

ПЕКУЛЯРНЫЙ ИСТОЧНИК В СТРУКТУРЕ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ AR 8108 ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАТАН-600

Петерова Н. Г.^a, Рябов Б. И.^b, Тохчукова С. Х.^c

^a С-Пб филиал Специальной астрофизической обсерватории, Санкт-Петербург

^b Вентспилский международный радиоастрономический центр, Рига

^c Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п.Нижний Архыз, 369167, Россия

Аннотация. Представлен анализ радиоизлучения активной области AR 8108 (ноябрь 1997 г.), в которой по многим признакам должны были происходить мощные вспышечные события, но они не наблюдались. В этой АО более 4 дней существовала необычная деталь структуры радиоизлучения, отождествленная с одним из оснований стримера, берущего начало в дельта - конфигурации фотосферного магнитного поля. Высказывается предположение, что именно через этот стример постепенно, в течение нескольких суток, "стекала" избыточная энергия магнитного поля АО, чем объясняется отсутствие мощных кратковременных событий в виде вспышек. Впервые в см диапазоне получены спектрально-поляризационные характеристики радиоизлучения источника, связанного с корональным стримером, которые свидетельствуют о том, что пекулярная деталь представляет собой оптически тонкий в см диапазоне источник теплового тормозного излучения. Полученные спектр и степень круговой поляризации излучения пекулярного источника позволили оценить соответствующие значения электронной температуры, концентрации электронов и напряженности магнитного поля на высотах $h \leq 2 \cdot 10^9$ см, которые оказались равными $T_e = 2.0 \div 2.5 \cdot 10^6$ К, $N_e = 7 \cdot 10^9$ см⁻³ и $H = 50$ Гс.

Ключевые слова: радиоизлучение Солнца – прогноз солнечных вспышек – пекулярный источник – корональный стример

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известно много признаков, которые характерны для вспышечно - опасной активной области (АО). (1) Подмечено (см. обзор (Martin 1980)), что всплытие нового магнитного потока и усложнение структуры магнитного поля, особенно образование дельта - конфигурации, ведет к возникновению вспышек. (2) Более часто вспышки происходят в АО, большая часть которых сильно наклонена к плоскости солнечного экватора. (3) Начиная с работ Северного (Moreton et al., 1968), отмечалось, что области генерации мощных событий связаны с местами высоких значений вертикальных токов в АО. (4) Повышенная вспышечная активность характерна также для АО, где наблюдается движение пятен, вихревые процессы, исчезновение волокон и т.п. По наблюдениям в радиодиапазоне были предложены два основных способа, позволяющих судить о возможности возникновения крупных вспышек: (1) исследование характеристик источников S-

компоненты (критерий Танаки - Эноме) (Tanaka et al., Tanaka et al., 1975, Коробчук et al., 1980) и (2) исследование флуктуаций солнечного радиоизлучения (Kobrin et al., 1978). В последние годы также установлено, что в структуре вспышечно - активных АО появляются так называемые пекулярные детали, ассоциирующиеся (Ватрушин et al., 1989) с корональными арками над изгибом нейтральной линии. Совокупность перечисленных признаков, получаемых по наблюдениям в широком диапазоне электромагнитного излучения, позволяет прогнозировать крупные вспышечные события. Однако оправдываемость этих прогнозов еще недостаточно высока. Нередко встречаются случаи, когда большая вспышка возникает в кажущейся "спокойной" АО, и наоборот. В данной работе мы исследуем такой случай - AR 8108, которая не произвела ожидавшихся (по ряду признаков) мощных вспышек. Однако оказалось, что активность в ней проявлялась в другой форме - в виде корональных выбросов массы (КВМ; coronal mass ejection)

на предыдущих оборотах, и двух длительно существовавших крупных корональных стримеров.

