

2. РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ИНСТИТУТАХ В 2008-2009 ГОДАХ

2.1. Результаты завершенных летних научных программ исследований и наблюдений

2.1.1. ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

2.1.1.1. Прямые измерения вклада компактных источников в фоновое излучение "хребта" Галактики в рекордно глубоких наблюдениях обсерватории Чандра.

Проблема существования "загадочного" протяженного рентгеновского излучения, расположенного вдоль плоскости нашей Галактики, а так же обнаруженного в других галактиках, ставила в тупик астрофизиков всего мира в течение более 25 лет. В результате работ нашей группы в 2006-2008 гг. было намечено решение этой проблемы. Ключевым экспериментом, позволяющим подтвердить или опровергнуть нашу гипотезу о том, что излучение хребта Галактики формируется в результате суммарного света большого количества слабых рентгеновских источников, могли стать сверхглубокие (с чувствительностью до $1\text{e-}17$ эрг/с/кв.см) наблюдения области "хребта" Галактики инструментом с угловым разрешением не хуже 1-2 угловых секунд. В 2008 году такие наблюдения общей длительностью 0.9 миллионов секунд по нашей заявке были проведены орбитальной обсерваторией ЧАНДРА. Анализ всех доступных наблюдений этой области (порядка 1 миллиона секунд) позволил подтвердить наши оценки, сделанные ранее не основе косвенных аргументов и сделать следующие выводы.

В характерной области "хребта" Галактики обнаружено большое число слабых рентгеновских источников с поверхностной плотностью во 100 тыс. источников на кв. градус, обнаружено, что до $88 \pm 12\%$ излучения "хребта" Галактики в области энергий 6-7 кэВ разрешается на точечные источники, обнаруженные в данных наблюдениях, показано, что суммарная кривая подсчетов источников хорошо согласуется с кривой подсчетов, ожидаемой на основе нашего знания о рентгеновских объектах в окрестностях Солнца.

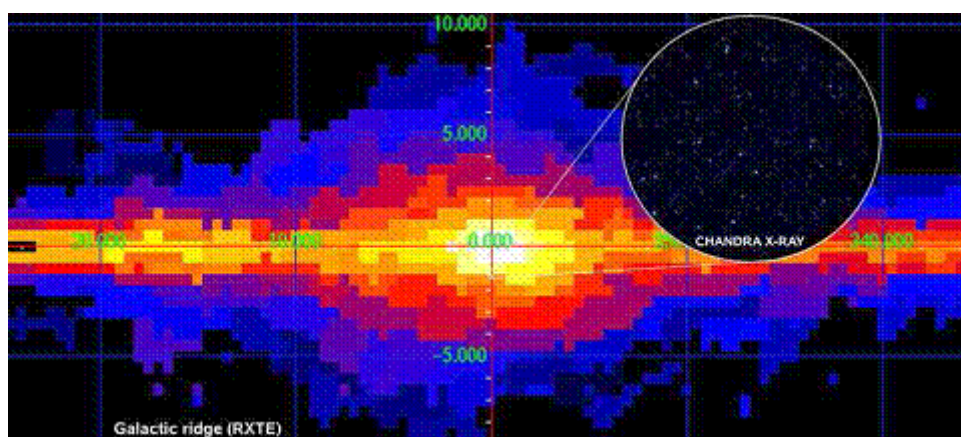


Рис.1. Изображение «хребта» Галактики - протяженного рентгеновского свечения, расположенного вдоль галактического диска. На врезке показано изображение маленькой области вблизи галактического центра, наблюдавшегося обсерваторией Chandra в течение миллиона секунд. Хорошо видна огромная плотность источников рентгеновского

излучения (на достигнутом уровне чувствительности поверхностная плотность объектов ~100 000 объектов на кв. градус)

Результаты этих исследований опубликованы в журнале Nature. Revnivitsev M., Sazonov S., Churazov E., Forman W., Vikhlinin A., Sunyaev R., 2009, Nature, 458, 1142

д.ф.-м.н. Ревнивцев М.Г., д.ф.-м.н. Сазонов С.Ю., чл.-корр. Чуразов Е.М., д.ф.-м.н. Вихлинин А.В., академик Сюняев Р.А.

