

- [3] M.Minnaert, G.F.W.Mulders, J.Houtgast. Photometric Atlas of the Solar Spectrum, Amsterdam, 1940.
- [4] G.W.Cushman, L.Farwell, G.Godden, W.A.Rense, J.Geophys. Res., 80, 482, 1975.

Главная астрономическая
обсерватория АН УССР

Поступила в редакцию
9 января 1979 г.

Методика наблюдений и прогноза солнечных радиовсплесков на
волне 5.0 см на Горной астрономической станции ГАО АН СССР
В.Л.Ермошенко

Methods of Observation and Prediction of Solar Radio Bursts
at 5.0 cm in the Kislovodsk Station of
the Pulkovo Observatory
V.L.Ermoshenko

Abstract

A short description is given of the apparatus and methods of observations of solar radio emission at a 5.0 cm wavelength used at present in the Kislovodsk station of the Pulkovo Observatory. The paper reports on the results of a comparison of integral fluxes of solar radio emission with the total area of sunspot groups. Because of a higher relative accuracy (to 0.5%) of measurement of the fluxes it is possible to trace their variations associated with the development and sunspot group passage over the visible solar disc. It is shown that the excess of emission of some groups at the 5.0 cm wavelength is closely connected with their flare activity determined from radio bursts at the wavelength. This enables to use observations of the Kislovodsk station for short-termed (day-in-advance) forecast of the flare activity.

С августа 1977 г. на Горной астрономической станции ГАО АН СССР (ГАС), после модернизации радиотелескопа возобновились регулярные наблюдения Солнца на волне 5.0 см. Наблюдения выполняются на параболическом зеркале $D = 3.0$ м, облучаемом открытым концом круглого волновода с помощью отражающего диска диаметром 350 мм. Монтировка экваториальная, сопровождение обеспечивается электроприводом с точностью до 2' в час. Ежечасно корректируется наведение антенны по сигналу. Используется модуляционный радиометр-поляриметр с супергетеродинным приемником. Полоса УПЧ равна 200 МГц, полная ширина шумовой дорожки при $\tau = 1$ сек. не хуже 1°K . Суточная нестабильность коэффициента усиления не больше 1%. Блок-схема радиотелескопа приведена на рис.1. Здесь 1 - облучатель, 2 - пустая секция, 3 - анализатор - переход с круглого волновода на прямоугольный, 4 - волноводный тройник, 5 - аттенуатор, 6 - источник компенсирующего сигнала.

