

DOI: 10.7868/S0869587314030025

Рентгеновская спектроскопия – основной современный метод исследования Солнца. Его суть – в построении изображений солнечного диска в узких спектральных диапазонах. Основное преимущество данного метода состоит в возможности регистрировать излучение плазмы в определённом температурном диапазоне, что позволяет изучать конкретные слои солнечной атмосферы или классы явлений. В статье обсуждаются результаты применения метода рентгеновской спектроскопии Солнца на аппарате КОРОНАС-Фотон, которые характеризуют современное состояние исследований Солнца в нашей стране.

## КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЦА МЕТОДАМИ ИЗОБРАЖАЮЩЕЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

С.А. Богачёв, А.С. Кириченко

Космические исследования Солнца и солнечной радиации ведутся в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) с конца 1940-х годов на геофизических ракетах, а с конца 1950-х по начало 1960-х годов – на искусственных спутниках Земли (ИСЗ). Первый продолжительный эксперимент по измерению потоков рентгеновского излучения в диапазоне длин волн короче 120 Э был проведён на ИСЗ “Спутник-2”, запущенном 3 ноября 1957 г. [1]. На нём был установлен прибор с открытыми фотоумножителями, разработанный под руководством С.Л. Мандельштама и А.А. Лебедева.

В 1963–1965 гг. с помощью камер-обскура на геофизических ракетах удалось осуществить прямое фотографирование Солнца в рентгеновской и далёкой ультрафиолетовой областях спектра.



Авторы работают в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН. БОГАЧЁВ Сергей Александрович – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник. КИРИЧЕНКО Алексей Сергеевич – инженер первой категории.

Первая фотография солнечной короны получена 19 апреля 1960 г. группой Г. Фридмана (США) в области спектра 20–60 Э [2]. Аппаратура эксперимента представляла собой камеру-обскуру с отверстием диаметром 0.125 мм, закрытым алюминированной органической плёнкой с угловым разрешением порядка 3' (3 угловые минуты), что равняется 0.1 диаметра Солнца. Аппаратура имела ориентацию только по оси, направленной на Солнце, и вращалась вокруг неё. Поворот во время экспозиции составил более 70°, из-за чего первое рентгеновское изображение Солнца было сильно смазано в направлении вращения.

6 июня 1963 г. в ФИАНе был проведён аналогичный советский эксперимент, в котором впервые в мире использовалась следящая система, обеспечивающая трёхосную ориентацию и стабилизацию камеры-обскуры. Благодаря этому удалось значительно уменьшить угловую скорость вращения аппаратуры и получить наиболее чёткие на тот момент фотографии Солнца. Камера-обскура, использованная в первом советском эксперименте, имела апертуру 0.2 мм при длине камеры (расстояние от входного отверстия до плёнки) 200 мм, что обеспечивало пространственное разрешение примерно 3' [3].

По результатам анализа первых рентгеновских фотографий Солнца установлено, что его рентгеновское излучение распределено в короне неравномерно и большей частью генерируется в компактных активных областях короны размером порядка 1–3', расположенных над яркими хромосферными флоккулами, видимыми в линии К ионизованного кальция CaII. Эти области имеют повышенную температуру и плотность и могут сохраняться на Солнце в течение длительного

времени — нескольких суток и даже недель. Обнаруженные источники рентгеновского излучения примерно совпали с источниками дециметрового радиоизлучения Солнца.

Более продолжительные (несколько месяцев) наблюдения Солнца были проведены ФИАНом на борту космических станций “Электрон-2” (1964) и “Электрон-4” (1965) в период Международного года спокойного Солнца [4]. Следующим важным этапом советских космических исследований стал запуск первых специализированных солнечных обсерваторий “Космос-166” (16 июля 1967 г.) и “Космос-230” (1 июня 1968 г.), научная аппаратура которых состояла из рентгеновского фотометра, дифракционного ультрафиолетового спектрометра и рентгеновского гелиографа оригинальной конструкции [5–6]. Гелиографы были оснащены щелевыми коллиматорами, которые обеспечивали получение двух одновременных взаимно перпендикулярных сканов Солнца с пространственным разрешением до 20" (20 угловых секунд). В ходе трёхмесячного эксперимента описанный метод сканирования солнечного диска позволил построить более 1 тыс. изображений Солнца в пяти спектральных каналах. Впоследствии принцип программного сканирования солнечного диска использовался на американских станциях серии “OSO” и японском спутнике “Hinotori”.

