1370,59 \text{ Вт/м}^2$ – в шкале прибора ЕРБ на «Нимбусе – 7» и $1370,62 \text{ Вт/м}^2$ – на SMM. Определено уменьшение солнечной постоянной от максимума 21-го цикла (1980 г.) к его минимуму (1986 г.) примерно на 0,15%, или 2 Вт/м^2 . Годовой ход в среднем составил 0,02% (Willson, 1984 а, б; Макарова и др., 1991).

К настоящему времени получен непрерывный ряд непосредственных измерений солнечной постоянной выполненных несколькими специальными космическими аппаратами с 1978 года (Chapman et al., 1996; Willson, 1997; Willson, Mordvinov, 2003). Эти (технически сложные) измерения выполнены для трех полных циклов солнечной активности (21 – 23) и продолжаются в текущем 24 цикле (рис. 4).

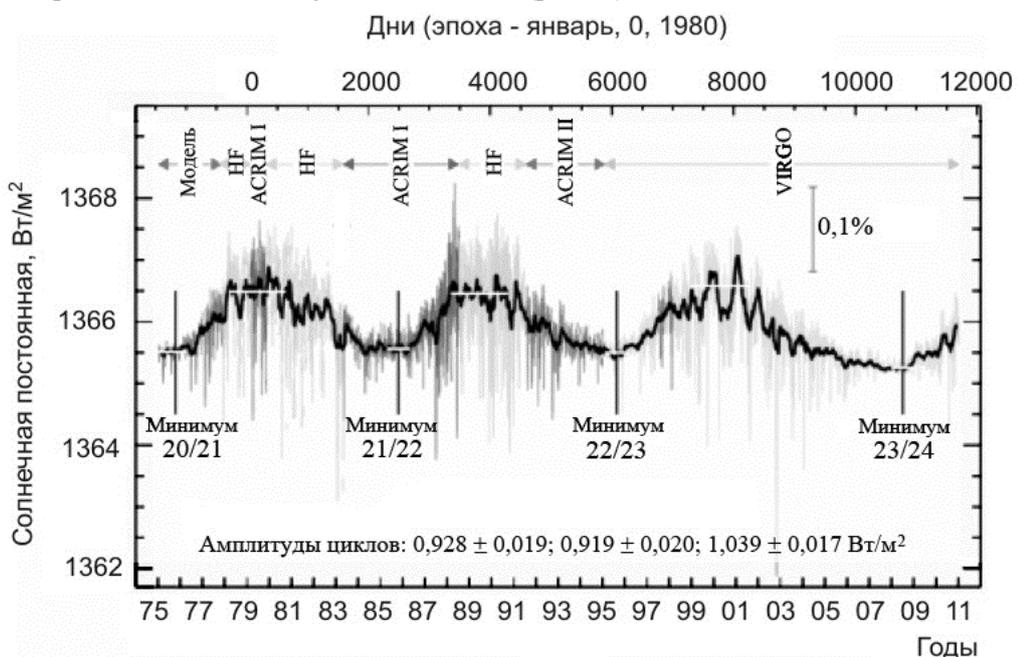


Рис. 4. Результаты спутниковых измерений солнечной постоянной.

Данные сайта мирового радиационного центра – World Radiation Center – Швейцария (<http://www.pmodwrc.ch/>)

Амплитуда 11-ти летних сглаженных циклических вариаций солнечной постоянной по данным этих измерений составляет около $1,0 \text{ Вт/м}^2$ или приблизительно 0,07% от среднего значения солнечной постоянной (рис. 4). Среднее для минимумов (21 – 23 циклы) значение составляет $1365,458 \pm 0,016 \text{ Вт/м}^2$, среднее значение солнечной постоянной для 22-го цикла равно $1365,99 \text{ Вт/м}^2$, для 23-го цикла – $1365,82 \text{ Вт/м}^2$ (Абдусаматов, 2009; <http://www.pmodwrc.ch/>).

Таким образом, история изучения многолетних вариаций солнечной активности, насчитывает четыре столетия. Эта история включает две составляющие в исследовании вариаций: наблюдения (с начала XVII века до настоящего времени) и измерения (с начала XX века до настоящего времени). При этом история измерений многолетних вариаций солнечной активности (солнечной постоянной) подразделяется хронологически на этапы, отражающие различные физико-технические уровни измерений (с земной поверхности, из атмосферы, из космоса).