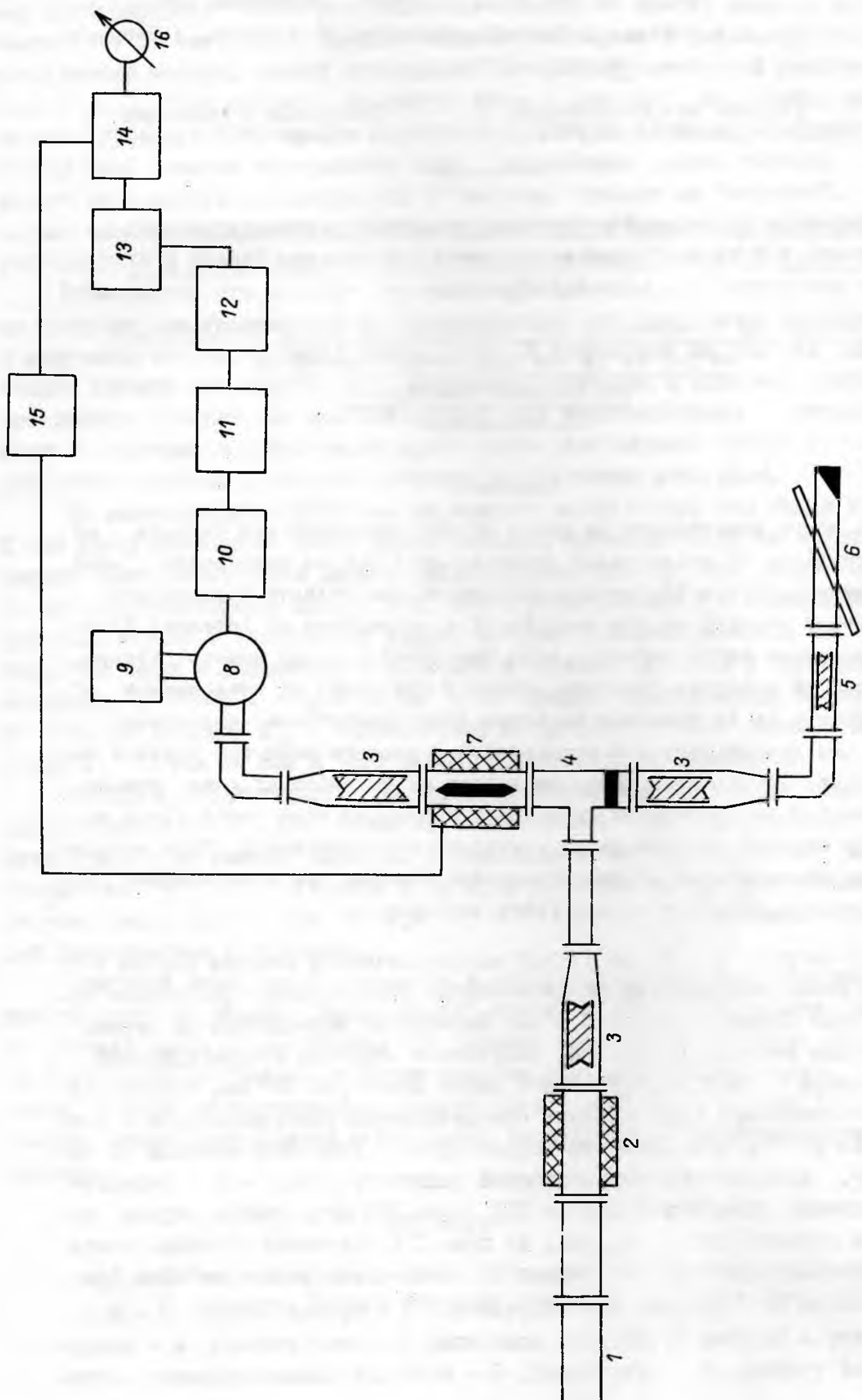


Рис. I

ла, 7 - ферритовый модулятор, 8 - смеситель, 9 - гетеродин, 10 - усилитель промежуточной частоты (УПЧ), 11 - усилитель низкой частоты, 12 - детектор, 13 - узкополосный фильтр частоты модуляции, 14 - синхронный детектор, 15 - генератор напряжения частоты модуляции, 16 - выходной прибор.

В качестве основы методики измерения потоков радиоизлучения Солнца был принят метод, описанный в работе [1]. Основное внимание обращалось на повышение точности измерения полного потока радиоизлучения Солнца, в связи с чем из поляризационного модулятора был удален феррит и четверть-волновая пластинка, а канал круговой поляризации, как правило, не использовался. Для целей повышения стабильности измерений потока было выполнено термостатирование всего радиометра с точностью около 1°K (уход температуры системы на 10° вызывает изменение опорного сигнала на 1%). Практически важным оказалось также выполнение калибровки сигнала шумового генератора по тепловому эталону (при окружающей температуре) в ночное время, когда более стабильны температуры окружающей среды, поскольку калибровки в дневное время приводят к нестабильности в пределах 2-3%. Указанные меры, наряду со специальным отбором экземпляров генератора шума (аргоновой газоразрядной трубки), позволили обеспечить стабильность опорного сигнала не хуже 1% на интервале 6 месяцев, что было проверено специальным экспериментом по сравнению сигналов двух ПШ.

В силу благоприятных климатических условий и того, что Горная астрономическая станция расположена на высоте примерно 2000 м над уровнем моря, поглощение сигнала Солнца в большинстве случаев (около 90% времени) на волне 5.0 см (но не на более коротких волнах) оказывается незначительным. Это следует из того наблюдательного факта, что при изменении погоды от пригодной для оптических наблюдений короны Солнца до начала выпадения осадков регистрируемый сигнал изменяется в пределах всего 1%. В периоды отсутствия заметных изменений состояния солнечной активности случайные и систематические изменения регистрируемого сигнала Солнца не превосходят 0.5%. Для приводимых ниже результатов существенно, что измерения потока радиоизлучения Солнца и оптические наблюдения солнечной фотосферы проводились одновременно и, следовательно, при ясном небе. Таким образом, относительная точность измерений потоков была близка к величине 0.5-1%.