Стримеры принадлежат к одной из наиболее живописных структур средней и нижней короны благодаря своей специфической шлемовидной (helmet-like) форме. Они известны еще из зарисовок белой короны во время солнечных затмений и к настоящему времени достаточно хорошо изучены (см. обзор (Koutchmy et al., 1997)). Возможности исследования этой интересной структуры значительно возросли с началом наблюдений в мягком рентгене (Cheng et al., 1994), что позволило наблюдать нижнюю часть этих объектов не только на лимбе, но и на диске Солнца. Сейчас установлено, что корональные стримеры являются крупномасштабными и устойчивыми структурами арочной формы, простирающимися в корону на высоту до 2 - 3 радиусов Солнца и существующими иногда в течение нескольких оборотов. Арка стримера состоит из (1) основания, (2) нижней части ($\sim 10^5$ км), называемой шлемовидной (helmet-like) петель, в вершине которой зачастую находится уярчение в виде каспа (cusp), и, наконец, (3) верхней части, сильно вытянутой в виде нитей или луча, возможно, достигающего орбиты Земли. Подмечено, что ось коронального стримера, как правило, наклонена к солнечному экватору (до 60°), причем наклон больше в период минимума солнечного цикла. На угол наклона влияют другие крупномасштабные магнитные структуры, окружающие стример. Все это хорошо видно на примере исследуемого нами случая AR 8108, больший из стримеров которой простирается в направлении расположенной в южном полушарии другой АО (Рис. 1, с).

Известные из наблюдений свойства корональных стримеров достаточно хорошо моделируются. Модельные расчеты показывают, что магнитное поле стримера можно представить себе как арочную структуру закрытого типа, заключенную в оболочку из открытого поля. Эти поля разделены тонким токовым слоем толщиной ~ 500 км для "спокойного" стримера, который сужается до 10 см в период вспышки (Pneuman et al., 1972, Somov et al., 1992). Согласно модели, плотность плазмы коронального стримера на порядок превышает фоновые значения, а температура стримера ниже фоновой ($\sim 1 \div 1.5 \cdot 10^6$ К).

Предположительно, стример образуется вследствие подъема горячей плазмы, которая "надувает пузырь", вытягивая его вверх. В результате, в верхней короне происходит перезамыкание магнитного поля и образование токового слоя (Schultz 1994). Считается, что корональные стримеры могут быть ответственны за медленную компоненту солнечного ветра и вынос в межпланетное пространство солнечных магнитных полей.

В радиодиапазоне наблюдения корональных стримеров проводились в основном на метровых и дециметровых волнах (Lantos et al., 1987, Lantos et al. 1992) с помощью радиогелиографов Nancay и Clark Lake, т.е. наблюдения относились к верхней части стримеров. В этом диапазоне (метры - дециметры) получен спектр яркостных температур. Анализ его в рамках теплового тормозного механизма излучения показал, что температура внутри стримера выше на 10- 30 %, чем снаружи. Обнаружено, что вблизи каспа наблюдаются радиовсплески III типа, что подтверждает существование токового слоя внутри стримера. Для объяснения результатов наблюдений на длинных волнах были выполнены модельные расчеты (Chiuderi-Drago 1994), которые показали, что существующие теоретические модели стримеров нуждаются в модификации.

2. ОПИСАНИЕ AR 8108

Активная область AR 8108 (гелиоширота $19^\circ.5N$, прохождение центрального меридиана (ПЦМ) 20.1 XI) наблюдалась в Кэррингтоновском обороте No.1929 и имела площадь ~ 300 м.д.п.. Она характеризовалась сложной структурой магнитного поля на уровне фотосферы и отличалась значительной динамикой. В головной части группы пятен отмечалась дельта-конфигурация магнитного поля, особенно четко выраженная 17 - 21 XI. Магнитное поле в пятнах, составлявших дельта-конфигурацию, различалось по напряженности примерно вдвое (1150 Гс N-полярности и 750 Гс - S на 19 XI). Нестабильной была и хвостовая часть группы, пятна в которой то укрупнялись (16 XI, 21 - 23 XI), то дробились. В межпятенном пространстве происходило всплывание нового магнитного потока, по знаку магнитного поля совпадавшего с полем основного головного пятна. На уровне фотосферы образование нового пятна в межпятенном пространстве фиксируется 21 XI.

На изображениях AR 8108 в мягком рентгене в течение всего периода наблюдений видны два корональных стримера, расположенные в ортогональных плоскостях (Рис. 1, с). Один ориентирован вертикально, а ось другого была сильно наклонена к солнечному экватору и вытянута в S - W направлении более чем на 500 тыс. км. Этот крупный стример одним концом опирался на разнополярные пятна дельта-конфигурации магнитного поля вблизи головного пятна. Наиболее яркая часть рентгеновских петель в основании коронального стримера образовывала узкую полосу протяженностью ~ 20 тыс. км.