Первый советский эксперимент был поставлен сотрудниками ФИАНа в 1988 г., в нём был задействован современный метод рентгеновской спектроскопии Солнца с помощью телескопа ТЕРЕК на космическом аппарате ФОБОС [7]. В телескопе впервые была использована комбинация многослойных рентгеновских зеркал и высокочувствительных приёмников изображения на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) и приборов с зарядовой связью (ПЗС-матриц). Систематические наблюдения Солнца проводились одновременно в двух спектральных диапазонах (175 и 304 Å), основное излучение в которых создаётся плазмой с температурой 1 и 0.05 МК соответственно. В течение месяца было получено более 100 изображений Солнца. Эти данные позволили выявить тонкую структуру корональных дыр и исследовать среднесрочную динамику солнечной активности. Данный эксперимент подвёл итог почти 40-летней программы советских солнечных исследований.

В современной российской истории эксперименты по рентгеновской изображающей спектроскопии Солнца были продолжены учёными ФИАНа в рамках программы Комплексных орбитальных околоземных наблюдений активности Солнца (КОРОНАС), которая была заложена советским физиком С.Л. Мандельштамом ещё в начале 80-х годов прошлого века. Первый спутник этой программы (КОРОНАС-И) выведен на око-

лоземную орбиту в 1994 г. В состав аппаратуры входили многоканальный телескоп ТЕРЕК-К и спектрогелиометр РЕС-К. Для построения изображений применялись двухкоординатные детекторы, включавшие в себя люминесцентный экран, усилитель изображения и ПЗС-матрицу. Мощное излучение оптического диапазона от диска Солнца блокировалось с помощью системы тонкоплёночных алюминиевых фильтров. Полученные данные позволили исследовать структуру образований в солнечной короне и переходной области в диапазоне температур от  $10^5$  до  $10^7$  К и их изменения на временных масштабах от нескольких секунд до трёх солнечных оборотов.

Следующий спутник (КОРОНАС-Ф) оснащён новым комплексом аппаратуры СПИРИТ, характеристики которого были существенно улучшены за счёт использования многослойной широкоапертурной (до 100 мм) оптики и более мощного бортового компьютера. В телескопических каналах применялась двухзеркальная схема Ричи–Кретьена и однозеркальная система Гершеля. Зеркала в телескопе Гершеля (на диапазоны вблизи длин волн 175 и 304 Å) были установлены на механизмы наклона, позволяющие смещать поле зрения телескопа в дальнюю корону. В качестве детекторов использовалась комбинация усилителя изображений с открытой микроканальной пластиной (МКП) на входе и ПЗС-матрицы. За более чем четырёхлетний срок проведения эксперимента накоплен большой наблюдательный материал: более 500 тыс. изображений и спектрогелиограмм Солнца в различных спектральных диапазонах [9–14].

**Эксперимент ТЕСИС на спутнике КОРОНАС-Фотон.** Спутник КОРОНАС-Фотон, третий и на сегодняшний день последний космический аппарат программы КОРОНАС, был выведен на орбиту 30 января 2009 г. с космодрома Плесецк. Разработанный в ФИАНе комплекс научной аппаратуры ТЕСИС, установленный на космическом аппарате, включал в себя пять основных инструментов, позволяющих проводить наблюдения в шести спектральных каналах: двухканальный телескоп Гершеля — на длины волн 171 и 304 Å; одноканальный телескоп Гершеля — на длину волны 132 Å; изображающий монохроматический спектрогелиометр — на длину волны MgXII 8.42 Å; коронограф широкого поля зрения системы Ричи–Кретьена — на длину волны 304 Å и изображающий спектрометр — на диапазон 280–330 Å [15]. Помимо основных приборов, в состав ТЕСИСа входили два высокочувствительных оптических датчика.