Традиционной задачей солнечной радиоастрономии является исследование связи изменений полного потока радиоизлучения Солнца (P) с суммарной площадью солнечных пятен (S), наблюдаемых на диске Солнца (см. например, [2,3]). На инструментах с высоким разрешением аналогичные связи исследовались и для отдельных активных областей (например, [4,5]). Из всех этих исследований видно, что связь потока радиоизлучения активной области с площадью пятен имеет значительный разброс и далек от фундаментальной зависимости. С целью поиска возможного улучшения корреляции этих параметров мы использовали точки, измеряемые одновременно на двух рядом расположенных инструментах (опи-

санном выше радиотелескопе и хромосферно- фотосферном телескопе ГАС). Однако несмотря на указание особенности методики измерений разброс точек на диаграмме $S-P$ остается весьма значительным и выходит за пределы ошибок измерений каждого из параметров.

В последующем в качестве пробы мы наносили на $S-P$ плоскость рис.2 только точки за период с августа 1977 г. по июнь 1979 г., удовлетворяющие следующим условиям:

1) В течение суток не было зарегистрированных всплесков на волне 5.0 см больше 1%.

2) Все наблюдавшиеся на диске группы пятен не отличались изменением площади больше 20% в сутки.

3) Не наблюдалось выхода (или захода) из-за края солнечного диска значительных активных областей (с пятнами).

Как видно из рис.2, связь S и P в этом случае оказывается практически линейной и с очень малым разбросом точек. Коэффициент корреляции r оказался равным 0.941 ± 0.014 , а уравнение регрессии следующее:

$$S = 72.2 (P - 146).$$

Нанесение всех остальных точек наблюдений приводит к большему их разбросу на диаграмме $S-P$ (см.рис.3). Важной особенностью всех добавленных точек является то, что они размещаются практически всегда правее и ниже прямой, полученной на рис.2. Назовем эту прямую "базой". Такое размещение точек говорит об избытке потока радиоизлучения для этих случаев.

Причины избыточного потока радиоизлучения в соответствии с наложенными условиями при отборе точек для рис.2 могут быть следующими:

1) Выход группы из-за края диска. Отметим, что предвосхищение выхода радиоисточника активной области отмечалось ранее в работе [6].

2) Опережение роста потока локального источника (л.и.) при рождении новой группы пятен [7].

3) Повышенное излучение вспыхивающе-активных групп пятен. Повышение потока л.и. с высокой вспыхивающей активностью для волны 3.2 см отмечалось в работе [8].

Последнее обстоятельство позволяет из анализа изменений полного потока радиоизлучения Солнца (при сопоставлении их с развитием оптической картины фотосферы) предложить метод прогноза вспыхивающей активности Солнца.

В качестве прогнозируемого параметра мы предлагаем уровень всплесковой активности Солнца на сантиметровых волнах. Такой выбор параметра определяется следующими соображениями. Оптические наблюдения вспышек в H_α недостаточно полны и однородны, в то время как анализ сантиметровых всплесков выполняется на той же аппаратуре, которая используется для прогноза. Опыт работы по таким прогнозам показал лучшее соответствие прогноза всплесков, который делается по уровню S -компоненты, чем оптических хромосферных вспышек. Известно, что именно сантиметровые всплески хорошо коррелируют с такими важнейшими для геофизики

явлениями солнечной активности, как всплески рентгеновского излучения и потоки протонов.

