

**РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СПОКОЙНОГО СОЛНЦА
НА ВОЛНЕ 3.2 см
И ЕГО СВЯЗЬ С ФАЗОЙ ЦИКЛА
СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

В. Н. Боровик

На большом наблюдательном материале (более 3500 записей Солнца), полученном на Большом пулковском радиотелескопе на волне 3.2 см с разрешением $\sim 1'$ за период 1964—1977 гг., исследуется связь характеристик радиоизлучения спокойного Солнца с фазой цикла солнечной активности. За излучение спокойного Солнца приняты минимальный уровень излучения, принимаемый от Солнца, при отсутствии активных областей на диске. Установлено, что основные характеристики радиоизлучения спокойного Солнца на волне 3.2 см (распределение радиояркости по диску и поток радиоизлучения) не меняются с фазой цикла солнечной активности. Показано, что замеченные ранее циклические изменения уровня *B*-компоненты (постоянной составляющей) радиоизлучения Солнца на волне 3.2 см связаны с влиянием локальных источников *S*-компоненты, которые при статистических способах разделения компонент солнечного радиоизлучения оказываются отнесенными к *B*-компоненте.

The connection between the characteristics of the quiet Sun radioemission at the wavelength of 3.2 cm and the phase of the solar activity cycle is discussed. More than 3500 records of the Sun received during the 1964—1977 years with the help of Large Pulkovo radiotelescope with the resolution about 1 min. of arc were used. The quiet Sun radioemission was accepted as the minimum level of the solar radiation, when the active regions on the disk were absent. It is shown that the main characteristics of the quiet Sun radioemission (the brightness temperature distribution and the flux) don't change during the solar activity cycle. The cycle variations of the *B*-component of the solar radioemission, mentioned in the previous statistical investigations on this region, are due to the emission of the local sources of the *S*-component.

Радионаблюдения спокойного Солнца и исследования его характеристик в разные фазы цикла солнечной активности дают ценную информацию о строении невозмущенной солнечной атмосферы и об изменении ее состояния в течение цикла.

Основная трудность при решении этой задачи заключается в способе выделения из общего потока радиоизлучения Солнца компоненты, связанной с невозмущенным Солнцем.

Согласно общепринятой терминологии, в радиоизлучении Солнца выделяют три компоненты: *B*-компонента, или так называемая постоянная составляющая солнечного радиоизлучения, связанная с невозмущенной солнечной атмосферой, *S*-компонента, или медленно меняющаяся составляющая, обусловленная излучением локальных источников над активными центрами; спорадическая компонента.

За поток спокойного Солнца принято считать минимальное значение *B*-компоненты, которое соответствует потоку от Солнца в годы минимума солнечной активности при условии полного отсутствия активных областей на диске.

Очевидно, что наиболее прямой и надежный способ изучения компоненты солнечного радиоизлучения, связанного со спокойной атмосферой, — это наблюдения Солнца с высоким пространственным разрешением,

когда имеется возможность уверенно разделить излучение, идущее от активных и спокойных областей на диске.

Полученные к настоящему моменту сведения, касающиеся постоянной составляющей радиоизлучения Солнца, основаны на статистических методах исследования интегральных потоков Солнца, которые заключаются в том, что ежедневно измеряемые потоки сопоставляют с одним из оптических индексов солнечной активности (числом или площадью пятен, суммарной площадью пятен и флоккул и др.) и величина B -компоненты находится на корреляционной диаграмме, отражающей связь потока F с выбранным индексом солнечной активности A , как величина потока F_0 , соответствующая нулевому значению индекса A .

В диапазоне 3 см в работах [1—7] исследовалось, как зависят от фазы цикла солнечной активности свойства B -компоненты, статистически выделенной на основе анализа интегральных потоков Солнца, регулярно измеряемых на станциях Тоуакэва (Япония) и в Институте Генриха Герца (ГДР), и общий вывод был таков, что уровень B -компоненты не сохраняется постоянным в течение цикла, а возрастает в указанном диапазоне от эпохи минимума к эпохе максимума в 1.10—1.15 раза.

Результаты работ [1—7] относились в основном к 19-му циклу солнечной активности. Если же продолжить подобное исследование, например, на период 1964—1968 гг. и, следуя [1], построить корреляционные диаграммы, связывающие интегральные потоки Солнца на волне 3.2 см [8], с суммарной площадью пятен S_p [9], то можно убедиться, что уровень B -компоненты, определенный как остаточный поток радиоизлучения при $S_p=0$, постепенно меняется с ростом общего уровня активности, возрастая от 1964 г. (год минимума) к 1968 г. (год максимума) в 1.08 раза.

Вопрос заключается в том, какова природа циклической переменности B -компоненты: а) обусловлена ли она локальными источниками S -компоненты, которые оказались в силу недостаточной универсальности выбранного индекса солнечной активности неучтенными при статистическом способе разделения компонент и отнесенными к B -компоненте; б) либо она отражает колебания уровня излучения спокойного Солнца, связанными с общими изменениями в невозмущенной атмосфере Солнца в течение цикла солнечной активности.

Очевидно, что такая задача может быть решена в результате длительных радионаблюдений Солнца с высоким разрешением, позволяющим надежно исключить излучение всех источников S -компоненты и выделить собственное излучение спокойного Солнца. Высокое разрешение реализуется во время солнечных затмений и при наблюдениях на больших радиотелескопах. Однако эпизодичность затмений, различие условий их наблюдений и различие методик обработки затменных кривых затрудняет сравнение результатов отдельных затмений, и выявить зависимость характеристик радиоизлучения Солнца от фазы цикла солнечной активности из затменных наблюдений оказалось трудным.

Так, измеренные во время различных затмений величины эффективных радиодиаметров Солнца в диапазоне 2—4 см обнаруживают большой разброс значений: в [10—11] по результатам затмений 1951—1963 гг. была замечена тенденция уменьшения эффективного радиорадуса Солнца в диапазоне 2—4 см с ростом уровня солнечной активности. Однако опубликованные в последующие годы результаты более поздних затмений не подтвердили этой закономерности [12—15].