Комплекс инструментов отличался широким полем зрения — от  $1^\circ$  (4 солнечных радиуса) у телескопов до  $2.5^\circ$  (10 солнечных радиусов) у коронографа, имел широкий температурный охват —

от 40 тыс. до 30 млн. К, а также высокое угловое (до 1.7") и рекордное временное разрешение, достигавшее 4 с. Таким образом, инструменты обеспечивали широкие возможности для комплексного исследования "спокойной" солнечной короны в области температур порядка 1 МК, плазмы активных областей и солнечных вспышек (5–30 МК), а также эруптивных процессов в диапазоне высот от 1 до 4 солнечных радиусов над поверхностью Солнца.

Для всех каналов в ФИАНе были разработаны детекторы нового типа на основе ПЗС-матриц с обратной освещённостью. Матрицы обладали хорошей квантовой эффективностью (до 50%) и низким уровнем собственного шума, что позволило проводить прямую регистрацию коротковолнового излучения Солнца без использования люминесцентных экранов и усилителей сигнала. Три инструмента (два телескопа и спектрогелиометр) были оснащены системой наклона зеркал и фокусировки оптической системы. Для блокирования интенсивного оптического излучения впервые в истории отечественных исследований Солнца были применены многослойные тонкоплёночные фильтры, закреплённые на поддерживающих сетках, а также напылённые на чувствительную поверхность ПЗС-матрицы. Все каналы (кроме изображающего спектрометра) были оснащены механическими затворами, обеспечивающими выбор экспозиций в диапазоне от 0.1 с до 10 мин.

Угловое разрешение телескопов ТЕСИС (1.7") сейчас не является рекордным, однако в период проведения эксперимента оно существенно превосходило разрешение основной зарубежной солнечной обсерватории SOHO, составлявшее 2.6". Временное разрешение до 5–10 с было на порядок лучше, чем максимальное разрешение SOHO — чуть больше 1 мин. Можно уверенно утверждать, что по качеству изображающих наблюдений в крайней УФ-области спектра обсерватория КОРОНАС-Фотон на момент функционирования относилась к лучшим обсерваториям мира.

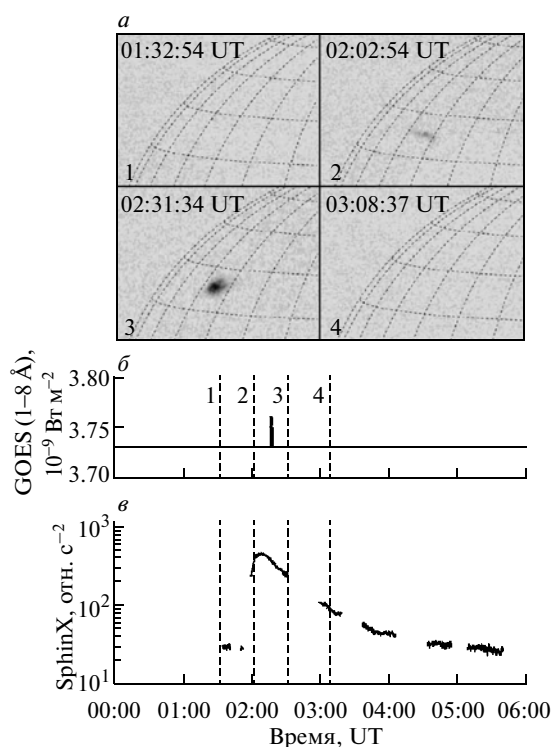
Время работы спутника КОРОНАС-Фотон совпало с глубоким минимумом солнечной активности, который характеризовался крайне низким уровнем излучения в мягком рентгеновском диапазоне и чрезвычайно малым количеством вспышечных событий. За время наблюдений не зарегистрировано ни одной вспышки, рентгеновский класс которой превышал бы уровень С3. Такие условия оказались чрезвычайно благоприятными для изучения слабых событий — микро- и нановспышек ( $10^{27}$ – $10^{30}$  и  $10^{24}$ – $10^{27}$  эрг соответственно). Для современной физики Солнца важны наблюдения в мелком масштабе, так как это имеет прямое отношение к одной из наиболее важных задач солнечной физики — проблеме коронального нагрева, которую кратко можно сформулировать следующим образом. Температура короны со-