2.1.1.2. Определение параметров уравнения состояния «темной энергии»

В 2009 г. международная группа ученых, возглавляемая сотрудниками ИКИ РАН, представила результаты исследования природы Темной Энергии при помощи измерений скорости роста крупномасштабной структуры Вселенной. В данной работе впервые было надежно измерено торможение роста скоплений галактик в течение последних нескольких миллиардов лет. Это явление дает новое доказательство присутствия во Вселенной т.н. Темной Энергии, а также позволяет значительно (в ~2 раза) уточнить ее эмпирические свойства. Так, комбинируя рентгеновские измерения роста скоплений галактик с данными по микроволновому фону и расстояниям до сверхновых звезд, удалось уменьшить погрешность определения параметра уравнения состояния Темной Энергии до уровня $\pm 5\%$. Измеренный параметр уравнения состояния, $w_0 = -0.99 \pm 0.045$, согласуется со значением, ожидаемым для космологической постоянной Эйнштейна ($w_0 = -1$). Интересно также, что измерения находятся вблизи самой границы диапазона значений $w_0 < -1$, при которых плотность темной энергии должна нарастать со временем, что в далеком будущем могло бы привести к разрушению больших структур (т.н. явление "Большого Разрыва").

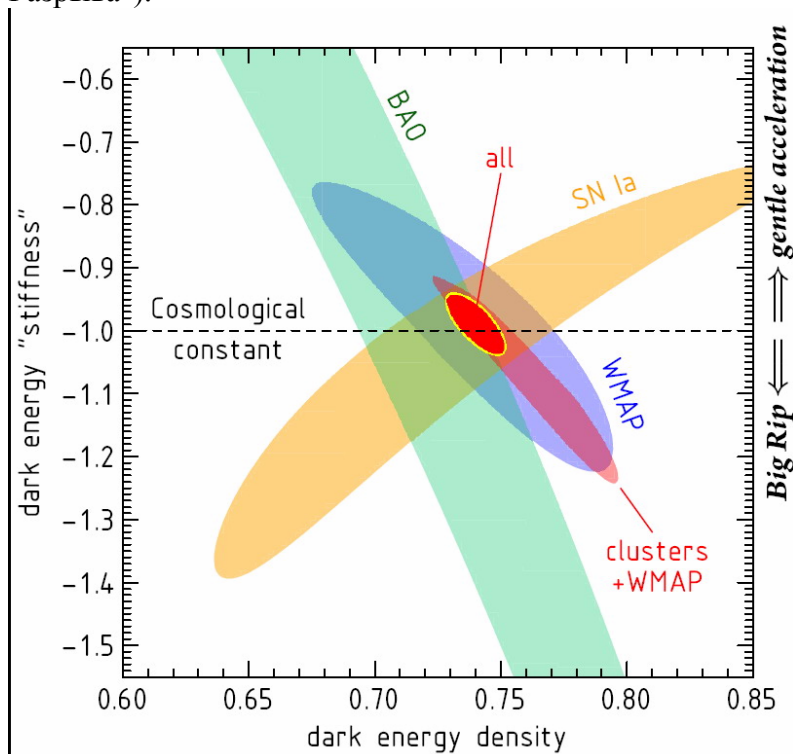


Рис.2.
Ограничение на величину параметра уравнения состояния w . Значения, полученные разными методиками, обозначены разными цветами, красным цветом показано значение, полученное из комбинации всех экспериментальных данных. Пунктирная линия — величина космологической постоянной, введенной Эйнштейном.

д.ф.-м.н. Вихлинин А.В., к.ф.-м.н. Буренин Р.А., к.ф.-м.н. Воеводкин А.А. д.ф.-м.н. Павлинский М.Н.

2.1.1.3. Измерения нетеплового давления в горячем газе эллиптических галактик.