Более надежно изучать характеристики постоянной составляющей солнечного радиоизлучения и их изменения в течение цикла можно на основе регулярных однородных наблюдений Солнца на инструменте с высоким разрешением за период, включающий в себя различные фазы цикла солнечной активности. Такой наблюдательный материал полу-

чен в Пулкове на ряде волн в диапазоне 2—9 см по наблюдениям Солнца на Большом пулковском радиотелескопе (БПР) [16].

В настоящей работе используются результаты наблюдений Солнца на БПР на волне 3.2 см, полученные автором с 1964 по 1977 г., т. е. за период, включающий в себя 20-й цикл солнечной активности, в том числе две эпохи минимума. За указанный период было получено около 4000 записей прохождений Солнца через диаграмму БПР, ширина которой на $\lambda=3.2$ см в направлении E—W по уровню 0.5 мощности составляет $\sim 4'$.

При обработке наблюдательного материала ставились следующие задачи.

1. Используя большое число записей, полученных в период минимальной активности Солнца, определить статистически достоверный контур спокойного Солнца, соответствующий минимальному уровню излучения при отсутствии активных областей на диске.

2. Сравнить между собой контуры спокойного Солнца, выделенные на записях для двух периодов с низкой солнечной активностью — 1964—1965 и 1973—1977 гг.

3. На записях, полученных в годы высокой активности Солнца, выделить для отдельных периодов наблюдений контуры *B*-компоненты как минимальные уровни излучения, оставшиеся после исключения локальных источников.

4. Сравнить контуры *B*-компоненты, относящиеся к различным фазам цикла солнечной активности, с контурами спокойного Солнца, выделенными на записях, полученных в годы минимума.

При обработке записей Солнца учитывались следующие обстоятельства:

а) БПР — антенна переменного профиля, имеет сложную диаграмму, зависящую от высоты источника над горизонтом. С высотой источника из-за изменений формы раскрытия, закона облучения отражающих элементов меняется форма диаграммы (ширина главного лепестка и уровень боковых лепестков), а следовательно, и форма записи Солнца как результат свертки распределения радиояркости по диску Солнца с диаграммой антенны;

б) 3.2 см — волна, близкая к критической для БПР, поэтому важно учитывать влияние ошибок поверхности антенны на форму записи Солнца.

В настоящее время природа ошибок поверхности БПР и связанные с ними изменения в диаграмме изучены достаточно подробно (см., например, [17]).

Известно, что различного рода случайные и систематические ошибки основной отражающей поверхности БПР и вторичного облучателя приводят к характерным искажениям записи Солнца, таким как увеличение «подложки», снижение антенной температуры, появление размытого края вместо резкого увеличения сигнала, изменение наклона записи и др.

Основываясь на записях Солнца, полученных непосредственно после юстировок поверхности БПР, и учитывая результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований диаграммы, мы вывели критерий, по которому отбирали записи Солнца, полученные при оптимальной установке антенны. Критерий относился к определению уровня рассеянного фона («подложки») и к крутизне фронта записи. Число записей, отобранных для обработки, составило 20—30% из всего имеющегося наблюдательного материала за 1964—1965 гг. и 50—70% за 1973—1977 гг.

Методика получения среднестатистического контура спокойного Солнца на записях периода минимальной активности Солнца заключалась в следующем: выбирались дни, когда не менее 50% поверхности солнечного диска были свободны от активных областей, при этом особое внимание уделялось отсутствию локальных источников на краю записи Солнца. Гарантией этого служило отсутствие активных областей на лимбе не только в день наблюдения, но и в течение ± 2 дней от выбранного дня.

Для отождествления локальных источников с активными образованиями использовались карты Солнца из бюллетеня «Солнечные данные». В отдельных случаях привлекались записи Солнца, полученные параллельно на БПР на волнах 2.0, 4.5, 6.6, 9.0 см В. Г. Нагнибедой, Н. Г. Петеровой, В. Н. Ихсановой и Ш. Б. Ахмедовым соответственно. На каждой отобранной для обработки записи проводился контур спокойного Солнца как плавная линия, соединяющая минимальные участки записи, соответствующие невозмущенным областям на диске.

Был выбран период, равный 15 ± 5 дням наблюдений, для которого находилась среднестатистический контур спокойного Солнца. Выбор этого интервала был обусловлен следующими соображениями:

а) за это время физические условия наблюдений Солнца (высота над горизонтом, позиционный угол, размеры оптического диска и др.) мало меняются, что позволяет считать, что форма записей Солнца за это время меняется несущественно и можно записи сравнивать между собой;

б) этот отрезок времени достаточно велик, чтобы можно было проследить за перемещением по диску отдельной активной области или участка спокойного Солнца и уверенно выделить их на записях.

Среднестатистический контур спокойного Солнца находили как наиболее вероятный из всех выделенных контуров на записях за рассматриваемый период. Разброс параметров сравниваемых контуров, определяемый в основном недостаточной точным исключением слабых протяженных локальных источников, был во всех случаях невелик и составлял 1—2%.

Всего по записям Солнца, относящимся к периоду 1973—1977 гг., было получено около 50 среднестатистических контуров спокойного Солнца. Сравнение их между собой показало следующее:

1) контуры спокойного Солнца, относящиеся к одному и тому же месяцу, но к разным годам периода 1973—1977 гг., совпадают;

2) контуры, относящиеся к разным месяцам наблюдений, различаются ровно настолько, насколько отличаются теоретически рассчитанные профили свертки диска Солнца с заданным законом распределения радиояркости с диаграммой БПР, которая имеет разную структуру для каждого месяца из-за изменений высоты Солнца над горизонтом. (Диаграмма БПР рассчитывалась по программе [18]);

3) на записях Солнца периода 1964—1965 гг., которые удовлетворяли критерию оптимальной установки антенны, контуры спокойного Солнца также совпали с контурами, полученными на записях 1973—1977 гг. Этот факт хорошо иллюстрирует рис. 1. Здесь приведены реальные записи Солнца, относящиеся к одному и тому же месяцу (сентябрю), но выполненные в разные годы. Низкий уровень активности позволяет на всех приведенных записях уверенно провести контур спокойного Солнца, который с точностью до 1% оказался одним и тем же для данных записей.