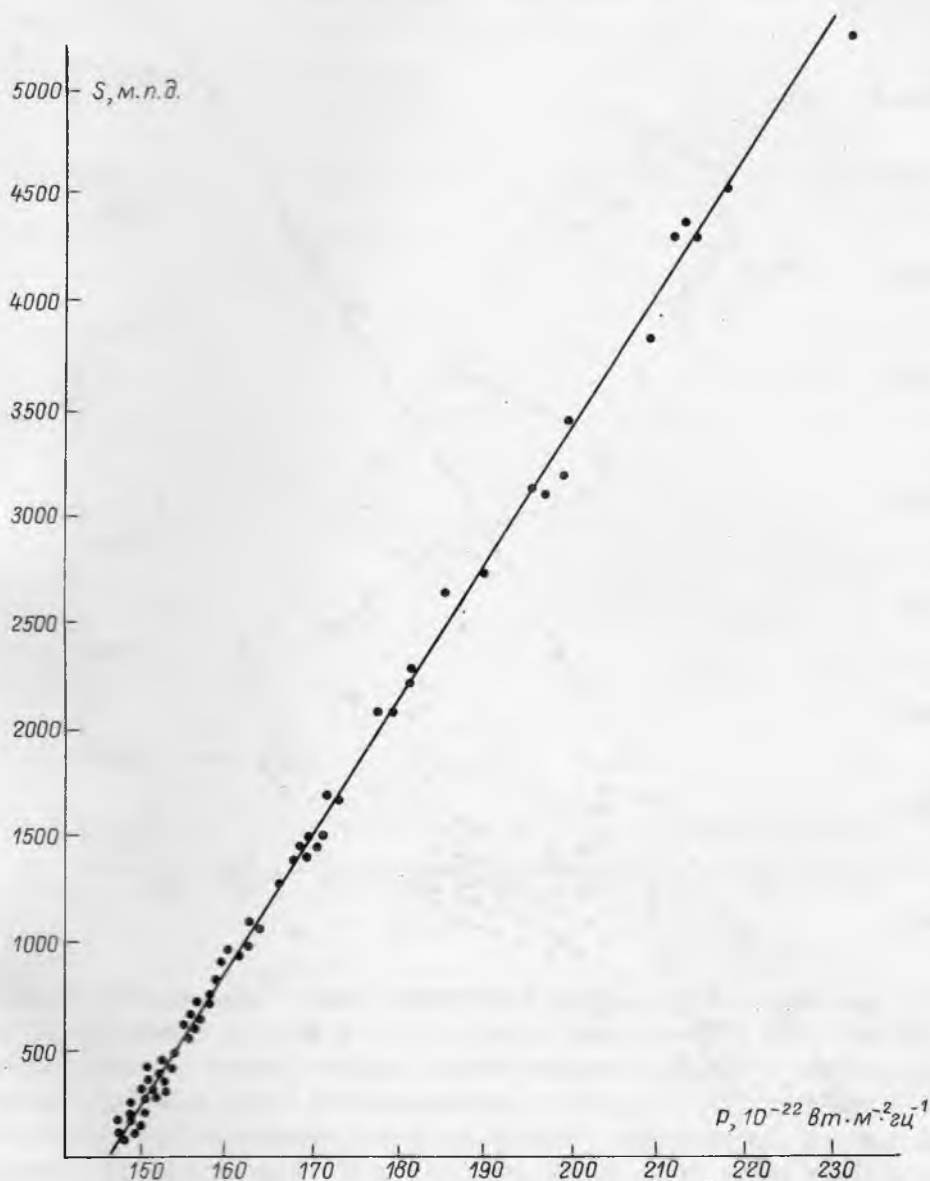


Рис.2

Предлагаемая методика прогноза вспышечной (всплесковой) активности Солнца использует следующие данные наблюдений:

1) положение точки (S, P) относительно "базовой" прямой, показанной на рис.2 и 3,

2) изменение потока P за предыдущие сутки на волне 5.0 см,

3) изменение суммарной площади пятен за те же сутки,

4) наличие выходящих из-за края или заходящих за край солнечного диска активных областей по оптическим наблюдениям.

5) суточные изменения потоков на волнах 3.2 и 2.0 см, измеряемые на других тут же расположенных радиотелескопах ГАС.