ставляет около 1 МК и содержит довольно значительный объём тепловой энергии. Поддержание температуры требует постоянной "подкачки" энергии в корону в довольно высоком темпе (характерное время радиационного охлаждения короны составляет около 1 ч). Доказано, что вспышечная активность Солнца не может обеспечить такой темп. Это привело к формированию общепринятой сейчас точки зрения, согласно которой нагрев короны осуществляется "скрытым" образом через волновые колебания либо через многочисленные вспышечные события низкой энергии — нановспышки. Для того чтобы нановспышки могли выполнять эту функцию, необходимы два условия: достаточно большое количество вспышек, а также возможность эффективного нагрева плазмы в них. Поэтому определение темпа высвобождения энергии в нановспышках и поиск свидетельств нагрева плазмы являются одними из основных задач современной физики Солнца.

В ходе эксперимента ТЕСИС было зарегистрировано около 20 тыс. нановспышек (рекордное количество), что позволило с высокой точностью построить их распределение по энергиям [16]. Это распределение является степенным (функция, в которой количество событий связано с энергией по закону  $N \sim E^{-\phi}$ , где  $\phi$  — показатель функции). Если  $\phi < 2$ , то основной вклад в полную вспышечную энергию Солнца дают крупные события. Если  $\phi > 2$ , то определяющую роль играют микро- и нановспышки. Предыдущие измерения показателя  $\phi$  из-за малой статистики давали достаточно большую погрешность:  $\phi = 1.5$ – $3$ . Данные, полученные в эксперименте ТЕСИС, свидетельствуют, что  $\phi > 2$  — в пределах точности измерений.

Оценка температуры плазмы, формирующейся во время микро- и нановспышек, является не вполне простой задачей. В эксперименте ТЕСИС соответствующий анализ проводился с помощью монохроматического телескопа, регистрировавшего излучение вспышек в линии иона MgXII 8.42 Å (канал — MISH). Это высокотемпературная линия, чувствительная только к плазме с температурой более 4 МК. Таким образом, сам факт регистрации источника излучения в данном канале позволяет установить нижнюю границу для температуры — 4 МК. Далее приводятся некоторые результаты, полученные в ходе исследования.

**Регистрация высокотемпературной плазмы в микровспышках рентгеновского класса A1.0 и ниже.** В исследовании использовались данные за период с 1 апреля по 31 мая 2009 г., в течение которого активность Солнца находилась на наиболее низком уровне за всё время работы спутника КОРОНАС-Фотон. Прибор MISH работал с относительно низким каденсом (интервал времени между двумя последовательными изображениями) от 15 до 90 мин., поскольку в условиях низкой