На предшествующем обороте No.1928 наблюдались несколько KBM (19 X, 1 XI (Dere et al., 1999), 23 X), совпадающих по положению с коор-

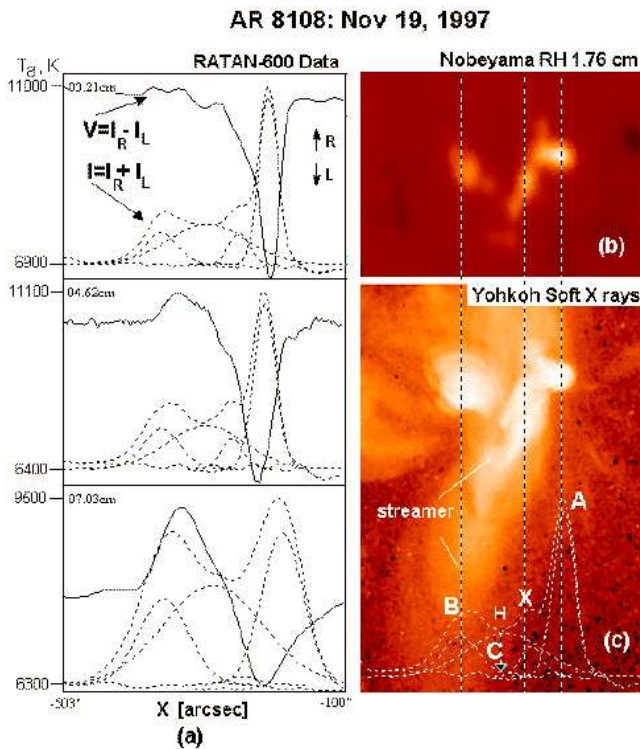


Рис. 1: Структура AR 8108 по данным РАТАН-600 (a), Nobeyama (b) и Yohkoh (c). Вертикальными пунктирными линиями указаны положения деталей радиоизлучения АО. Стрелкой указано место на скане, где 21 XI появится деталь C.

динатами AR 8108 с точностью 15 - 20 °. В следующем обороте No.1929, уже при выходе на солнечный диск в АО наблюдаются 2 стримера. Исходя из закономерности, найденной в (Sterling et al., 2000), можно предположить, что образование этих стримеров является последствием KBM типа гало.

Как уже было отмечено, AR 8108 характеризовалась слабой вспышечной активностью. Только одна вспышка (15 XI) достигла балла 1N. В остальные дни регистрировались слабые вспышки балла SF.

Такое описание согласуется с характеристикой AR 8108 в работах авторов (Canfield et al., 1999, Gibson et al., 1999), где она включена в список 23 активных областей 1997 года для изучения так называемых сигмоидных структур (предвестники KBM - Rust et al., 1996), наблюдавшихся в мягком рентгене и ультрафиолете. Исследуемая АО наблюдалась также на радиотелескопе VLA (Willson et al., 1998).

3. НАБЛЮДЕНИЯ И ИХ ОБРАБОТКА

Наблюдения AR 8108 выполнены на радиотелескопе РАТАН-600 с помощью ПАС (Богод et al., 1993) в диапазоне 1.8 – 15.4 см с разрешением $15'' \times 13'5 - 131'' \times 101'$ соответственно. На Рис. 1, а показано, как с помощью гаусс - анализа были выделены отдельные детали структуры Локального Источника (ЛИ) радиоизлучения на разных волнах. При этом в силу недостаточной разрешающей способности наблюдений на РАТАН-600 в длинноволновой части спектра (на волнах > 5 см), близкорасположенные детали (А и X, см. ниже) были разделены искусственно, на основе сведений о координатах и размерах этих деталей, полученных из наблюдений на коротких волнах. Для отождествления деталей ЛИ были использованы данные со спутников SOHO, Yohkoh и радиогелиографа Nobeyama (Рис. 1, b, c).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ.