Распределение обычных звезд и горячего (десятки миллионов градусов) газа, наблюдаемого в рентгеновском диапазоне длин волн, отражают свойства общей гравитационной потенциальной ямы индивидуальных эллиптических галактик и центральных галактик в группах и скоплениях. В работе было выполнено сравнение профилей гравитационных потенциалов галактик NGC 4486 (M87) и NGC 1399, полученных из рентгеновских и оптических данных. Это сравнение показывает, что совместный вклад космических лучей, магнитных полей и микро-турбулентности составляет около 10-20% от теплового давления газа. Этот предел ограничивает не только плотность энергии космических лучей в настоящее время, но и налагает ограничения на всю историю горячего газа при условии, что протоны космических лучей эволюционируют адиабатическим образом и их диффузия по пространству подавлена.

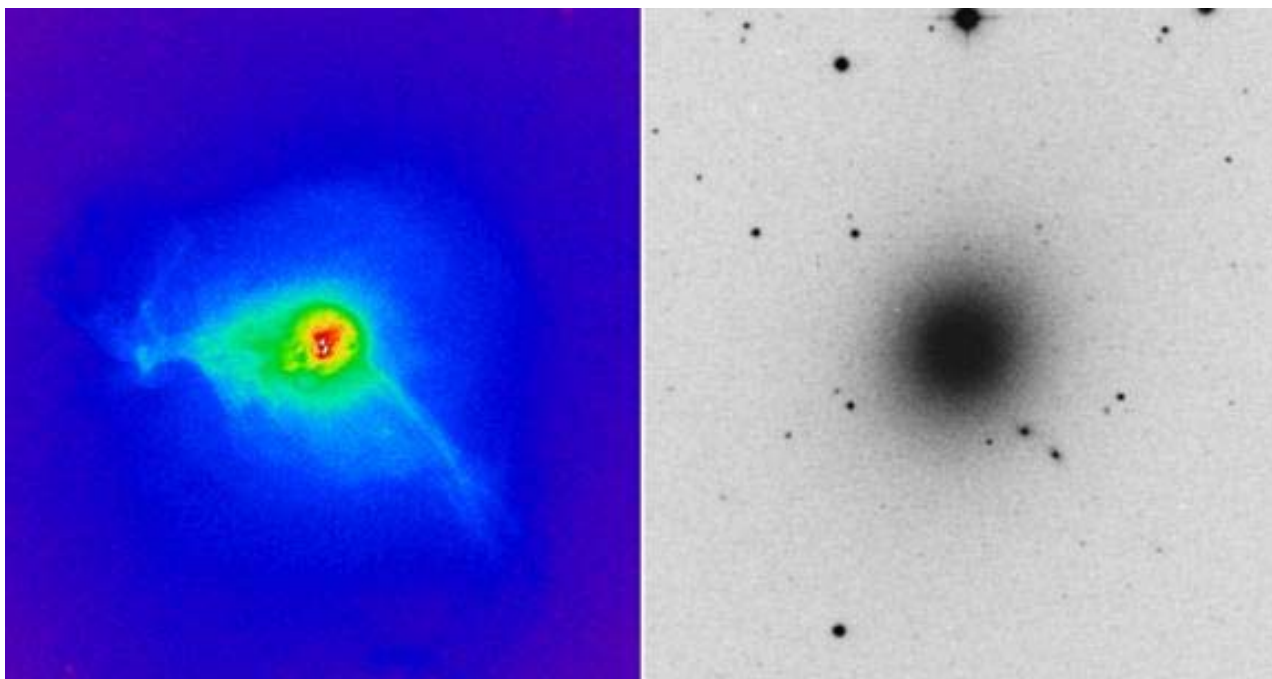


Рис.3. Рентгеновское (слева) и оптическое (справа) изображения галактики M87. Сравнение распределений звезд и горячего газа в общей потенциальной яме позволят измерить вклад нетепловой составляющей в полное давление газа.

Churazov E., Forman W., Vikhlinin A., Tremaine S., Gerhard O., Jones C., 2008.

