

О методике прогнозирования солнечных протонных
вспышек на БПР на основе критерия Танаки-Эноме

Г.Б.Гельфрейх, Н.Г.Петерова, С.В.Цветков

On the Method of Solar Proton Flare Forecasting with the
Pulkovo Large Radio Telescope Using the
Tanaka-Enome Criterion

G.B.Gelfreich, N.G.Peterova and S.V.Tsvetkov

Abstract

On the basis of observations of a series of proton-active solar regions (Soln.Dann.Bull. N 337,340,1978; Soln.Dann.Bull.N 484,1981; Soln.Dann. Bull.N 2,1985), with the PLRT specificities of the application and ways for the improvement of the Tanaka-Enome method for solar proton events forecasting are analysed. A new criterion has been introduced, a criterion of the rate of radio flux enhancement at 4.4 cm.

Критерием Танаки-Эноме называют набор характеристик микроволнового излучения активных областей на Солнце, который количественно отличает "вспышечные" области от "спокойных". Согласно этому критерию протонные вспышки могут возникать в активных областях, у которых спектральная плотность потока излучения на волне 3 см больше 10 солнечных единиц потока ($F_3 \geq 10$ с.е.п.), отношение потоков на волнах 3 и 8 см больше 1 ($F_3/F_8 \geq 1$), структура циркулярно поляризованного излучения на волне 3 см носит сложный (биполярный или мульти-полярный) характер - так называемые E- и P-конфигурации [1,2].

Критерий Танаки-Эноме подвергался неоднократной проверке по наблюдениям на независимых инструментах [3-5], показавшей его высокую оправдываемость (≈ 0.9). Можно ожидать, однако, что критерий не исчерпал своих возможностей и может быть усовершенствован. Перспективы в этом направлении связаны главным образом с расширением спектрального диапазона и более полным его заполнением.

Как известно [1,2], прогнозирование по критерию Танаки-Эноме можно производить, используя наблюдения Солнца с высоким одномерным пространственным разрешением, выполненные в режиме прохождения. В работах [1,2] для этой цели применялись линейные интерферометры, име-