В структуре ЛИ по наблюдениям на РАТАН-600 можно выделить детали трех типов (см Рис. 1, c): (1) детали А, В и С - это яркие компактные источники, связанные с основными пятнами группы, А и В - головное и хвостовое пятна соответственно, С - новое пятно, образовавшееся между ними 21 XI; (2) деталь Н - гало, протяженный источник с размерами порядка размеров всей АО, ассоциирующийся с ее магнитосферой, в вершине которой удерживается излучающая плазма; (3) деталь X - пекулярный источник, который мы отождествляем с яркой частью петель в основании коронального стримера, протяженностью ~ 20 тыс. км.

Для всех выделенных деталей были получены спектры потоков, яркостных температур и степени поляризации. Для трех дней 19 - 21 XI они усреднены и представлены на Рис. 2. На основе этих характеристик можно судить о природе излучения каждой детали ЛИ. Наиболее очевидно происхождение детали А - это циклотронное излучение корональной плазмы в сильном магнитном поле головного пятна. Об этом свидетельствуют размеры детали $\sim 30''$, близкие к размерам полутени соответствующего пятна, а также характер спектра потоков с максимумом на волнах 5 - 7 см. Степень круговой поляризации излучения детали А была, скорее всего, более высокой, чем измеренная на РАТАН-600 ($\sim 30\%$), вследствие частичной компенсации в диаграмме этого инструмента излучения разнополярных источников над дельта - конфигурацией головного пятна. Яркостная температура излучения детали А несколько превышала обычные корональные значения и достигала $3 \cdot 10^6$ К на волне ~ 7 см, т.е. наличие дельта

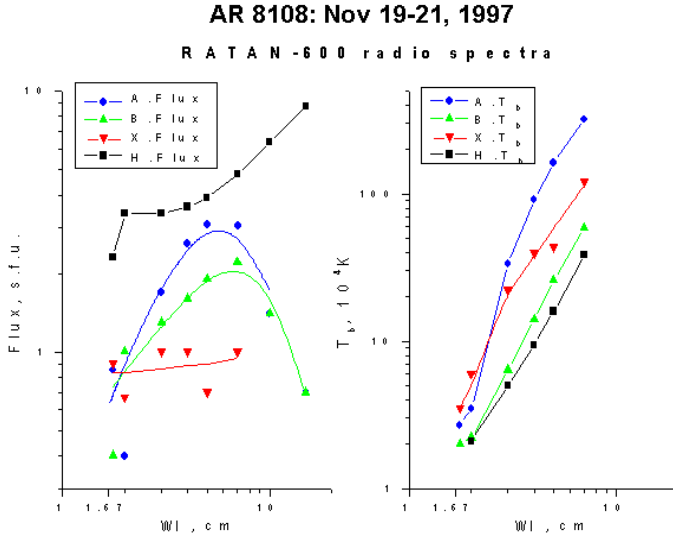


Рис. 2: Спектры плотностей потока и яркостных температур деталей AR 8108 (по данным RATAN-600 и Nobeyama).

-конфигурации магнитного поля сопровождалось дополнительным прогревом атмосферы над ней.

Для детали В, кроме циклотронного излучения, заметную роль играет и тормозное излучение. Характеристики этой детали: большой размер $\sim 60''$, относительно низкая, по сравнению с деталью А, яркостная температура, рост степени поляризации с ростом длины волны. Особенности детали В обусловлены тем, что в отличие от детали А, располагающейся над большим солнечным пятном, деталь В является суперпозицией источников над мелкими пятнами и порами, распределенными в хвостовой части группы пятен.

Деталь локального источника С интересна своей динамикой, поскольку рождение пятна прямо на диске удается проследить не часто. На уровне фотосферы пятно появляется 21 XI и в дальнейшем площадь его растет. В радиоизлучении соответствующий источник становится заметен на сутки раньше, однако в первый день он дает неполяризованное излучение. На следующий день появляется заметная круговая поляризация, одновременно растет и интенсивность излучения. Примечательно, что 21 XI знак поляризации для детали С соответствует избытку обыкновенной волны во всем диапазоне 2 - 7 см. На следующий день 22 XI отмечается сложная зависимость знака поляризации от длины волны: 2 см - О-мода, 3 см - Е-мода, 4 см - нулевая поляризация, 7 см - снова О-мода. Это, скорее всего, свидетельствует о сложном распределении температуры в короне над образующимся пятном. Влияние условий распространения в поперечных магнитных полях вряд ли имело место, поскольку

для деталей локального источника А и В в этот же период (21 -22 XI) знак поляризации устойчиво во всем диапазоне длин волн соответствовал избытку необыкновенной волны.