Следует также отметить, что поиски связи 11-ти летней вариации с изменениями климатических характеристик, геофизическими и биофизическими параметрами проводились на протяжении всего периода с момента обнаружения этого цикла солнечной активности (т.е. полутора столетий). Результаты этих исследований отражены в многочисленных публикациях. Однако, в связи с получением малых значений амплитуды солнечной постоянной в 11-ти летнем цикле и нестабильностью амплитудно-периодических характеристик, интерес к исследованию солнечно-земных связей в этом диапазоне в настоящее время существенно снизился. Кроме отсутствия перспектив по модуляции климатических изменений 11-ти летней вариацией солнечной постоянной снижению ее значимости способствовали возрастающая неоднозначность прямых корреляционных сопоставлений при удлинении рядов наблюдений, а также отсутствие убедительных доказательств существования этого цикла в прошлом (его устойчивости во времени).

В проводимых нами исследованиях данные по вариациям солярного климата Земли связанным с изменением активности Солнца не учитываются.

Литература

1. Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли. – СПб: – Логос, 2009. – 197 с.
2. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. – М.: Наука, 1983. – 560 с.
3. Берри А. Краткая история астрономии. – М.: Типография И.Д.Сытина, 1904. – 606 с.
4. Витинский Ю.И. Солнечная активность. – М.: Наука, 1983. – 192 с.
5. Гумбольдт А. Космос (опыт физического мироописания). – М.: Братья Салаевы, 1866. – 408 с.
6. Дроздов О.А., Васильев Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный В.П. Климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
7. Климишин И.А. Астрономия наших дней. – М.: Наука, 1976. – 456 с.
8. Кондратьев К.Я. Лучистая энергия Солнца. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 600 с.
9. Кондратьев К.Я. Актинометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 692 с.
10. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А., Есипова Е.Н. Аэростатные исследования радиационных потоков в свободной атмосфере // Известия АН СССР. – Физика атмосферы и океана, 1966. – т. 2. – № 4. – с. 380 – 393.
11. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А. Вариации солнечной постоянной по аэростатным исследованиям в 1962–1968 гг. // Известия АН СССР. – Физика атмосферы и океана, 1970. – т. 6. – № 3. – с. 227 – 238.
12. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А. Стратосферный механизм солнечного и антропогенного