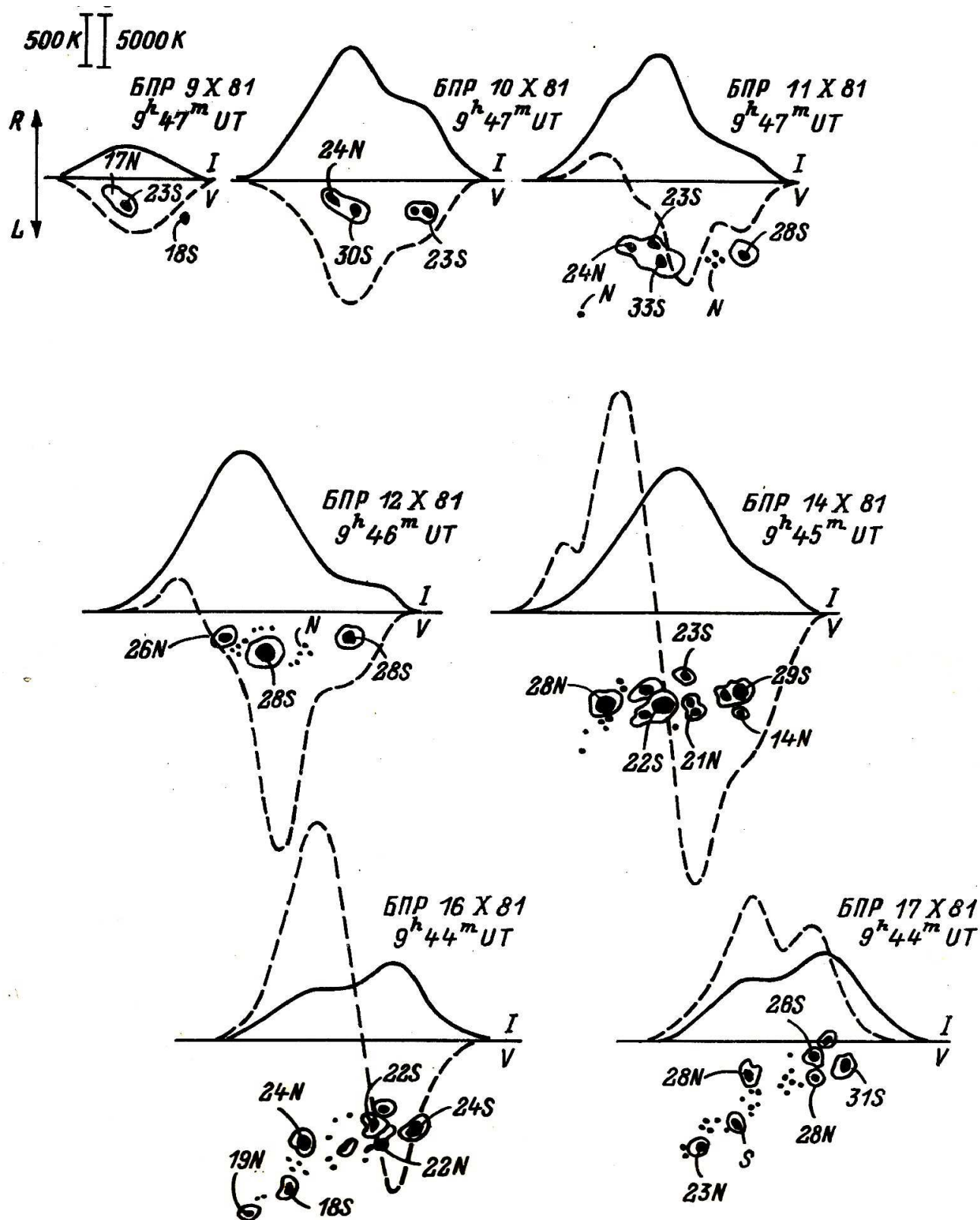


Рис. I

вшие первоначально разрешение $2'.2 \div 4'.5$, улучшенное впоследствии до $1'.1$. В СССР инструментом с аналогичными характеристиками является большой пулковский радиотелескоп (БПР), разрешающая способность которого в диапазоне $3 \div 9$ см составляет $1'.1 \div 3'.5$ в зависимости от длины волны. В результате наблюдения Солнца на БПР получаются одномерные сканы, при обработке которых учитываются параметры диаграммы направленности инструмента как по каналу интенсивности (I), так и