В детали Н (гало), как это часто бывает, была сосредоточена значительная доля излучения АО ($\sim 50\%$). По характеру спектра гало AR 8108 можно отнести к разряду типичных (Peterova et al., 1994). Их отличительной чертой является спектр потоков, плоский на коротких волнах (до 3 см) и со слабо растущим наклоном на более длинных волнах. Степень поляризации детали Н незначительна ($< 5\%$), яркостная температура излучения ($3 \cdot 10^5$ К на волне 7 см) - выше обычной для этого типа компонент ЛИ.

Излучение детали Х характеризуется плоским спектром потоков во всем диапазоне волн (1.7 см - 7 см) и слабой поляризацией ($< 5\%$). По вкладу в общий поток радиоизлучения (~ 0.8 солнечных единиц потока радиоизлучения (с.е.п.)) она уступала всем остальным деталям, однако по радиояркости приближалась к наиболее яркой пятенной детали А. Характеристики радиоизлучения детали Х, а именно, плоский спектр потока $F(\nu) = const$, а также квадратичный рост спектра радиояркости $T_B \sim \lambda^2$, $\lambda > 2$ см) и линейный рост степени поляризации с ростом длины волны $p \sim \lambda$, ($15 \text{ см} > \lambda > 2 \text{ см}$) дают основание предположить, что это был оптически тонкий в см диапазоне источник тормозного излучения. Исходя из этого, оценим его параметры - плотность плазмы и напряженность магнитного поля.

Для теплового тормозного излучения оптически тонкого источника размером Δs , находящегося при корональной температуре T и имеющего яркостную температуру излучения T_B на частоте ν имеем соотношение (Ахмедов et al., 1982):

$$T_B \approx 0.2 \times N^2 \times \Delta s \times \nu^{-2} \times T^{-1/2} \quad (1)$$

При $\Delta s = 2 \cdot 10^9$ см, $T_B = 1.2 \cdot 10^6$ К, $\nu = 4.3 \cdot 10^9$ Гц ($\lambda = 7$ см), $T = 2.0 \div 2.5 \cdot 10^6$ К, получаем $N = 7 \cdot 10^9$ см $^{-3}$.

Для модуля продольной компоненты магнитного поля B_l источника, имеющего на волне λ , степень круговой поляризации p ,

$$B_l \approx 54. \times \lambda^{-1} \times p \quad (2)$$

При $\lambda = 4$ см, $p = 4\%$, $B_l \sim 50$ Э. (Напомним, что это значение поля на высоте $h < 2 \cdot 10^9$ см в основании коронального стримера).

Отношение газокINETического и магнитного давлений β в источнике равно:

$$\beta \approx \frac{8\pi \times N \times k \times T}{B^2} \sim 0.02 \quad (3)$$

(здесь $k = 1.38 \cdot 10^{16}$ эрг·град $^{-1}$ - постоянная Больцмана)