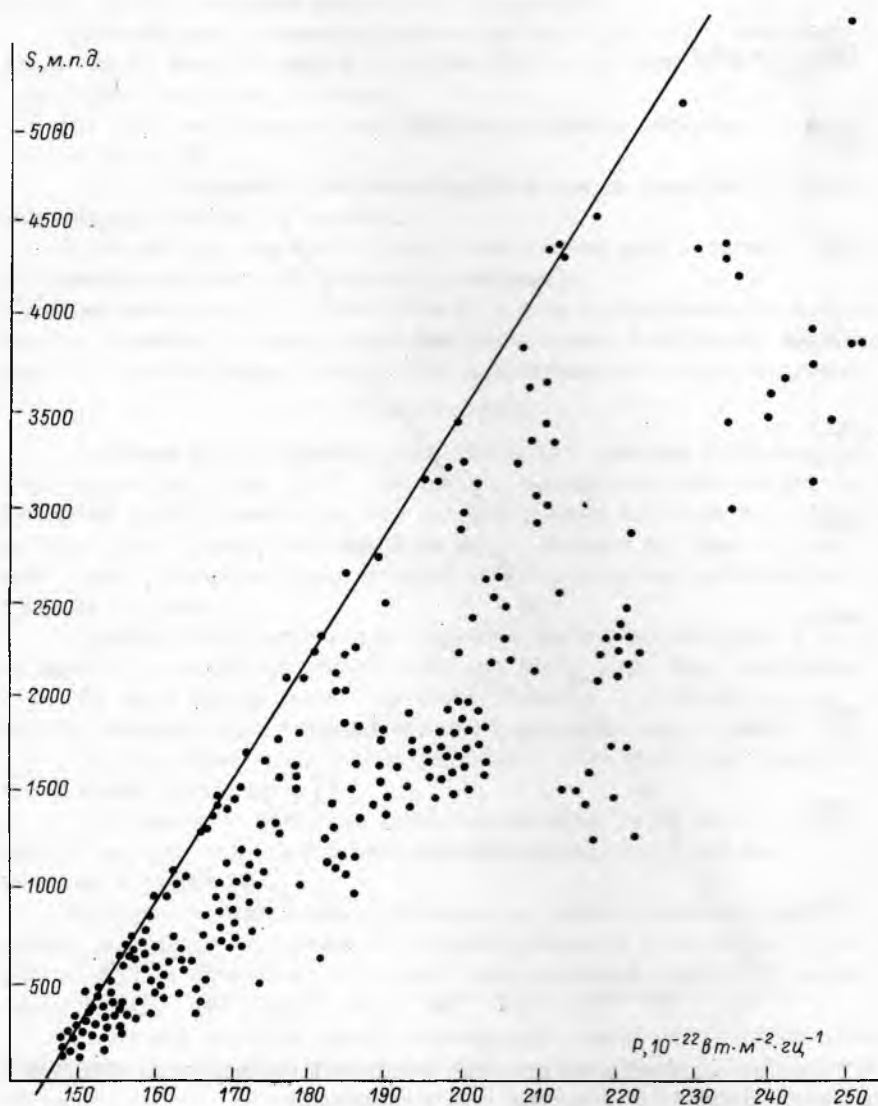


Рис.3

Если измеренная точка (S, P) оказывается лежащей на "базовой" прямой, то это служит указанием на отсутствие всплесков в ближайшие сутки и вероятное отсутствие всплесковой активности у групп, находящихся на солнечном диске в последующие дни (по крайней мере в диапазоне 5.0 см и на более коротких волнах).

Если эта точка располагается ниже и правее "базовой" прямой, то это указывает на одно из двух обстоятельств. Либо на диске расположе-