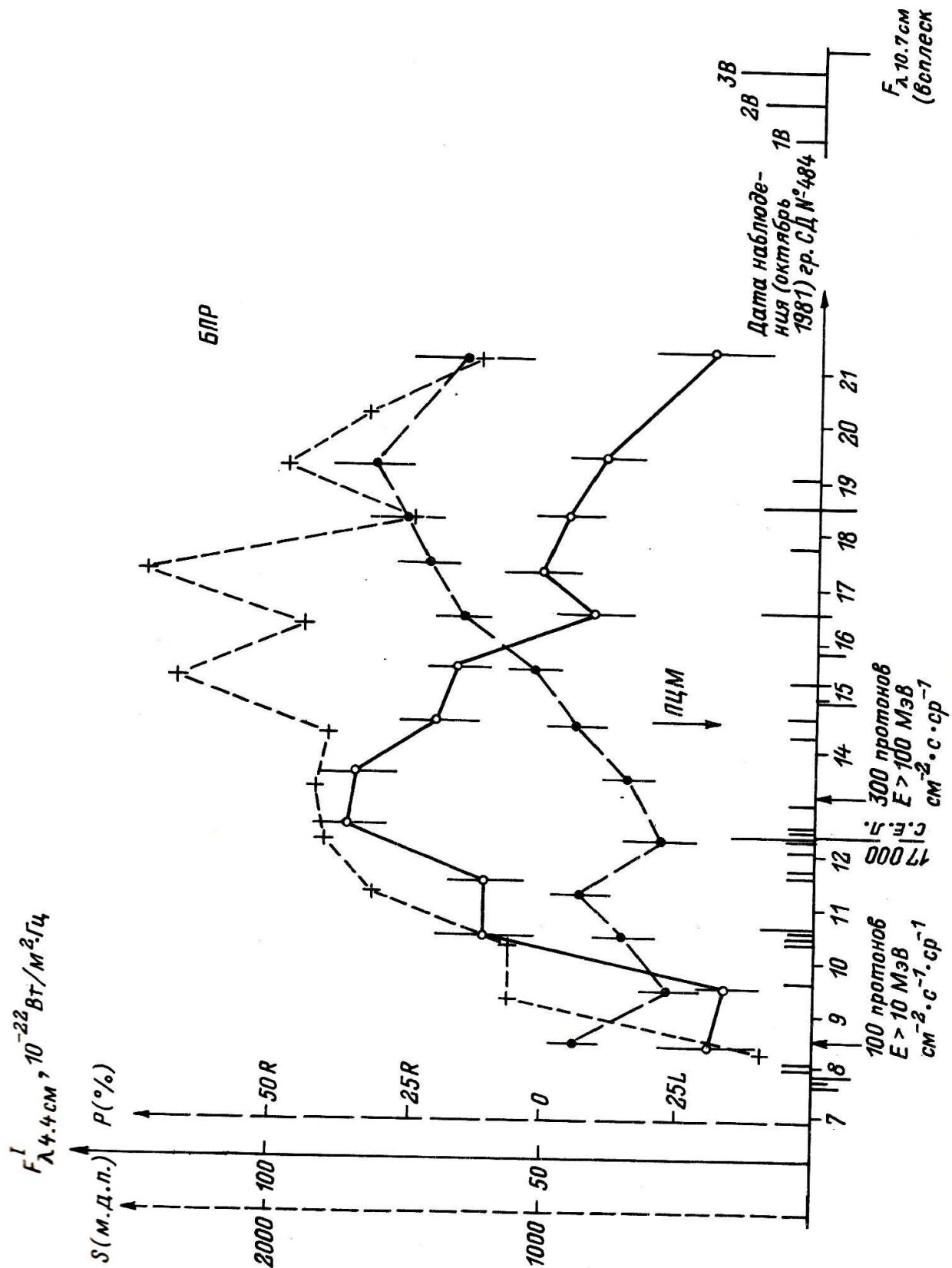


Рис.2а

по каналу круговой поляризации (V), в частности специальной обработкой [6] исключаются значительные диаграммные искажения в записи круговой поляризации. После разделения скана на В- и S-компоненты для каждого локального источника радиоизлучения получается одномерное распределение яркости в обоих каналах на нескольких длинах волн сантиметрового диапазона. Эти кривые и являются исходным материалом для прогнозирования по критерию Танаки-Эноме.

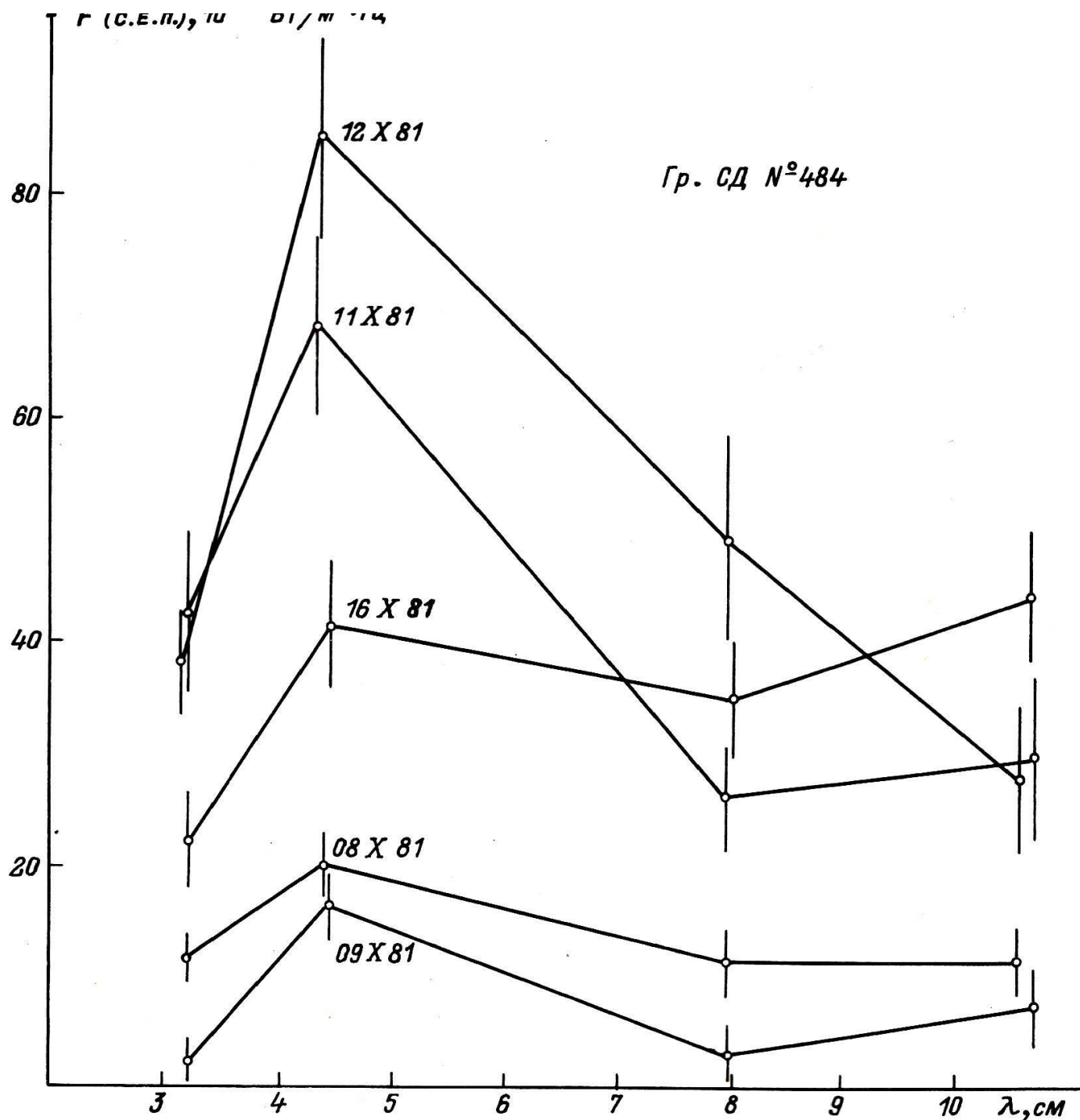


Рис.26

Результаты анализа локальных источников по методике Танаки-Эноме представлены на примере трех протонно-активных областей на Солнце.