В заключение дадим оценку вспышечной активности AR 8108 и ее активности в виде KBM. Первые две составляющие критерия Танаки-Эноме оказались близки к граничным значениям: (1) плотность потока радиоизлучения от всей АО на волне 3 см $F^I(3 \text{ см}) \sim 7$ с.е.п. (что немного меньше граничного значения 10 с.е.п.) (2) отношение потоков $F^I(3 \text{ см})/F^I(10 \text{ см}) = 0.7$ (то есть ~ 1). Прогноз на основе третьей составляющей критерия был бы отрицательным: изображение AR 8108 в поляризованном свете на волне 3 см имело S-форму, далекую от вспышечно-опасной P-формы. В целом можно считать, что критерий Танаки-Эноме в данном случае оправдывается - AR 8108 действительно не давала мощных вспышек. Однако делать этот вывод надо с осторожностью, учитывая близость двух составляющих критерия к граничным значениям. Активность в виде KBM также была слабой. Согласно (Canfield, 2000), эруптивный рост корональной петельной системы в AR 8108 (19 XI в 21:54 U.T.) оказался недостаточным, чтобы разрушить хотя бы один из двух стримеров, наоборот, их свечение в мягком рентгене стало более контрастным.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основной особенностью AR 8108, требующей объяснения, являлась ее слабая активность, находившаяся в противоречии со структурой магнитного поля (ярко выраженная дельта-конфигурация) и бурной динамикой развития этой АО (вспытие нового магнитного потока). Согласно van Driel-Gesztelyi et al., 1999, Grun et al., 2000 мощность и длительность вспышек уменьшается при наличии крупных событий KBM, однако в рассматриваемом случае оба вида активности были слабыми. Проведенное нами исследование показало, что в этой АО происходил дополнительный разогрев корональной плазмы, однако длительность (сутки) этого процесса намного превышала длительность вспышек или KBM (минуты или часы), а мощность, наоборот, уступала им. Действительно, как видно из результатов наблюдений, исследуемая активная область обладала повышенной (по сравнению со среднестатистической) яркостью радиоизлучения. По всей вероятности, повышенная яркость указывает на присутствие в атмосфере АО некоторого количества высокотемпературной плазмы, которая сохранялась длительное время, сравнимое со временем существования самой АО. Такой дополнительный нагрев проявлялся как в нижней короне - в области сильных магнитных полей (ядерная компонента ЛИ), так и высоко в короне в вершине магнитосферы (гало ЛИ). Кроме того, в структуре ЛИ обнаружен долгоживущий (~ 4 суток) яркий источник, отождествляемый

с нижней частью одного из стримеров. Вид этого стримера по наблюдениям в рентгене сильно напоминал вид стримеров, какой они имеют после вспышки: в этот период отмечается уярчение вдоль всей поверхности (или отдельных ее участков), разделяющей открытое и закрытое поле стримера.

Очевидным источником нагрева корональной плазмы над AR 8108 являлась дельта-конфигурация магнитного поля - именно оттуда исходит наиболее яркое свечение стримера. Физические условия в АО были таковы, что избыточная энергия сложного (непотенциального) магнитного поля высвобождалась не в виде взрывного процесса, а постепенно. Можно предположить, что медленный (по сравнению со вспышками или KBM) отток накапливаемой энергии осуществлялся через два корональных стримера, поддерживая их послевспышечный вид в течение нескольких суток.

Пекулярные детали структуры ЛИ являются сравнительно новым классом объектов. Такое название введено в (Ватрушин et al., 1989) и утвердилось за источниками, которые правильнее было бы назвать неопознанными. Часть из них была отождествлена с искривленными участками нейтральной линии общего магнитного поля вспышечно-активных АО, над которыми предположительно располагаются аркады низких корональных петель, содержащих разогретую (до 10^7) плазму. Излучение этих объектов было интерпретировано как гироросинхротронное на высоких гармониках гирочастоты (Ахмедов et al., 1987, Петерова et al., 1997).

Пекулярный источник, обнаруженный нами в структуре слабо активной AR 8108, имеет другое отождествление. Генетически он связан с очень крупной корональной петлей, имевшей магнитное поле с открытой конфигурацией. Несмотря на то, что природа этого объекта (тепловое тормозное излучение) отличается от природы упомянутых выше пекулярных деталей, в целом подтверждается сделанное ранее заключение, что наличие пекулярных деталей в структуре ЛИ является признаком повышенного энерговыделения в АО. Результат, полученный при исследовании AR 8108, позволяет сделать предварительный вывод о том, что по характеристикам пекулярных деталей можно судить, по какому сценарию будут развиваться события в данной АО. Если излучение пекулярных источников характеризуется крутым спектром потоков (гироросинхротронное излучение), тогда следует ожидать событий взрывного характера (в виде вспышек). Если пекулярный источник имеет плоский спектр (тормозное тепловое излучение), тогда активные процессы будут протекать гораздо медленнее, в форме, которую

условно можно назвать вялотекущей вспышкой.

Благодарности. Авторы выражают свою благодарность В.М.Богоду за полезную дискуссию.