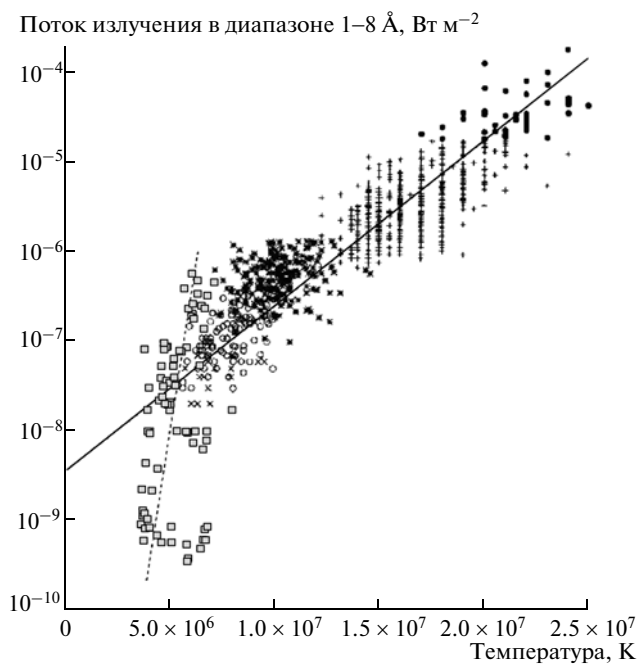


**Рис. 1.** Микровспышка 19 апреля 2009 г. по наблюдениям различных приборов

*a* – прибор ТЕСИС/MISH в линии MgXII 8.42 Å (широтные и долготные линии проведены с шагом 10°); *б* – профиль рентгеновского излучения Солнца в диапазоне 1–8 Å, полученный рентгеновским монитором GOES с 00:00 до 06:00 UT; *в* – профиль рентгеновского излучения Солнца в диапазоне 1–8 Å, полученный спектрофотометром SphinX на спутнике КОРОНАС-Фотон (разрывы на временном профиле возникают при заходе спутника в тень Земли при его вращении по орбите)

пятнообразовательной деятельности Солнца и отсутствия вспышечной активности не предполагалась возможность формирования в короне Солнца плазмы с температурой 4 МК и выше. Всего в апреле 2009 г. прибор MISH получил 1373 кадра, а в мае – 3127. Рост числа изображений в мае связан с более высоким каденсом, установленным в результате роста уровня солнечной активности.

Целью исследования был поиск высокотемпературной плазмы в микровспышках предельно низких рентгеновских классов (порядка A1.0 и ниже), которые примыкают к классу нановспышек. При обработке данных найдено несколько областей предположительного повышения температуры. Поскольку речь идёт о наблюдениях на пределе чувствительности, мы постарались во всех случаях найти дополнительные подтверждения нагрева плазмы, для чего привлекались данные со следующих приборов: рентгеновский монитор GOES (канал 1–8 Å), рентгеновский спектрофотометр SphinX/КОРОНАС-Фотон, телескоп Hinode/XRT и телескоп FET/КОРОНАС-Фотон.



**Рис. 2.** Зависимость температуры вспышечной плазмы от рентгеновского класса события

Символом “квадрат” отмечены результаты измерений в эксперименте ТЕСИС на спутнике КОРОНАС-Фотон, полученные для вспышек низких рентгеновских классов (пунктирная линия – наилучшее приближение данных линейной функцией). Остальные символы – данные более ранних космических экспериментов из работы [18]. Различные символы соответствуют разным экспериментам. Сплошная линия – наилучшее линейное приближение данных

На рисунке 1 показан пример высокотемпературного источника излучения, обнаруженного нами в микровспышке 19 апреля 2009 г. [17]. Для данного события удалось найти прямое соответствие на временных профилях рентгеновского монитора GOES 1–8 Å (рис. 1, *б*) и спектрофотометра SphinX (рис. 1, *в*), благодаря чему стало возможным точно измерить рентгеновский класс события – A0.38. Высокотемпературная плазма была зарегистрирована за несколько минут до максимума микровспышки и через 20 мин. после. Полное время жизни высокотемпературного источника составило около получаса.

Всего подобным способом зарегистрировано и исследовано 157 микровспышек, сопровождавшихся нагревом окружающей плазмы до температуры не менее 4 МК. Из них 14 событий относились к рентгеновскому классу В, 30 – к классу А и 113 событий имели рентгеновский класс ниже уровня A1.0. Для всех событий, зарегистрированных с апреля по май 2009 г., была проведена температурная диагностика. Температура определялась путём сравнения одновременных потоков излучения из области вспышки в разных каналах наблюдений, включая данные GOES и SphinX. Рассчитанные значения температуры сравнива-

лись с результатами, полученными Г. Фельдманом [18] для вспышек более высоких рентгеновских классов — от А2 до Х2. На рисунке 2 чёрным цветом показаны данные, полученные Фельдманом, серым — исследованные в настоящей работе микровспышки. Согласно зависимости Фельдмана, в слабых событиях (микровспышки с рентгеновским классом ниже А) горячая плазма наблюдаться не должна. Добавление на этот график данных ТЕСИС приводит к формированию ранее неизвестного излома в области событий класса А. Таким образом, зависимость температуры плазмы от класса вспышки претерпевает существенные изменения в области вспышек низкой энергии. Всего горячая плазма была обнаружена нами в 86% исследованных событий. Это свидетельствует о том, что микровспышки могут внести существенный вклад в процесс нагрева короны. Температура плазмы в исследованных событиях составила от 3.7 до 8.0 МК, мера эмиссии находилась в диапазоне  $4.3 \times 10^{44}$ – $3.4 \times 10^{48}$  см<sup>-3</sup>. Измеренная концентрация плазмы равна  $2.8 \times 10^8$ – $8.4 \times 10^9$  см<sup>-3</sup>. Полная тепловая энергия, высвобождаемая в одной микровспышке, составляет  $2.4 \times 10^{27}$ – $9.9 \times 10^{29}$  эрг.