I. Локальный источник группы пятен СД № 484 (1981г.,
прохождение центрального меридиана 14 октября)

Протонные вспышки в активной области имели место дважды: в период нахождения за восточным лимбом (приход протонов 8 октября) и 12 октября (приход протонов 13 октября).

Исходные данные для этого локального источника, полученные из наблюдений на БПР на одной волне (4.4 см), иллюстрируются рис.1. Здесь же в том же масштабе приводится вид группы пятен согласно фотогелиограммам, полученным на ГАС. Результаты обработки этих данных представлены

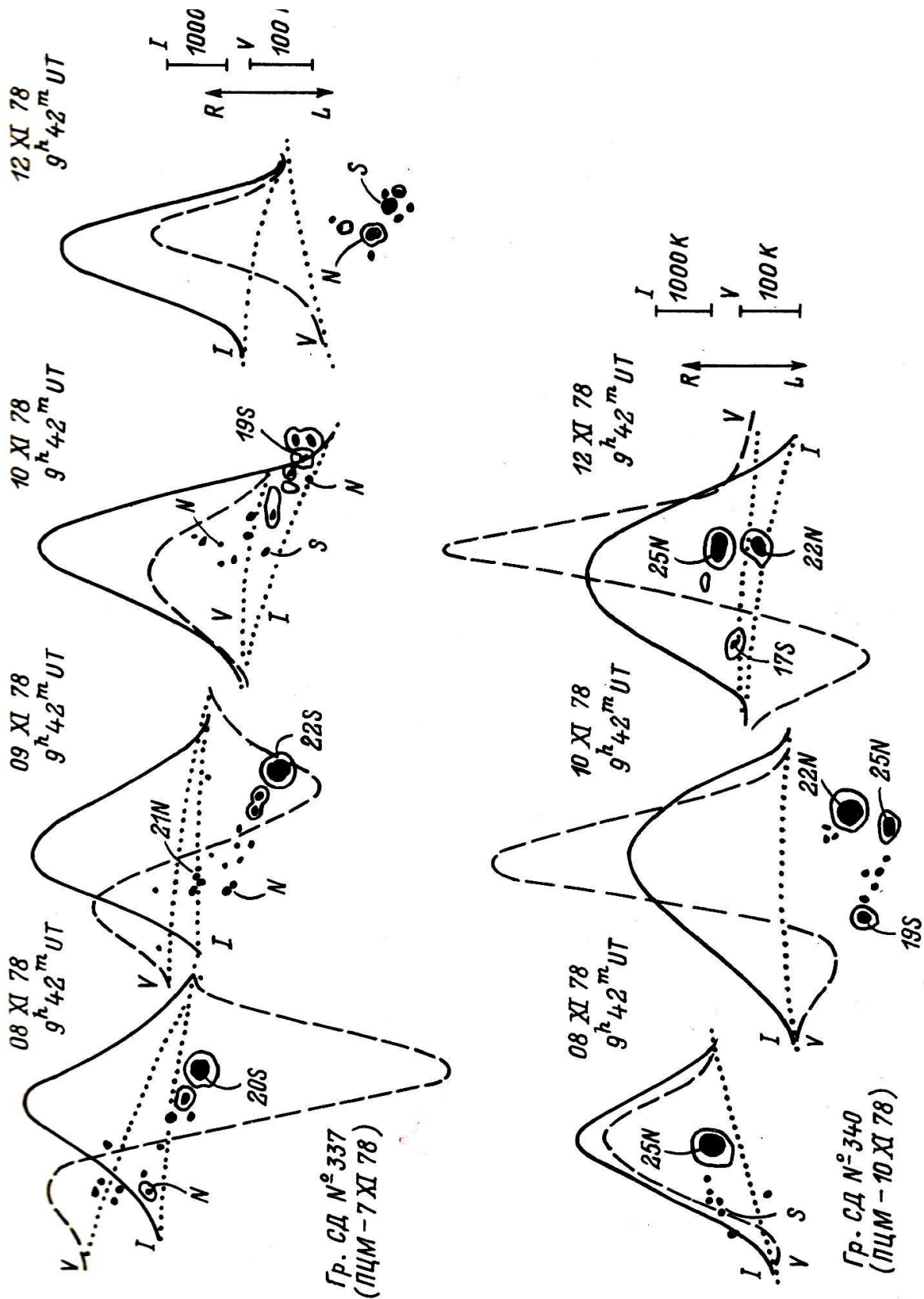


Рис.3

на рис. 2а и 2б. На рис. 2а приведено изменение со временем потока и степени поляризации излучения ($F_{4,4}^I$ и $P_{4,4}$), а также площади группы пятен (S_p). На шкале времени отмечены все крупные вспышки (1В - 3В), мощные радиовсплески и моменты приходов протонов. Рис.2б иллюстрирует развитие спектра локального источника радиоизлучения. Рассмотрим эти данные с точки зрения критерия Танаки-Эноме. Из рис.2а и 2б видно, что F_3^I и $F_{4,4}^I$ в период про -