Работа поддержана грантом INTAS RFBR 97-1088, РФФИ 99-02-16403, Латвийского Совета по Науке 96.129, а также грантом номер 181 "INTAS CALL 2000".

Список литературы

- Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Боровик В.Н., Вильсон Р.Ф., Гельфрейх Г.Б., Дикий В.Н., Коржавин А.Н., Ланг К.Р., Петров З.Е., 1987, *Астрофиз. исслед.*, **25**, 105
- Богод В.М., Абрамов-Максимов В.Е., Дикий В.Н., Ватрушин С.М., Цветков С.В., 1993, препринт САО # 84, С.-Петербург.
- Ватрушин С.М., Коржавин А.Н., 1989, в сб. *Физика солнечной плазмы*, М., Наука, 100
- Гельфрейх Г.Б., 1982, в кн. *Динамика токовых слоев и физика солнечной активности*, 1982, Рига, Знание, 116
- Коробчук О.В., Петерова Н.Г., 1980, в сб. "Прогнозирование солнечных вспышек и их последствий" (серия Радиоизлучение Солнца, вып.5), изд.ЛГУ, Л., 102
- Петерова Н.Г., Головкин А.А., Стоянова М.Н., 1997, *Astron. Zh.*, **74**, #3, 466
- Canfield R.C., 2000 (private communication with Gibson S.E.: Internet <http://www.damtp.cam.ac.uk/user/sg273/AR8108/ar8108.html>)
- Canfield R.C., Hudson H.S., McKenzie D.E., 1999, *Geophys. Res. Letters*, **26**, #6, 627
- Cheng C.-C. and SXT/Yohkoh Team, 1994, in *Space Science Reviews*, **70**, 273
- Chiuderi-Drago F., 1994, *Space Science Reviews*, **70**, 279
- Dere K.P., Brueckner G.E., Howard R.A., Michels D.J., Delaboudiniere J.P., 1999, *Ap.J.*, **516**, 465
- Felli M., Tofani G., First E., Hirth W., 1975, *Solar Phys.*, **42**, #2, 377
- Gibson S.E., Mason H.E., Pike C.D., Young P.R., 1999 in *Proceedings of the 8th SOHO Workshop*, ESA publications.
- Green L.M., Harra L.K., Matthews S.A., Culhane J.L., 2000, *Solar Phys.* (submitted)
- Kobrin M.M., Korshunov A.I., Arbusov S.I., Pakhomov V.V., Fridman V.M. and Tikhomirov Yu.V., 1978, *Solar Phys.*, **56**, 359
- Koutchmy S., Livshits M., 1992, in *Space Science Reviews*, **61**, 393.
- Lantos P., Alissandrakis C.E., Gergely T., Kundu M.R., 1987, *Solar Phys.*, **112**, 325
- Lantos P., Alissandrakis C.E., Rigaud D., 1992, *Solar phys.*, **137**, 225
- Martin Sara F., 1980, *Solar Phys.*, **68**, 217
- Moreton G.E., Severny A.B., *Solar Physics*, 1968, **3**, 282
- Rust D.M., Kumar A., 1996, *Ap.J.*, **464**, 199.
- Peterova N.G., 1994, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, **38**, 133
- Pneuman G.W., 1972, *Solar phys.*, **23**, 223
- Schultz C.G., 1994, *Space Science Reviews*, **70**, 233
- Sterling A.S., Hudson H.S., Thompson B.J., Zarro D.M., 2000, *Ap.J.*, **532**, 628
- Somov B.V., *Physical Processes in Solar Flares*, 1992, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, London.
- Tanaka H., Enome S., 1975, *Solar Phys.*, **40**, 123
- Tanaka H., Kakinuma T., 1964, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **18**, 32
- van Driel-Gesztelyi L., Mandrini C.H., Thompson B., Plunkett S., Aulanier G., Dimoulin P., Schmieder B., de Forest C. in *3rd Advances in Solar Physics Euroconference: Magnetic Fields and Oscillations.*, eds. Schmieder B., Hofmann A., Staude J., *ASP Conference Series*, 1999, **184**, 302
- Willson R.F., 1998, in *Proceedings of an International meeting, Guadeloupe, France, 23-26 Feb.* Publ.Paris, ESA SP-421, 349.