\* \* \*

Работы в области рентгеновской изображающей спектроскопии Солнца в рамках Федеральной космической программы (ФКП) России планируется продолжить в ходе двух космических экспериментов. В настоящее время ФИАН приступил к созданию научной аппаратуры (рабочее название “Арка”) для малого космического аппарата № 5 программы МКА-ФКИ (Малые космические аппараты для фундаментальных космических исследований) [19]. Два телескопа с диаметром зеркал 200 мм будут строить изображения Солнца в спектральных диапазонах 171 и 304 Å, с угловым разрешением 0.1” в поле зрения около 10’ (треть солнечного диска). Указанное разрешение является рекордным и превышает точность действующей солнечной обсерватории SDO (НАСА) примерно в 6 раз. Срок запуска обсерватории, установленный ФКП России, — конец 2015 г. По состоянию на середину 2013 г. по проекту завершено эскизное проектирование. Технологический и конструкторско-доводочные образцы аппаратуры должны быть разработаны до конца 2014 г.

Второй проект — космическая обсерватория Интергелиозонд [20, 21], представляющая собой эксперимент нового типа, в рамках которого будут проведены первые длительные исследования Солнца и плазменной межпланетной среды с расстояний до 60 солнечных радиусов от Солнца, включая опыты вне пределов плоскости эклиптики. В состав разрабатываемой ФИАНом научной

аппаратуры входит многоканальный телескоп ТРЕК, работающий на основе метода изображающей спектроскопии и представляющий изображение короны и переходного слоя Солнца в линиях вакуумного УФ-диапазона, недоступных для регистрации с поверхности Земли. Пространственное разрешение наблюдений в каналах высокого разрешения будет составлять около 250 км на пиксель в точке перигелия, что в 5 раз больше, чем разрешение телескопов на спутнике КОРОНАС-Фотон и в 1.7 раза превышает пространственное разрешение действующей солнечной обсерватории SDO. Научная программа эксперимента основана на использовании как особенностей орбиты (приближение к Солнцу на расстояние 0.3 а.е., в том числе выход за пределы плоскости эклиптики), так и особенностей комплекса научной аппаратуры — широкое перекрытие наблюдений по высоте и температурному диапазону и высокое угловое разрешение. В результате планируется получить большой объём новой информации о физике активных солнечных явлений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Мандельштам С.Л., Тундо И.П., Воронько Ю.К.* Исследование рентгеновского излучения Солнца. I: Измерения при помощи космических кораблей // Искусственные спутники Земли. Вып. 11. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
2. *Friedman H.* Solar X-Ray Emission // The Solar Corona. Proceedings of IAU Symposium № 16. N.Y.: Academic Press, 1963.
3. *Житник И.А., Крутов В.В., Малявкин Л.П. и др.* Изображения и спектр Солнца в области 9.5–200 Å // Космические исследования. Вып. 2. 1967. Т. 5. С. 274–279.
4. *Мандельштам С.Л.* Исследования коротковолнового излучения Солнца // Успехи СССР в исследовании космического пространства. М.: Наука, 1968.
5. *Васильев Б.Н., Житник И.А., Корнеев В.В. и др.* Предварительные результаты исследований Солнца с помощью спутника Космос-166 // Космические исследования. 1968. № 3.
6. *Бейгман И.Л., Вайнштейн Л.А., Васильев Б.Н. и др.* Исследование рентгеновских вспышек на Солнце с помощью спутника Космос-230 // Космические исследования. 1971. № 1.
7. *Sobelman I.I., Zhitnik I.A., Ignat'ev A.P., et al.* Diagnostics of the inner corona by XUV-imaging of the Sun // Advances in Space Research 1991. V. 11. P. 99–107.
8. *Oraevsky V.N., Sobelman I.I.* Comprehensive Studies of Solar Activity on the CORONAS-F Satellite // Astronomy Letters. 2000. № 6.
9. *Житник И.А., Кузин С.В., Собельман И.И. и др.* Основные результаты эксперимента СПИРИТ на ИСЗ КОРОНАС-Ф // Астрономический вестник. 2005. № 6.