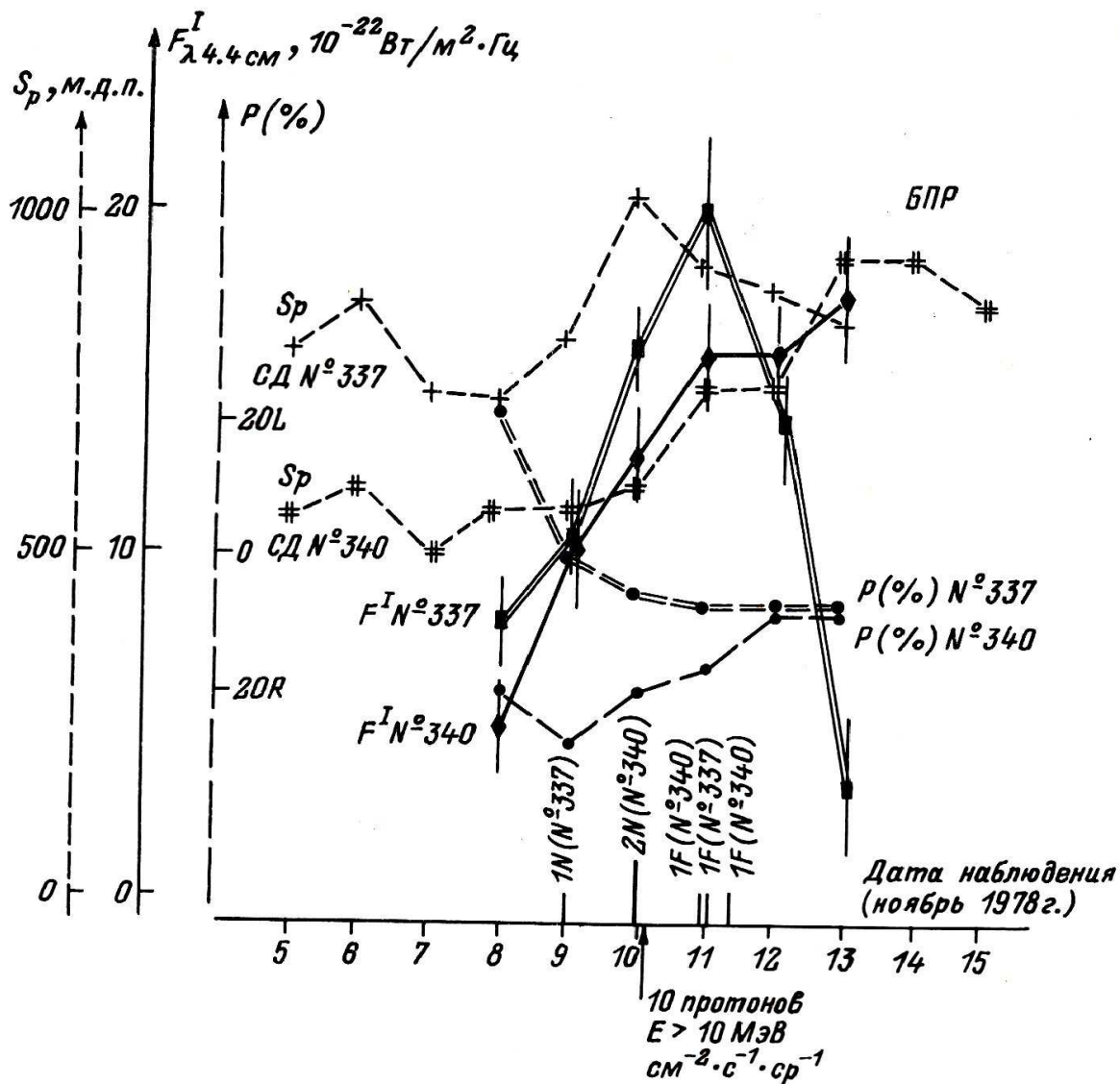


Рис.4

тонной вспышки 12 октября имеют anomalно высокие значения ($40 \div 80$ с.е.п.), что с большим запасом удовлетворяет первой части критерия. Прогноз возможности этой вспышки по параметру $F_{4.4}^I$ можно было бы дать уже 10 октября, т.е. с заблаговременностью в двое суток. Сразу же отметим, что предвспышечный период (9–12 октября) характеризуется быстрым ростом потока на волне 4.4 см, который составляет 50 с.е.п./сутки 9 декабря. Что касается второй части критерия, то наиболее чувствительной к предвспышечной ситуации величиной оказывается отношение $F_{4.4}^I / F_{10.7}^I$. С 9 октября оно составляет $2 \div 2.5$ и уменьшается до значений порядка 1, лишь когда основные события в активной области были уже позади. Анализ данных согласно третьей части критерия (см. рис.1) показывает, что структура поляризованного излучения в предвспышечный период носит практически униполярный характер (S-конфигурация), который не позволяет прогнозировать протонную вспышку. Однако этот результат, по всей вероятности, говорит не о том, что третья часть критерия не оправдывается, а лишь о том, что она нуждается в уточнениях, учитывающих положение локального источника на диске Солнца. Дело в том, что протонно-опасная конфигурация поляризованного излучения этого локального источника появляется позднее