Таким образом, по записям Солнца, полученным на БПР в годы низкой активности, было установлено, что форма спокойного Солнца не изменялась от одной эпохи минимума (1964—1965 гг.) до другой (1973—1977 гг.). Этот факт согласуется с постоянством величин потока спокойного Солнца на $\lambda = 3.2$ см, за который принимается минимальное значение интегрального потока в годы минимума солнечной активности.

При обработке записей, относящихся к 1966—1972 гг. — периоду повышенной солнечной активности (включающей и эпоху максимума), ставилась следующая задача: для отдельных периодов наблюдений, включающих в себя 10—20 дней, выделить контур B -компоненты как нижнюю огибающую на совокупности совмещенных друг с другом записей Солнца, предварительно приведенных к одному масштабу. Очевидно, что в этом случае точность проведения контура B -компоненты зависит от точности совмещения записей по обеим координатным осям и правильности выбора коэффициентов при приведении их к одному масштабу, что представляет собой самостоятельную методическую задачу.

Совмещение записей по оси времени проводилось по линии, соответствующей расчетному моменту кульминации Солнца, который не всегда совпадает с положением центра оптического диска на записи из-за смещений электрической оси антенны от расчетного положения, а также при наблюдениях с поперечным выносом облучателя из фокуса.

Анализ записей, полученных в дни с минимальной активностью Солнца, а также результаты наблюдений на БПР дискретных источников показали, что в течение 10—20 дней разница между расчетным моментом кульминации и реально наблюдаемым моментом прохождения центра оптического диска Солнца через диаграмму БПР сохраняется постоянной с точностью до ± 1 мм, что при скорости движения ленты самописца 80 ± 0.5 мм/мин. составляет $0.01 R_{\odot}$.

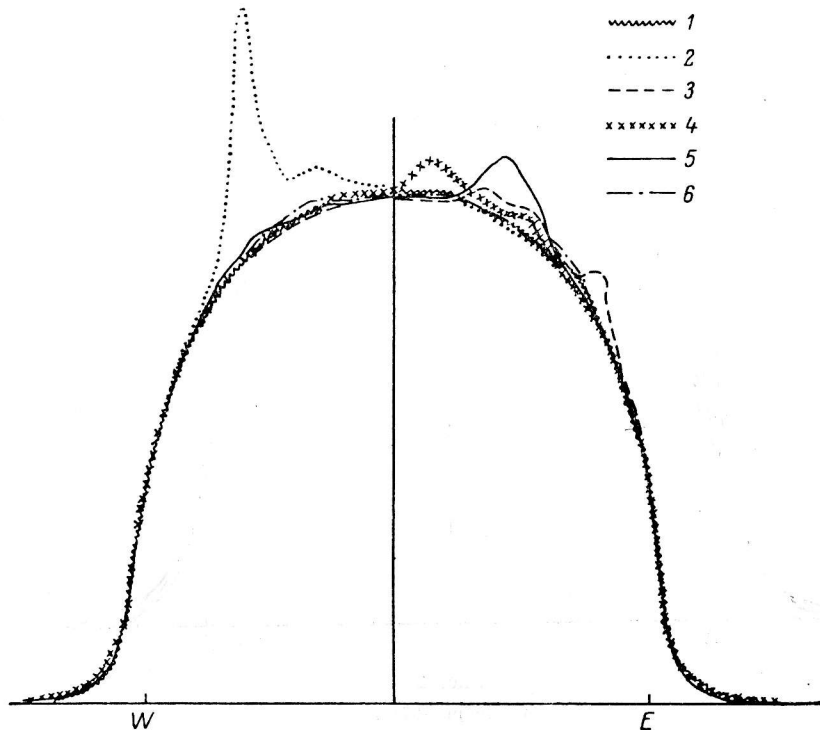


Рис. 1.

1 — 18.9.1964; 2 — 21.9.1966; 3 — 17.9.1973; 4 — 6.9.1974; 5 — 2.9.1975; 6 — 3.9.1976.

При совмещении записей по моменту кульминации Солнца контролем являлось совпадение склонов тех записей, на которых заведомо отсутствовали локальные источники на краю, что проверялось по фотографиям Солнца и по записям Солнца на других волнах.

Приведение записей к одному масштабу по оси времени проводилось с учетом закона изменения размера оптического диска на записи.

Нахождение коэффициентов для приведения записей к одному масштабу по оси антенной температуры содержит определенные трудности, так как в использованных наблюдениях отсутствовала абсолютная калибровка сигнала. В настоящей работе привязка записей по оси ординат проводилась двумя способами.

1. Если на диске Солнца в течение нескольких дней наблюдались спокойные области по протяженности не менее $20-30^\circ$ долготы и одновременно с ними в диаграмму не попадали какие-либо активные центры, то на записях уверенно выделялись спокойные участки и по их ордина-

там определялись коэффициенты для приведения записей к одному масштабу (см. примеры на рис. 2—4).

2. Если активность Солнца была настолько высока, что в диаграмму постоянно попадали локальные источники и на записях не было спокойных участков, то привязка записей проводилась через интегральные потоки Солнца, взятые из [8], так как, согласно [19], известно, что площадь под кривой на записи Солнца пропорциональна потоку от Солнца.

В этом случае точность определения коэффициентов обусловлена точностью определения площади на записи ($\sim 1\%$) и точностью измерения интегральных потоков ($\sim 3\%$). Однако есть еще один источник ошибок — разность моментов наблюдения Солнца на БПР и измерения интегральных потоков на станции Тоуакэва, из-за чего среднесуточные значения

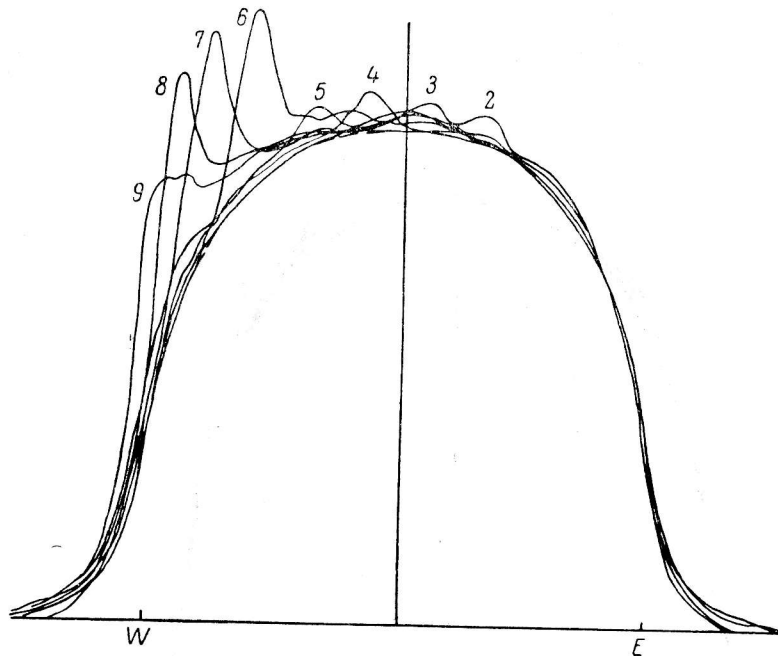


Рис. 2.
Сентябрь 1971 г.