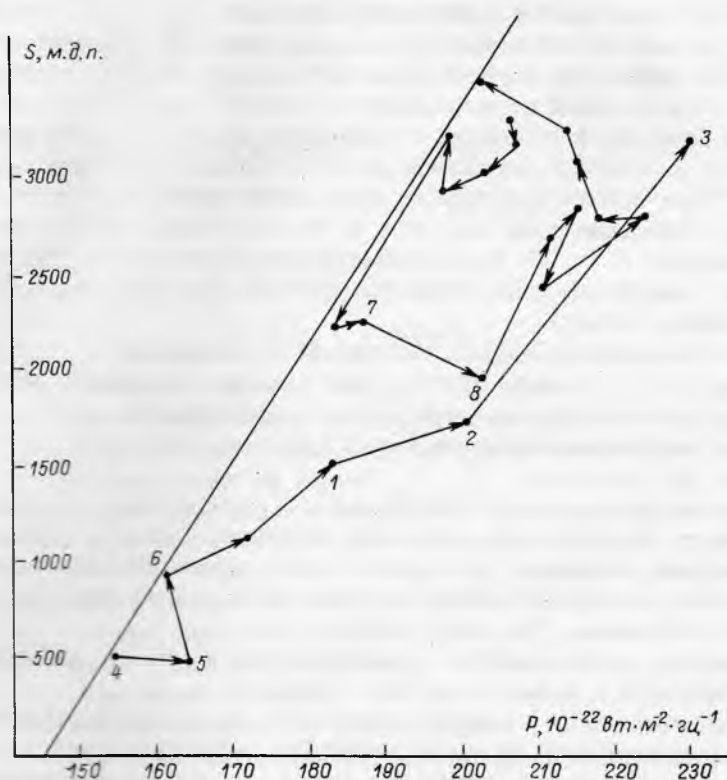


Рис.4

на вспышечно-активная группа (избыточный поток радиоизлучения на волне 5.0 см, связанный с одной из существующих групп пятен). При этом расстояние точки до прямой является мерой уровня всплесковой активности в течении следующих суток (см. перемещение точки 1 в точку 2 на рис.4). Либо из-за края солнечного диска вышла новая группа пятен, для которой площадь S еще не может быть измерена. Выбор между этими двумя возможностями может быть сделан по параллельным наблюдениям на волнах 2 и 3 см, на которых при выходе развитой группы пятен происходит одновременный рост потока. Если вышедшая группа не является вспышечно-активной, точка возвращается на "базовую" прямую (точки 4,5,6 на рис.4), когда оказывается возможным измерить достаточно уверенно площадь выходящей группы. Аналогичная ситуация имеет место и при заходе группы пятен.

Перемещение точки (S, P) параллельно "базовой" прямой, т.е. одновременный пропорциональный рост потока радиоизлучения и площади пятен свидетельствует об уменьшении уровня всплесковой активности (точки 2,3

на рис.4). Суточное перемещение точки в направлении от "базовой" прямой (рост потока радиоизлучения при уменьшении площади группы) является признаком резкого усиления всплесковой активности (см. точки 7,8 на рис.4). Перемещение точки в направлении к "базовой" прямой (избыточный поток радиоизлучения уменьшается) указывает на то, что в этот промежуток времени происходят всплески. Величина перпендикулярной составляющей по направлению к "базовой" прямой указывает на уровень всплесковой активности (уменьшается избыточный поток радиоизлучения и увеличивается площадь активной группы (см. точки 9,10 на рис.4). Если наблюдается рождение новой группы пятен на диске, то происходит перемещение точки под углом к "базовой" прямой (с ростом обоих параметров P и S) с преимущественным ростом потока на волне 5.0 см, если группа будет вспышечно-активной. При такой ситуации возможны слабые всплески.

На основании приведенных соображений и рекомендаций на протяжении двух лет (с декабря 1977 г.) нами давались экспериментальные прогнозы всплесковой активности Солнца в сантиметровом диапазоне волн. По нашим оценкам оправдываемость этих прогнозов составляла 92% (при массиве 340 прогнозов).

Приведенные результаты показывают, с одной стороны, реальную возможность прогнозировать вспышечную активность Солнца по параметру сантиметровых всплесков, а с другой сделать предварительные заключения о связи всплесковой активности групп пятен с параметрами их локальных источников. Так, можно ожидать, что

избыток излучательной способности источника (P/S) наблюдается преимущественно у вспышечно-активных групп, что

наиболее сильные всплески появляются вслед за спадом избыточного потока радиоизлучения при сохраняющейся или растущей площади группы и что характер изменения спектра при выходе л.и. существенно отличается от спектра развивающейся группы пятен (в последнем случае рост потока начинается с более длинной волны 5.0 см). Некоторые из этих особенностей, как было указано выше, отмечались при наблюдениях с высоким разрешением [8], другие требуют дальнейших исследований и проверки на больших радиотелескопах. Использование нами в этой работе малой антенны, измеряющей только интегральный поток радиоизлучения Солнца, иногда ограничивает возможности составления уверенного прогноза, особенно в периоды, когда на Солнце происходит параллельное изменение потоков нескольких л.и. В этом случае большую ценность, видимо, могут представлять данные наблюдений на больших радиотелескопах, например, на БПР, чтобы сделать прогноз более детальным и однозначным.

В заключение выражаю благодарность М.Н.Гневнышеву и Г.Б.Гельфрейху за помощь, оказанную при обсуждении результатов наблюдений, и ценные советы.

Литература

- [1] Г.Б.Гельфрейх и др., Солн.данные, № 9, 1974.
- [2] В.В.Железняков. Радиоизлучение Солнца и планет.М., 1964.

- [3] M.R.Kundu. Solar Radio Astronomy. N.-Y., 1965.
- [4] Г.Б.Гельфрейх и др., Изв.ГАО АН СССР, № 185, 1970.
- [5] Н.Г.Петерова, Изв.САО АН СССР, вып.6, 1974.
- [6] В.Н.Ихсанова, Изв. ГАО АН СССР, № 164, 1960.
- [7] Г.Б.Гельфрейх и др., Солн.данные, № 1, 1975.
- [8] В.Н.Боровик, Сообщ. САО АН СССР, вып.15, 1975.

Главная астрономическая
обсерватория АН СССР

Поступила в редакцию
18 сентября 1978 г.
после переработки 2 ноября
1979 г.