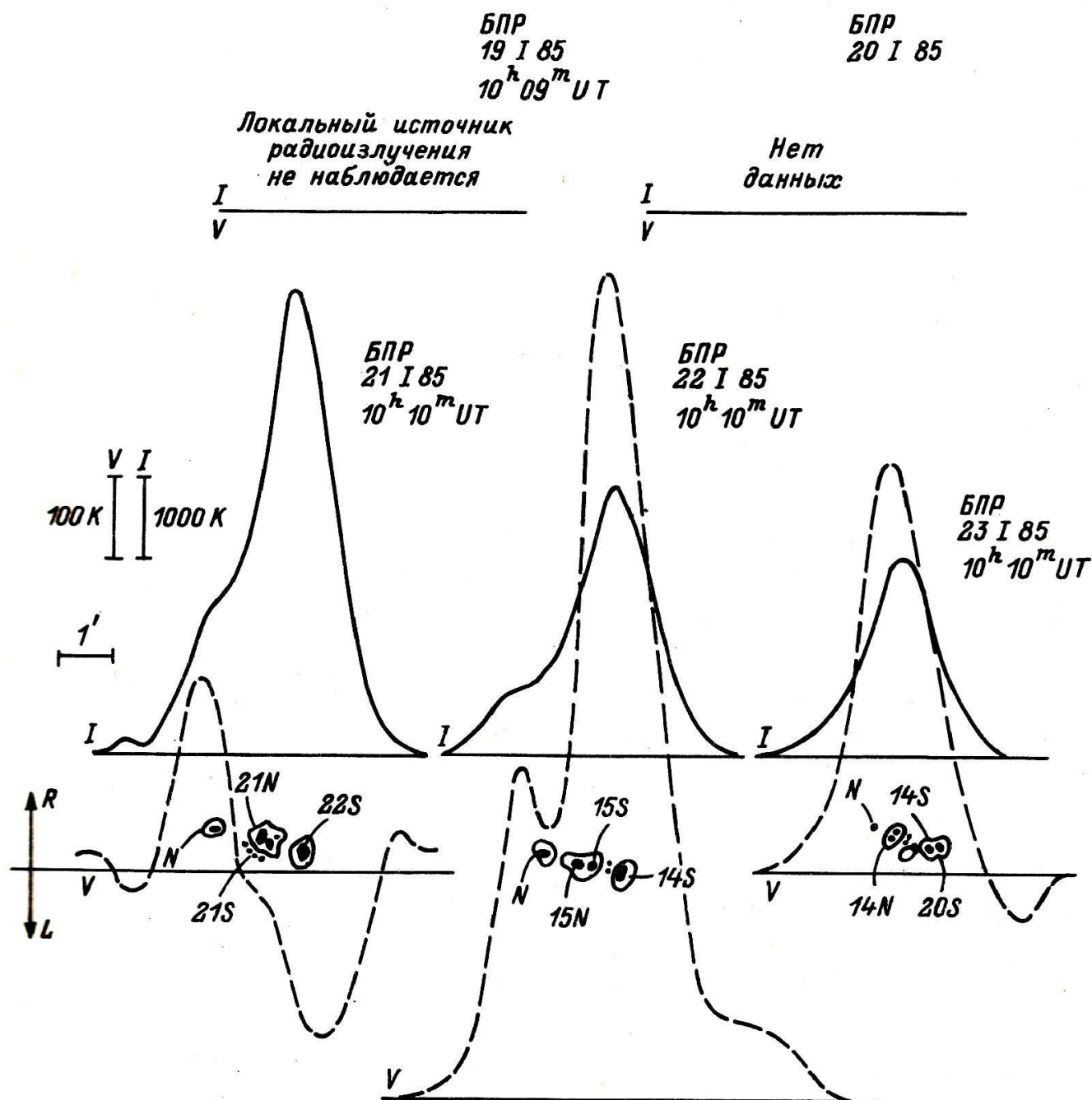


Рис. 5

(14 октября). Можно предположить, что в предвспышечный период она **маскировалась** эффектами, связанными с распространением поляризованного излучения в короне в поперечных полях, влияние которых наиболее существенно при нахождении локального источника вблизи лимба (при долготах, больших 45°). Для таких активных областей собственная поляризация (отражающая условия генерации излучения, а не его распространения) наблюдается только вблизи центрального меридиана [7]. Для активной области СД#484 таким периодом, по-видимому, является 14–16 октября. Из рассмотрения рис. 1 совершенно очевидно влияние условий распространения на поляризованное излучение этого локального источника при переходе его в западное полушарие Солнца (см. на рис. 1 данные за 17 октября), когда источник вновь становится униполярным, но уже другого, чем в восточном полушарии знака. Заметим, однако, что как 10–12 октября (вблизи восточного лимба), так и