потока Солнца, приводимые в [8], не всегда соответствуют потоку на момент наблюдений Солнца на БПР (10^8 U. T.).

Мы сравнивали коэффициенты, определенные двумя указанными способами, и убедились, что они практически совпадают, если за время наблюдений на диске не было активных центров, быстро меняющих свои характеристики. Так, для записей Солнца за 2—12.9.1971, результат совмещения которых представлен на рис. 2, отношение коэффициентов K_1 и K_2 , определенных соответственно первым и вторым способами, оказалось равным в среднем 1.00 ± 0.01 .

Приведем еще два примера выделения контура B -компоненты, относящихся к периоду максимальной активности Солнца (сентябрь 1968 г., $\bar{W} = 170$ и сентябрь 1969 г., $\bar{W} = 115$), на рис. 5 и 6. В сентябре 1968 г. активные области сплошь покрывали диск Солнца, поэтому в диаграмму постоянно попадало излучение от локальных источников и на записях практически не было спокойных участков. Привязка записей производилась через интегральные потоки Солнца. В сентябре 1969 г. общий уровень активности был также высоким, однако активные центры располагались на диске таким образом, что с 6 по 16 сентября ежедневно на Солнце

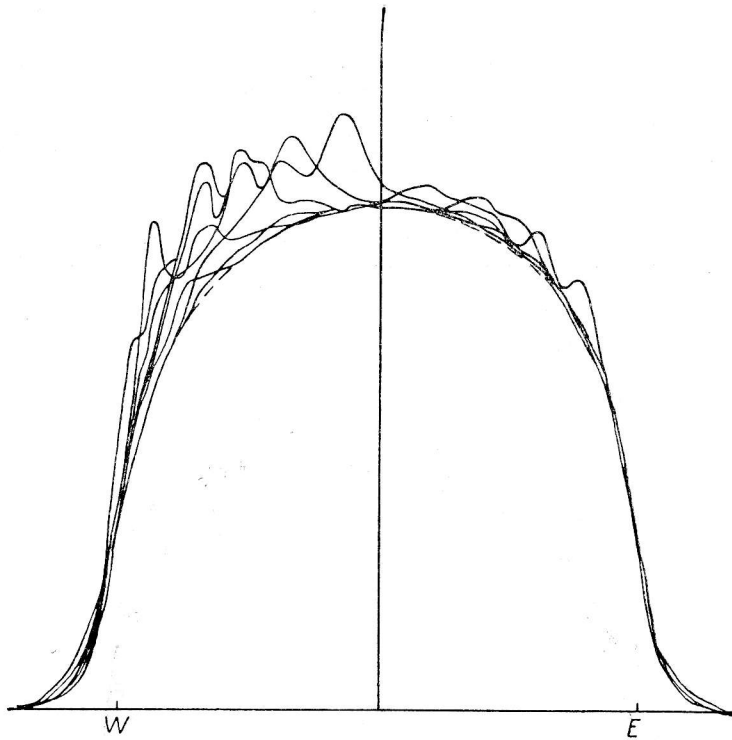


Рис. 3.
Сентябрь 1973 г.

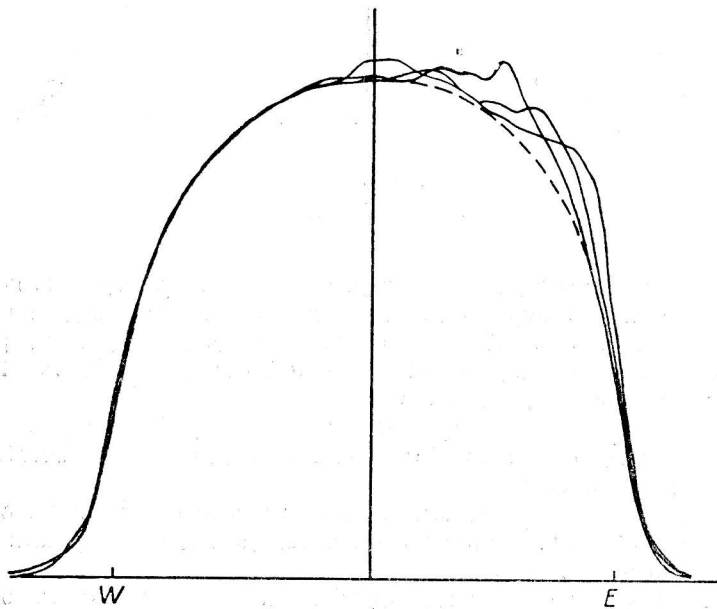


Рис. 4.
Сентябрь 1974 г.

наблюдалась спокойная область, на которой не было флоккул и пятен. По протяженности она занимала $30-40^\circ$ долготы. Поэтому на записях этого периода уверенно выделяется участок спокойного Солнца, по которому и производилась привязка записей.