- влияния на климат / Солнечно-земные связи, погода и климат. – М.: Мир, 1982. – с. 354 – 360.
13. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. – М.: Наука, 1991. – 400 с.
 14. Макарова Е.И., Харитонов А.В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. – М.: Наука, 1972. – 288 с.
 15. Максимов И.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Океан и космос. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 216 с.
 16. Поток энергии Солнца и его изменения / Ред. О.Р. Уайт. – М.: Мир, 1980. – 560 с.
 17. Силкин Б.И. Земля и Солнце. М.: Просвещение, 1967. – 102 с.
 18. Струве О., Линдс Б., Пилланс Э. Элементарная астрономия. – М.: Наука, 1967. – 468 с.
 19. Уилсон Р.К., Хики Дж.Р. Ракетные измерения солнечной постоянной в 1976 г. и данные об изменении потока солнечной энергии за время цикла № 20 / Поток энергии Солнца и его изменения. – М.: Мир, 1980. С. 128 – 133.
 20. Федоров В.М. Теоретический расчет межгодовой изменчивости солнечной постоянной // *Астрономический вестник*, т. 46, № 2, 2012, с. 184 – 189.
 21. Фрëлих К. Современные измерения солнечной постоянной / Поток энергии Солнца и его изменения. Ред. О. Уайт. – М.: Мир, 1980. – с. 110 – 127.
 22. Хромов С.П., Петросянец М.А. Метеорология и климатология. – М.: МГУ, 2006. – 582 с.
 23. Эдди Дж.А. Интегральный поток солнечной энергии / Поток энергии Солнца и его изменения. Ред. О. Уайт. – М.: Мир, 1980 а. – с. 32 – 36.
 24. Эдди Дж.А. Исторические свидетельства существования цикла солнечной активности / Поток энергии Солнца и его изменения. Ред. О. Уайт. – М.: Мир, 1980 б. – с. 64 – 87.
 25. Эйгенсон М.С. Солнце, погода и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 276.
 26. Эйгенсон М.С., Гневышев М.Н., Оль А.И., Рубашев Б.М. Солнечная активность и ее земные проявления. – М.–Л.: Гостехиздат, 1948. – 286 с.
 27. Abbot C.G. Weather and solar variation // *J. Solar Energy Sci. and Eng.*, 1957. – v. 1. – pp. 3 – 5.
 28. Anderson S.N. A representation of the sunspot cycle // *Bell. System Tech. J.*, 1939. –v. 18. – pp. 292 – 299.
 29. Chapman G.A., Cookson A.M., Dobias J.J. Variations in total solar irradiance during solar cycle 22 // *J. Geophys. Res.*, 1996. – v. 101. – pp. 13541 – 13548.
 30. Chernosky E.J., Hagan M.P. The Zurich sunspot number and its variations for 1700–1957 // *J. Geophys. Research*, 1958. – v. 63 (4). – pp. 775 – 788.
 31. Eddy J.A. The Maunder Minimum // *Science*, 1976. – v. 192. – pp. 1189 – 1202
 32. Foukal P.V. *Solar astrophysics*. – 2nd rev. ed. – Weinheim: Wiley-VCH, 2004. – 480 p.
 33. Fröhlich C., Foukal P.V., Hickey J.R., Hudson H.S., Willson R.C. Solar irradiance variability from modern measurements / *The Sun in Time*. – Univ. of Arizona Press. – Tucson., AZ., 1991. – pp. 11 – 29.
 34. Fröhlich C. Observations of irradiance variability // *Space Science Reviews*, 2000. – v. 94. – pp. 15 – 24.
 35. Fröhlich C. Variability of the solar constant. – In: *Long and Short-Term Variability of Climate*. – New York.: Springer – Verlag, 1988. – pp. 6 – 17.
 36. Fröhlich C. Solar Irradiance Variability // *Atmospheric Research.*, 1989. – v. 23. – pp. 379 – 390.
 37. Gleissberg W. The eighty-year sunspot cycle // *J. Brit. Astron. Assoc.*, 1958. – v. 68. –pp. 148 – 152.
 38. <http://science.nasa.gov>
 39. <http://www.sidc.be>; <http://www.icsu-fags.org/ps11/sidc.htm>
 40. <http://www.thesis.lebedev.ru/>
 41. <http://www.pmodwrc.ch/>
 42. Livingston W., Donnelly R., Grigoryev V., Demidov M., Lean J., Steffen M., White O., Willson R. Total irradiance variability 1980–1988 / *The Sun as a Star*. Ed. By W. Livingston. – Univ. of Arizona Press. – Tucson, AZ, 1991. – pp. 1109 – 1160.
 43. Pap J.M., Fröhlich C. Total solar irradiance variations // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 1999. – v. 61. pp. 15 – 24.
 44. Schöve D.J. The sunspot cycle, 649 B.C. to A.D. 2000. // *J. Geophys. Research*, 1955. –v. 60. – pp. 127 – 146.
 45. Willson R.C. Accurate solar «constant» determinations by cavity pyrheliometers // *J. Geophys. Res.*, 1978. – 83 (C8). – pp. 4003 – 4007.
 46. Willson R.C. Experimental comparisons of the International Pyrheliometric Scale with the Absolute

Radiation Scale // Nature, 1972. – 239. – pp. 208 – 223.

47. Willson R.C. New radiometric techniques and solar constant measurements // J. Solar Energy, 1973. – 14. – pp. 203 – 207.

48. Willson R.C., Duncan C.H., Geist J. Direct measurement of solar luminosity variation // Science, 1980. – 207. – pp. 177 – 229.

49. Willson R.C. Solar irradiance variations and solar activity // J. Geoph. Res., 1982. – 86. – pp. 4319 - 4326.

50. Willson R.C. Measurement of solar total irradiance and its variability // Space Science Reviews, 1984 a. – 38. – pp. 203 – 242.

51. Willson R.C. Solar total irradiance observations by the SMM/ACRIM I experiment, solar irradiance variations on active region timescales. – NASA Conference publication 2310. – 1984 б. – pp. 1 – 42.

52. Willson R.C., Hudson H.S. Solar luminosity variations is solar cycle 21 // Nature, 1988. – 332. – pp. 810 – 812. DOI: 10.1038/332810a0.

53. Willson R.C., Hudson H.S. The Sun's luminosity over a complete solar cycle // Nature, 1991. – 351. – pp. 42 – 44.

54. Willson R.C., Gulkis S., Janssen M., Hudson H.S., Chapman G.A. Observations of solar irradiance variability // Science, 1981. – 211. – p. 700.

55. Willson R.C., Mordvinov A.V. Secular total solar irradiance trend during solar cycles 21 and 22 // Geophys. Res. Let., 2003. – 30. – 1199–1202. DOI: 10.1029/2002GL016038

56. Willson R.C. Total solar irradiance trend during solar cycles 21 and 22 // Science, 1997. – 277. – pp. 1963 – 1965. DOI: 10.1126/science.277.5334.1963.