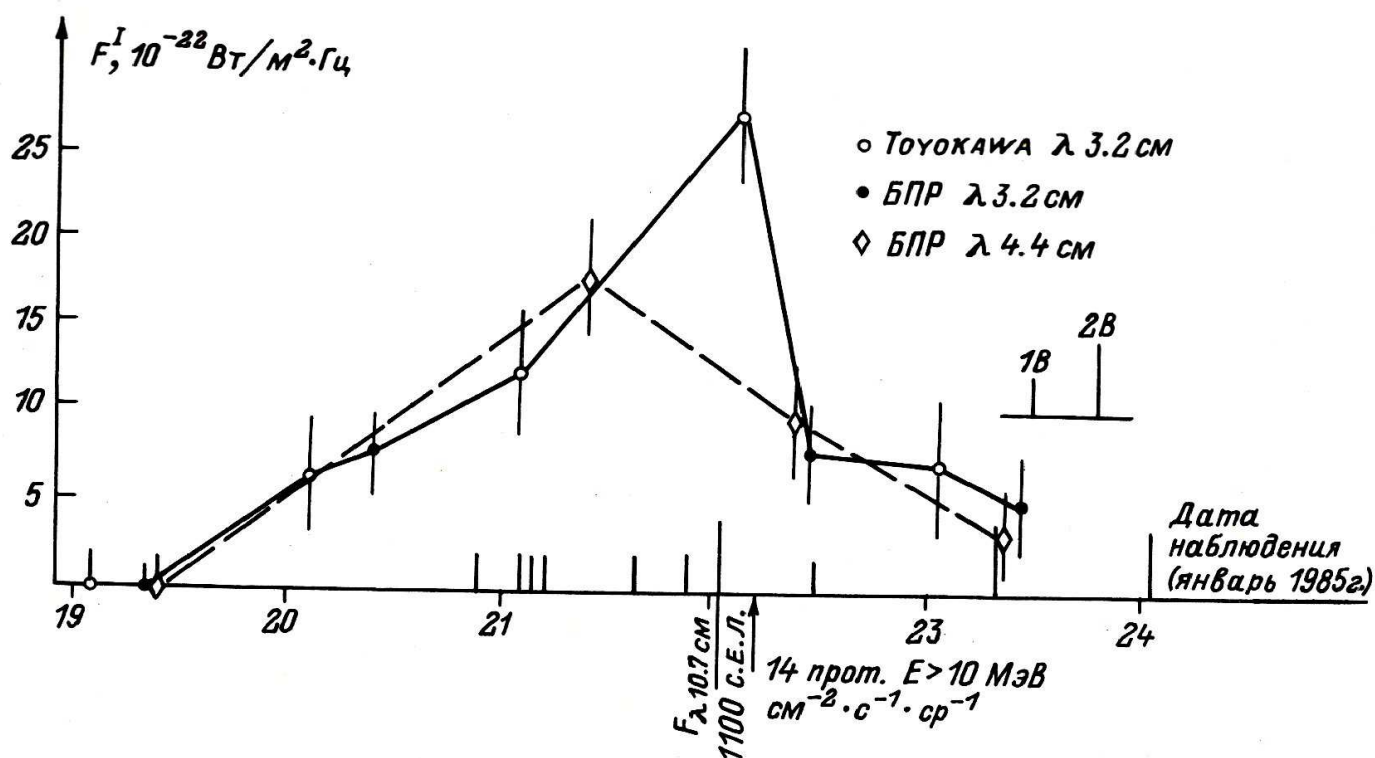


Рис.6

17 октября (возле западного) на кривой канала V имелось два максимума (одного знака), что с учетом инверсии поляризации могло быть интерпретировано как проявление многоцентрового (по сильному магнитному полю) источника с разными знаками поля. Таким образом, формально следует давать прогноз с 14 октября. Правильность такого прогноза возможности слабых (субрелятивистских) событий косвенным образом подтверждается наличием мощных вспышек (2B) и всплесков в период 16–18 октября (см.рис.3а).

2. Локальные источники групп пятен СД№337 и №340 (1978 г.)

Исходные данные и некоторые результаты обработки для этого случая представлены на рис.3 и 4. Опуская подробный анализ, поскольку он аналогичен предыдущему случаю, приведем наиболее интересные заключения.

Согласно[8], наиболее вероятным источником наблюдавшегося 10 ноября 1978 г. потока протонов явилась активная область СД№340 и в значительно меньшей степени СД№337. Однако результаты анализа наблюдений на БПР дают основания предположить, что протонная вспышка имела место в активной области СД№337, а не в СД№340. В пользу этого свидетельствуют более резкие изменения в поведении поляризационной структуры, которая для СД№337 накануне вспышки имела четкую E-конфигурацию, сразу после вспышки перешедшую в S-конфигурацию (см.рис.3). Дополнительным соображением в пользу СД№337 является также большая по сравнению с СД№340 скорость роста потока $F_{4.4}^I$, что отмечалось и в ранее рассмотренном случае активной области СД№484 (1981 г.).