Контуры B -компоненты как нижняя огибающая проведены на обоих рисунках пунктиром. Подобным образом контуры B -компоненты были получены почти для каждого месяца наблюдений периода 1966—1972 гг. (Повторяем, что каждая исследуемая запись проверялась по критерию качества установки антенны). Выделенный контур B -компоненты сравнивался с соответствующим среднестатистическим контуром спокойного Солнца, который был получен из записей периода минимальной активности

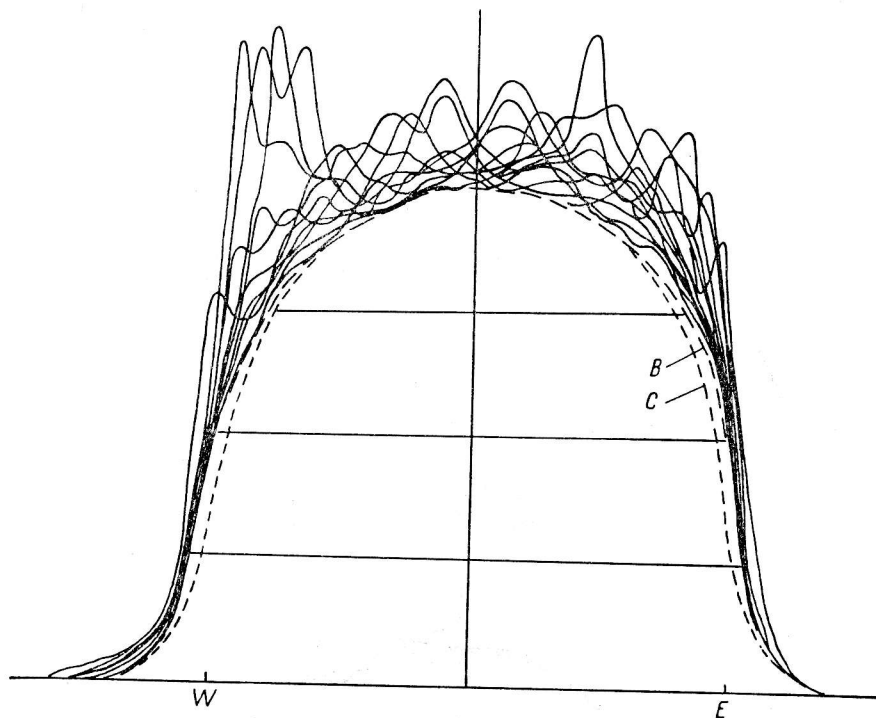


Рис. 5.
Сентябрь 1968 г.

Солнца. Сравнение контуров производилось по следующим параметрам: измерялась ширина контуров в долях радиуса оптического диска Солнца на уровнях 0.25, 0.50 и 0.75 центральной ординаты (γ 0.25, γ 0.50 и γ 0.75). Для периода максимальной солнечной активности (1968—1969 гг.) результаты оказались следующими:

1) из 19 исследуемых контуров B -компоненты у 16 контуров ширина на всех трех уровнях оказалась больше на 3—5%, чем у соответствующих контуров спокойного Солнца;

2) контуры B -компоненты, выделенные за февраль 1969 г., сентябрь 1969 г. и октябрь 1969 г. совпали с точностью до 1% с контурами спокойного Солнца для этих месяцев;

3) не было ни одного случая, когда бы контур B -компоненты оказался шире контура спокойного Солнца.

Проиллюстрируем эти выводы на примерах сентябрьских записей, приведенных на рис. 1—6.

На рис. 1 можно видеть контур спокойного Солнца, полученный по записям периода минимальной солнечной активности. Он одинаково

хорошо вписывается в каждую из приведенных здесь записей, так как уровень активности в эти дни был низким и большая часть поверхности Солнца спокойной.

На рис. 5 и 6 показаны выделенные по методу нижней огибающей контуры B -компоненты в сентябре 1968 и 1969 г. В таблице приведены ширины этих контуров на уровнях 0.25, 0.50 и 0.75 центральной ординаты, выраженные в долях радиуса оптического диска Солнца. Из таблицы видно, что в пределах точности измерений параметры контура B -компонен-

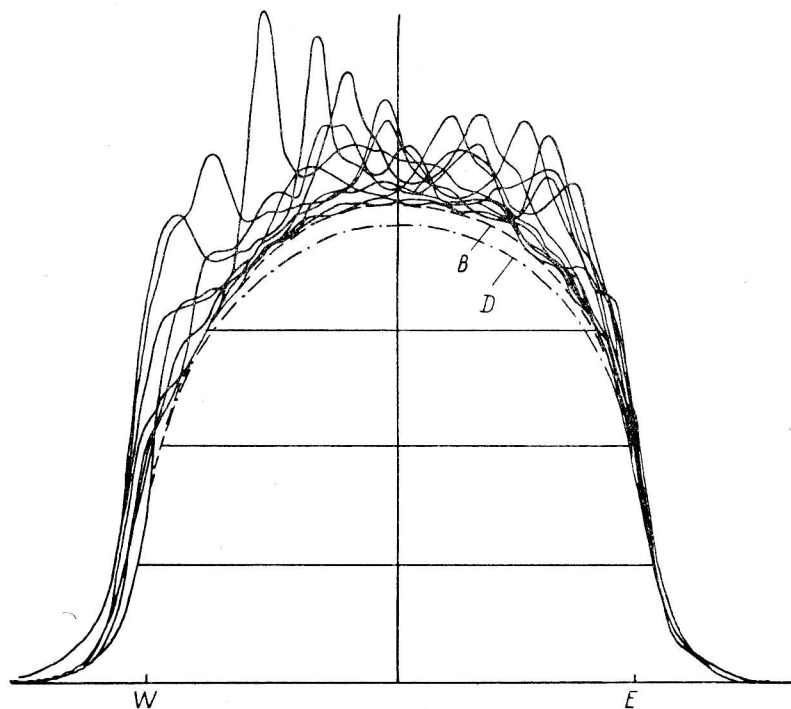


Рис. 6.
Сентябрь 1969 г.

ты 1969 г. и контура спокойного Солнца совпадают. Это означает, что контуры подобны и, как частный случай, они полностью совпадают.

В случае совпадения контуров это означает, что равны площади на записях, ограниченные этими контурами, и соответственно потоки спокойного Солнца и B -компоненты. В таком случае для каждой записи Солнца, вошедшей в совокупность записей, из которых выделялась нижняя огибающая (B -компоненты), должно выполняться соотношение $F_{\Sigma}/F_{\odot} = S_{\Sigma}/S_B$, где F_{Σ} — интегральный поток Солнца на день наблюдений; F_{\odot} — поток спокойного Солнца (минимальный интегральный поток Солнца, измеренный в годы минимума солнечной активности); S_{Σ} — площадь, ограниченная записью Солнца; S_B — площадь, ограниченная контуром B -компоненты.