10. *Чертюк И.М., Слемзин В.А., Кузин С.В. и др.* Солнечное эруптивное событие 4 ноября 2001 г. по данным телескопа СПИРИТ на спутнике КОРОНАС-Ф // *Астрономический журнал*. 2004. № 5.
11. *Grechnev V.V., Chertok I.M., Slemzin V.A., et al.* CORONAS-F/SPIRIT EUV observations of October–November 2003 solar eruptive events in combination with SOHO/EIT data // *Journal of Geophysical Research*. 2006. V. 110 (A9). A09S07.
12. *Kuzin S.V., Chertok I.M., Grechnev V.V., et al.* CME-associated dimmings on the Sun observed with the EUV SPIRIT telescope on the CORONAS-F spacecraft // *Advances in Space Research*. 2006. V. 38 (3). P. 451–455.
13. *Гречнев В.В., Кузин С.В., Урнов А.М. и др.* О долгоживущих горячих корональных структурах, наблюдавшихся на ИСЗ КОРОНАС-Ф/СПИРИТ в линии MgXII // *Астрономический вестник*. 2006. № 4.
14. *Grechnev V.V., Uralov A.M., Zandanov V.G., et al.* Plasma Parameters in a Post-Eruptive Arcade Observed with CORONAS-F/SPIRIT, Yohkoh/SXT, SOHO/EIT, and in Microwaves // *PASJ*. 2006. V. 58 (1). P. 55–68.
15. *Кузин С.В., Богачёв С.А., Житник И.А. и др.* Эксперимент ТЕСИС по рентгеновской изображающей спектроскопии Солнца на спутнике КОРОНАС-Фотон // *Известия РАН. Серия физическая*. 2010. № 1.
16. *Ульянов А.С., Богачёв С.А., Кузин С.В.* Динамика ярких точек и выбросов на Солнце по наблюдениям прибора ТЕСИС на спутнике КОРОНАС-Ф // *Астрономический журнал*. 2004. № 10.
17. *Кириченко А.С., Богачёв С.А.* Длительный нагрев плазмы в солнечных микровспышках рентгеновского класса A1.0 и ниже // *Письма в Астрономический журнал*. 2013. № 11.
18. *Feldman G., Doschek G.A., Behring W.E., Phillips K.J.H.* Electron Temperature, Emission Measure, and X-Ray Flux in A2 to X2 X-Ray Class Solar Flares // *Astrophysical Journal*. 1996. V. 460. P. 1034–1041.
19. *Богачёв С.А., Кузин С.В., Перцов А.А. и др.* Техническая концепция и научные задачи комплекса научной аппаратуры АРКА для малого космического аппарата МКА-ФКИ № 5 // *Научные эксперименты на малых космических аппаратах. Труды научно-технического семинара / Под ред. Назирова Р.Р., Чулкова И.В., Юрова В.Н. М.: Изд-во ИКИ РАН, 2013.*
20. *Кузин С.В., Богачёв С.А., Шестов С.В. и др.* Комплекс изображающих инструментов проекта “Интергелиозонд” // *Труды рабочего совещания «Проект “Интергелиозонд”», 11–13 мая 2011 г., Таруса / Ред. Кузнецов В.Д.*
21. *Кириченко А.С., Зимовец И.В., Богачёв С.А., Кузин С.В.* Солнечный рентгеновский телескоп СОРЕНТО для проекта “Интергелиозонд” // *Труды рабочего совещания «Проект “Интергелиозонд”», 11–13 мая 2011 г., Таруса / Ред. Кузнецов В.Д.*