3. Локальный источник группы пятен CME2 (1985 г.)

Исходные данные и результаты обработки представлены на рис.5 и 6. Особенностью этого случая является тот факт, что протонная вспышка произошла в только что возникшем центре активности (на вторые сутки существования). Как и в предыдущих двух случаях, предвспышечный период характеризовался быстрым ростом потока F^I , его скорость на волне 4.4 см составляла около 9 с.е.п./сутки.

Результаты наблюдений на БПР для данного случая в основном подтверждают закономерности, формируемые критерием. Так, например, F_3^I и $F_{4.4}^I$ накануне вспышки превышают 10 с.е.п., а поляризационная структура имеет ярко выраженную E-конфигурацию, предвещающую приход субрелятивистских частиц.

4. Выводы

Описанные в работе три примера возможного применения критериев Танаки-Эноме прогноза протонных событий с использованием данных наблюдений Солнца на БПР в диапазоне 4.5 см позволяют сделать следующие заключения:

1. Всем протонным активным областям, дававшим протонные вспышки, были присущи высокие значения потоков радиоизлучения ($F^I \geq 10$ с.е.п.) в соответствии с критерием, обычно применяемым к данным на волне 3 см.

2. Для всех протонных событий выполнялся также критерий $F_{4.4}^I / F_{4.7}^I > 1$, аналогичный критерию Танаки-Эноме $F_3^I / F_8^I > 1$.

3. Критерий наличия E-конфигурации в записи поляризованного излучения выполнялся лишь в одном из трех случаев (группа CME2 (1985 г.)), когда локальный источник находился вблизи центрального меридиана. В двух других случаях наблюдались конфигурации с одним знаком поляризации. Однако это может объясняться зависимостью поляризационного признака от гелиодолготы: вблизи лимба Солнца, особенно западного, действие этого признака затруднено влиянием условий распространения, вследствие чего собственная поляризация излучения претерпевает инверсию и структура поляризационного изображения резко меняется.

4. Быстрый рост потока на волне 4.5 см ($\Delta F / \Delta t > 9$ с.е.п./сутки) во всех случаях за 1-2 суток предшествовал протонной вспышке. Подобные изменения потока отмечены также и на волне 3.2 см. Однако на этой волне они имели менее контрастный характер. Нам не известно из литературы никаких данных об использовании данного критерия, поэтому его статистическая значимость нуждается в дальнейших исследованиях.

Литература

1. Tanaka H., Kakinuma T./ Rep. Ionosph. Space Res. Japan. 1964. Vol.18. P.32-38.
2. Tanaka H., Enome S./ Solar Phys. 1975. Vol.40. P.123-130.
3. Emmoku S./ Rev. Radio Research Laboratory. 1979. Vol.25. No.134. P.172-176.

4. Коробчук О.В., Петерова Н.Г./XIII Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы. Киев. 20-23 апреля 1981 г. Тезисы докладов. Киев. 1981. С.17.
5. Коробчук О.В., Петерова Н.Г./ В сб.: Радиоизлучение Солнца, вып.5. Л. 1980.С.102.
6. Коржавин А.Н./ Сообщ.САО.1976.№ 16. С.43-62.
7. Ахмедов Ш.Б., Петерова Н.Г./ АЖ. 1973.Т.50.С.1220-1232.
8. Каталог солнечных протонных событий 1970-1979 гг./ М.: ИЗМИРАН.1982.

Главная астрономическая
обсерватория АН СССР,
Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР

Поступила в редакцию
5 февраля 1988 г., в
окончательной форме
22 мая 1989 г.

Эмиссия в линиях нейтрального и ионизованного железа
в солнечных вспышках

Э.А.Барановский, Е.В.Курочка

The FeI and FeII Lines Emission in Solar Flares

E.A.Baranovsky and E.V.Kurochka

Abstract

Two flare models are calculated which interpret the observed profiles of Balmer lines H_{α} , H_{β} , H_{δ} and iron lines. It is shown that the models with a temperature increase only in the chromosphere (above the temperature minimum region) do not provide for an agreement between theoretical and observed profiles for Balmer and iron lines. An agreement is achieved only for the models which have the increased temperature in the photospheric layers as well - to the depth of $N = 8 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-2}$. A conclusion is made that the iron lines emission is present only in flares with deep penetration of heating process. The Balmer lines of such flares have wide profiles with extended wings.

Эмиссионные линии металлов наблюдаются практически во всех вспышках балла 2-3. Подробные каталоги этих линий можно найти, например, в [1-5]. Наиболее многочисленными являются линии нейтрального железа.

Одновременная интерпретация линий водорода и металлов во вспышках встречается со значительными трудностями, в частности, определенные по полуширинам линий турбулентные скорости v_t различаются в некоторых исследованиях почти на порядок: для водорода v_t около 90 км/с, для железа - 8 км/с [6]. При возникновении такого рода противоречий иногда авторами делается вывод, что эмиссия водорода и