Уровень	Спокойное Солнце	B -компонента 1968 г.	B -компонента 1969 г.
γ 0.75	0.76 ± 0.01	0.80 ± 0.02	0.76 ± 0.02
γ 0.50	0.94 ± 0.01	0.99 ± 0.02	0.93 ± 0.01
γ 0.25	1.02 ± 0.01	1.06 ± 0.01	1.02 ± 0.01

Проверим это соотношение для конкретного примера. На рис. 7 приведена запись Солнца за 25.9. 1969. На ней штриховой линией проведен контур B -компоненты, полученный статистически как нижняя огибающая (рис. 6), который хорошо вписывается в запись Солнца. Согласно фотографии Солнца на 25.9.1969, а также за предыдущий и последующие дни, на краю диска отсутствуют активные центры, а в заданной части имеется протяженная область ($30-40^\circ$ долготы) спокойного Солнца.

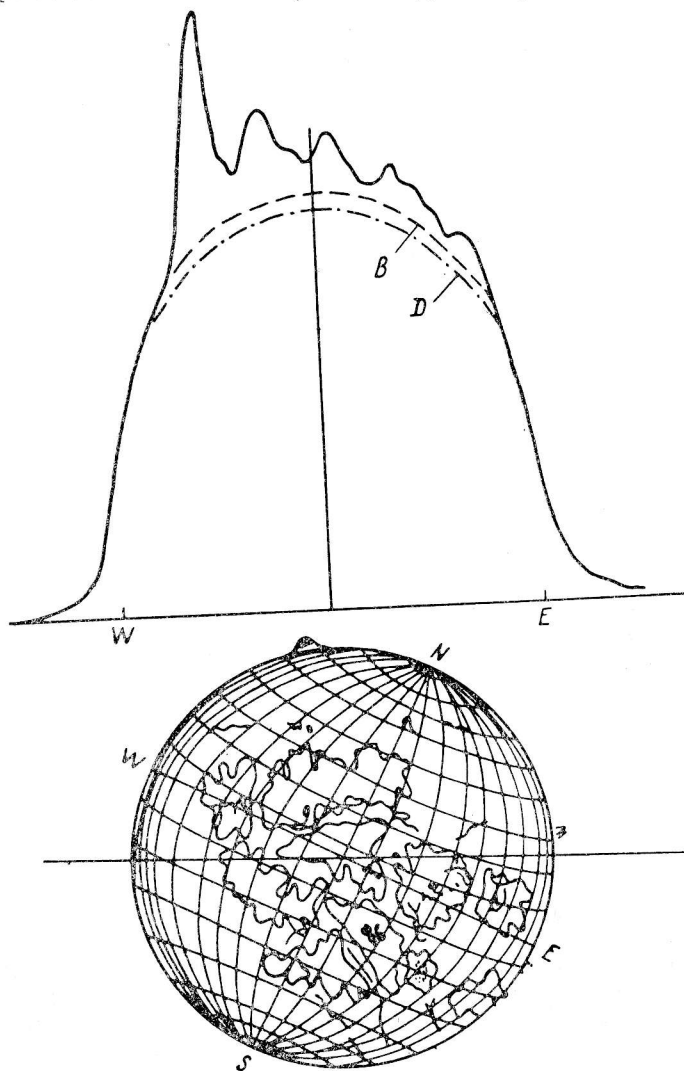


Рис. 7.

25 сентября 1969 г.

Для этого дня отношение интегрального потока F_{Σ} к потоку спокойного Солнца F_{\odot} , согласно [8], равнялось 1.19, а отношение площадей на записи $S_{\Sigma}/S_B=1.21$. В пределах точности измерений эти величины совпадают. Это означает, что если мы хотим вписать контур спокойного Солнца в запись 25.9.1969, то он должен занять положение контура B -компоненты, а не какого-либо другого контура, подобного ему (например, контур D). Проверка отношений F_{Σ}/F_{\odot} и S_{Σ}/S_B для остальных дней наблюдений рассмотренного периода в сентябре 1969 г. показала отсутствие систематического преобладания F_{Σ}/F_{\odot} над S_{Σ}/S_B , как это было бы, если контур

спокойного Солнца занимал бы на записях положение D , а разброс отношений F_{Σ}/F_{\odot} и S_{Σ}/S_B объясняется точностью измерений потоков и площадей и разностью моментов их наблюдений.

Проверка аналогичных соотношений для октября 1969 г. и февраля 1969 г. показала, что факт совпадения контуров B -компоненты для этих периодов с соответствующими контурами спокойного Солнца также свидетельствует о равенстве их потока.

Рассмотрим теперь контур B -компоненты, выделенный на записях в сентябре 1969 г. (рис. 5). Контур этот шире контура спокойного Солнца (это следует из таблицы и видно из рис. 5, где контур спокойного Солнца C нанесен в масштабе контура B -компоненты точками).

Покажем, что такое взаимное положение контуров отражает истинное соотношение потоков этих компонент в рассматриваемый период. Сравним соотношение F_{Σ}/F_{\odot} и S_{Σ}/S_{\odot} для каждого дня наблюдения в сентябре 1968 г. Отношение этих величин даст отношение потоков F_{Σ}/F_{\odot} , так как отношение площадей S_{Σ}/S_B равно F_{Σ}/F_B . Для 20 дней в сентябре 1968 г. это отношение в среднем оказалось равным 1.03 ± 0.02 , а отношение площадей на рис. 5 $S_B/S_{\odot} = 1.04$. Близость этих величин свидетельствует о том, что положение контура C на рис. 5 соответствует наблюдаемому в этот период соотношению компонент: потоку постоянной составляющей радиоизлучения и потоку спокойного Солнца.

Аналогичные сравнения отношений F_{Σ}/F_{\odot} и S_{Σ}/S_B проводились для других периодов наблюдений, относящихся как к эпохе максимума, так и к периодам роста и спада солнечной активности. Сравнения производились не только с потоками, измеренными на станции Тоукава на $\lambda = 3.2$ см, но и с потоками, публикуемыми на этой же волне в институте Генриха Герца [20]. Полученные соотношения показали справедливость того, что отношение площадей S_B и S_{\odot} , ограниченных соответственно контурами B -компоненты и спокойного Солнца, построенных в одном масштабе, отражает реальное отношение потоков B -компоненты и спокойного Солнца.

Таким образом, мы можем утверждать, что для максимума солнечной активности (1968—1969 гг.) характерно превышение потока B -компоненты, определенной как постоянная составляющая радиоизлучения Солнца за период наблюдений порядка одного месяца, над потоком спокойного Солнца, равном минимальному значению измеренного потока в эпоху минимума солнечной активности, на 3—5%.

На примере сентября 1968 г. легко убедиться, что это различие обусловлено вкладом излучения локальных источников S -компоненты радиоизлучения Солнца, связанных в основном с флоккулами и слабыми пятнами, расположенными на краю диска Солнца. На фотографиях Солнца видно, что в этот период флоккулы практически сплошь закрывали диск, начиная с расстояния $0.5 R_{\odot}$, и излучение от них непрерывно попадало в ножевую диаграмму БПР (наряду с излучением интенсивных локальных источников, связанных с развитыми группами пятен). Как показали наблюдения Солнца, проведенные на БПР в «год спокойного Солнца» (МГСС) в 1964—1965 гг. [21], на волне 3.2 см над каждым флоккульным полем наблюдается протяженный 3—5' источник повышенного радиоизлучения, поток которого составляет 0.5—3% от потока спокойного Солнца. Такого же порядка локальные источники наблюдаются над слабо развитыми группами пятен и порами [22]. Непрерывно попадая в диаграмму, эти источники создают фон излучения на записях Солнца, который при проведении нижней огибающей после отделения интенсивных локальных источников оказывается отнесенным к постоянной составляющей (B -компоненте) радиоизлучения Солнца.

Такая ситуация характерна для периода повышенной активности Солнца, поэтому большинство контуров B -компоненты оказалось шире контуров спокойного Солнца. Количественное различие потоков B -компоненты и спокой-

ного Солнца (3—5%) также вполне согласуется с представлением о том, что оно обусловлено суммарным излучением неучтенных при разделении *S*- и *B*-компонент локальных источников, связанных с флоккулами и слабыми пятнами.

Итак, коротко перечислим результаты проведенного исследования. В результате анализа около 4000 записей Солнца, полученных на БПР на волне 3.2 см за период с 1965 по 1977 г., установлено следующее:

1) контур спокойного Солнца, выделенный как среднестатистический по наблюдениям в период низкой солнечной активности и соответствующий минимальному уровню излучения Солнца при полном отсутствии активных областей на диске, устойчиво сохраняется от одной эпохи минимума до другой, что в сочетании с фактом постоянства величины потока спокойного Солнца свидетельствует о стабильности характеристик радиоизлучения невозмущенного Солнца на волне 3.2 см;

2) большинство контуров *B*-компоненты, которые были выделены по методу «нижней огибающей» на записях Солнца, полученных в годы максимальной активности (1968—1969 гг.), оказалось шире соответствующих контуров спокойного Солнца, что согласно значениям интегральных потоков радиоизлучения Солнца на волне 3.2 см соответствует увеличению потока постоянной составляющей от эпохи минимума к эпохе максимума на 3—5%;

3) отождествление записей Солнца с фотографиями диска убедительно показывает, что отличие контуров, а также уровней излучения *B*-компоненты и спокойного Солнца обусловлено излучением локальных источников *S*-компоненты, которые при статистическом способе разделения компонент на записях методом «нижней огибающей» оказались отнесенными к *B*-компоненте радиоизлучения Солнца. Количественные соотношения потоков спокойного Солнца и *B*-компоненты также подтверждают этот вывод;

4) в эпоху максимума солнечной активности (в 1969 г.) на основе имеющегося наблюдательного материала на $\lambda=3.2$ см выделены по крайней мере три периода с протяженностью около месяца (в феврале, сентябре и октябре), когда контуры *B*-компоненты совпали с контурами спокойного Солнца. Значения интегральных потоков радиоизлучения Солнца свидетельствуют о равенстве потоков *B*-компоненты и спокойного Солнца в эти периоды.

При интерпретации этих фактов важно учесть следующее. Наблюдения Солнца на БПР регулярно проводятся также на волнах 4.5, 6.6 и 9.0 см начиная с 1963—1964 гг. Общий объем наблюдательного материала составлял 3000—4000 записей Солнца на каждой волне за период наблюдений с 1963 по 1977 г.

С учетом результатов наблюдений на волне 3.2 см были выделены контуры *B*-компоненты на записях Солнца на волнах 4.5 и 6.6 см для февраля и сентября 1969 г. Методика обработки записей и выделения нижней огибающей аналогична той, которая применялась на волне 3.2 см.

Были получены также среднестатистические контуры спокойного Солнца на 4.5 и 6.6 см по результатам наблюдений в период низкой солнечной активности (1973—1977 гг.). Точность определения параметров контуров спокойного Солнца на 4.5 см такая же, как на 3.2 см (1—2%). На волнах 6.6 и 9.0 см точность несколько хуже (2—3%), так как в силу больших угловых размеров локальных источников и сравнительно широкой диаграммы (2.5—3.5 угл. мин.) на записях не всегда удается уверенно разделить излучение, идущее от локальных источников и спокойных областей на Солнце. Именно по этой причине не исследовались контуры *B*-компоненты на 9.0 см для периода максимальной активности Солнца.

На волнах 4.5 и 6.6 см контур *B*-компоненты выделялся достаточно четко, и было установлено, что так же как и на 3.2 см, в сентябре и феврале 1969 г. контуры *B*-компоненты совпали по своим параметрам с соответствующими контурами спокойного Солнца (в пределах точности измерений).

На волне 9.0 см сравнивались контуры спокойного Солнца, выделенные для одного и того же месяца наблюдений, но за разные годы периода низкой солнечной активности (1973—1977 гг.). Для сентября оказалось, что параметры контуров спокойного Солнца за рассмотренный период различаются не более чем на 2—3%. Это находится в пределах точности измерений и свидетельствует о стабильности характеристик радиоизлучения спокойного Солнца на волне 9.0 см. Значения интегрального потока радиоизлучения Солнца, измеренные на близкой волне 8 см [8], также свидетельствуют о постоянстве потока радиоизлучения спокойного Солнца в этом диапазоне.

Таким образом, на основе проведенного исследования можно сделать вывод о стабильности основных характеристик радиоизлучения спокойного Солнца (распределения радиояркости по диску и потока) в коротковолновой части см-диапазона в течение 11-летнего цикла солнечной активности. По-видимому, общий уровень активности не вызывает изменений в тех слоях невозмущенной солнечной атмосферы, которые ответственны за сантиметровое излучение, — в верхней хромосфере и нижней короне. Активные центры на этих уровнях в атмосфере Солнца четко локализованы. Поэтому даже в годы максимальной активности в промежутках между активными центрами наблюдаются участки невозмущенного Солнца, значения температуры и электронной плотности над которыми, как свидетельствуют последние измерения [23—25], мало отличаются от тех, которые следуют из наблюдений спокойного Солнца в годы минимума солнечной активности, и физические условия в этих спокойных областях близки к тем, что наблюдаются в корональных дырах.

В заключение автор выражает большую благодарность Г. Б. Гельфрейху за ценные замечания, сделанные при чтении рукописи, Н. Г. Петеровой, Ш. Б. Ахмедову и В. Н. Ихсановой за предоставление записи Солнца, Н. Ф. Шаховой, Г. А. Керезь и Ю. Л. Кокорину за помощь в наблюдениях и при обработке материала. Автор искренне признателен д-рам С. Ф. Смерду и К. В. Шеридану за полезную дискуссию.

Список литературы

1. Тапакка Н. Eleven-years variation of the spectrum of solar emission on the microwave region. — Proc Res. Inst. Atmosph., Nagoya Univers., 1964, 11, p. 41—50.
2. Соболева Н. С. Статистические свойства медленно меняющейся компоненты радиоизлучения Солнца. — Изв. Глав. астрон. obs. в Пулковке, 1965, 178, с. 73—82.
3. Соболева Н. С. Исследование «постоянной» и медленно меняющейся составляющей радиоизлучения Солнца статистическими методами. — Изв. Глав. obs. в Пулковке, 1970, 185, с. 183—190.
4. Das Gupta, Basu D. Basic component of solar radio emission at centimeter and decimeter wavelengths. — Nature, 1965, 208, p. 739—740.
5. Hachenberg O. Radio frequency emissions of the Sun in the centimeter wavelength range. The slowly varying sunspot component. — Mitt. Astron. Inst. Univ. Bonn, 1965, 65, p. 95—108.
6. Krüger A., Olmer I. On the spectrum of the S- and B-components of the solar radio emission at dm-wavelengths. — Bull. Astron. Inst. Chesk., 1973, 24, N 4, p. 202—206.
7. Zieba S., Gula R. Variations of the basic component of solar radio emission in the years 1957—1967. — Acta Astronomica, 1976, 26, p. 55—67.
8. Complete Summary of Daily Solar Radio Flux, Toyakawa, Nagoya University, 1975.
9. Солнечные данные. Бюл. Л., «Наука», 1964—1977.
10. Молчанов А. П. Радиоизлучение края солнечного диска. — В кн.: Радиоизлучение Солнца, ЛГУ, 1969, № 1, с. 5—16.
11. Молчанов А. П. Некоторые результаты радиоастрономических наблюдений солнечных затмений. — Изв. Глав. астрон. obs. в Пулковке, 1964, 177, с. 38—56.
12. Боровик В. Н. Результаты наблюдений солнечного затмения 20 мая 1966 года в Пулковке на волне 3.2 см. — В кн.: Радиоастрономические наблюдения солнечного затмения 20 мая 1966 года. М., «Наука», 1972.
13. Swanston P. The radius of the Sun at millimeter and centimeter wavelengths. — Solar Physics, 1973, 32, p. 77—83.

14. Киненес Х. А., Коржавин А. Н., Петерова Н. Г., Сантос Х. Наблюдения солнечного затмения 7 марта 1970 года на поляриметре Гаванской радиоастрономической станции на волне 4.5 см. — Солнечные данные, 1975, № 3, с. 87—95.
15. Suzuki I., Kawabata K., Ogawa H. Interferometer observations of the solar brightness distribution at 8.6 mm wavelength. — Solar Physics, 1976, 46, p. 205—219.
16. Хайкин С. Э., Райдановский Н. Л., Есепкина Н. А., Шиврис О. Н. Большой пулковский радиотелескоп. — Изв. Глав. астрон. обс. в Пулкове, 1960, 164, с. 3—26.
17. Парийский Ю. Н. Контроль параметров антенны по радиоастрономическим наблюдениям. — Изв. Глав. астрон. обс. в Пулкове, 1972, 188, с. 149—151.
18. Гельфрейх Г. Б. Об одном алгоритме расчета диаграммы направленности антенны типа РАТАН-600 с учетом аббераций и поляризационных эффектов. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1977, 9, с. 89—98.
19. Корольков Д. В., Парийский Ю. Н., Соболева Н. С. К вопросу об измерении магнитных полей и других физических характеристик в областях над пятнами из радионаблюдений. — Солнечные данные, 1958, № 9, с. 65—69.
20. Solar Beobachtungsergebnisse, Solar Data. Heinrich-Hertz-Inst., DDR, Berlin-Adlershof, 1964—1977.
21. Боровик В. Н. Исследование источников S-компоненты радиоизлучения Солнца на волне 3.2 см по наблюдениям в период МГСС-1968. — Солнечные данные, № 1, с. 97—103.
22. Боровик В. Н. Статистические характеристики локальных источников развитых групп солнечных пятен на волне 3.2 см. — Сообщения САО, 1975, 15, с. 21—54.
23. Leblanc Y., Leroy J. L., Pecantot P. Quiet corona density model for the last maximum of solar activity. — Solar Physics, 1973, 31, p. 343—350.
24. Lantos P., Avignon Y. The metric quiet Sun during two cycles of activity and the nature of the coronal holes. — Astron. and Astrophys., 1975, 41, N 2, p. 137—142.
25. Steinberg J. L. Coronal magnetic structure. — Publ. Univ. Firenze, 1975, 105, p. 56—85.