“Measuring the non-thermal pressure in early-type galaxy atmospheres: a comparison of X-ray and optical potential profiles in M87 and NGC 1399.” MNRAS, 388, 1062-1078.

Чл.-корр. РАН Чуразов Е.М.

2.1.1.4. Открытие оптических послесвечений Нового SGR, и яркого GRB, в результате создания и поддержки сети наблюдений оптических послесвечений космических гамма всплесков на телескопах СНГ

Проведены наблюдения в рамках сети телескопов стран СНГ (УАФО ДВ РАН, ИСЗФ СО РАН, Институт Астрономии Узбекской АН, Терскольское отделение Института Астрономии РАН, СОИ Архыз (НИИ ПП), НИИ КрАО), по программе наблюдения космических гамма-всплесков. Проведены наблюдения областей локализации 28

всплесков, причем 19 в первую ночь после всплеска, и для 12 всплесков наблюдалось послесвечение. Опубликованы циркуляры сети GCN (http://gc.gsfc.nasa.gov/gcn3_archive.html)

GCN: ## 8455 8461 8576 8558 8576 8590 8594 8596 8608 8615 8626 8630, 8175, 8160, 8105, 8094, 7976, 7975, 7891, 7890, 7887, 7883, 7857, 7833, 7739, 7655, 7556, 7534, 7519, 7401, 7400, 7333, 7332, 7331, 7241, 7187.

В наблюдениях на телескопах БТА (САО РАН) и ЗТШ (НИИ КрАО) обнаружен и подтвержден оптический компонент нового (пятого по счету) гамма-репитера SGR 0501+4516.

GCN circ. #8160, GCN SGR 0501+4516: Detection of possible optical counterpart, T. Fatkhullin (SAO-RAS Nizhnij Arkhyz), A. de Ugarte Postigo (ESO Santiago), A. J. Castro-Tirado, J. Gorosabel and M. Jelínek (IAA-CSIC Granada), V. Sokolov (SAO-RAS), S. Guziy (Nikolaev State Univ.), A. Pozanenko (IKI-RAS Moscow), E. Sonbas (Cukurova Univ.) and D. Pérez-Ramírez (U. Leicester).

GCN circ. #8461, SGR 0501+4516: optical observations in August, V. Rumyantsev, S. Artemenko (CrAO), A. Pozanenko (IKI), A. J. Castro-Tirado (IAA-CSIC Granada).

Обнаружено (наблюдение на телескопе Ц-600, Терскол) и впоследствии подтверждено наблюдениями на зарубежных телескопах послесвечение гамма-всплеска 081126.

GCN circ. #8858, GRB 081126: optical observations, Andreev M., Sergeev A., (Terskol Branch of Institute of Astronomy), A. Pozanenko (IKI)

2.1.1.5. Исследование магниторотационного взрыва сверхновой при различных начальных параметрах.

Было проведено моделирование магниторотационного взрыва сверхновой при различных начальных параметрах. Показано, что энергия взрыва сверхновой растет с увеличением массы ядра и начальной энергии вращения. Магниторотационный механизм позволяет получить энергию взрыва $0.5 - 2.6 \cdot 10^{51}$ эрг.

Магниторотационный (МР) механизм взрыва сверхновой в двумерной постановке был промоделирован при различных начальных массах ядра и начальной энергии вращения. Расчеты проводились при начальной массе ядра от 1.2 до 1.7 масс Солнца. В момент включения магнитного поля удельная энергия вращения варьировалась от $0.19 \cdot 10^{19}$ эрг/г до $0.4 \cdot 10^{19}$ эрг/г. Показано, что МР механизм позволяет получить энергию взрыва $0.5 - 2.6 \cdot 10^{51}$ эрг, соответствующую наблюдательным данным. С увеличением массы ядра, а также с увеличением начальной энергии вращения, энергия взрыва сверхновой растет. При моделировании МР взрыва сверхновой была обнаружена МР неустойчивость (экспоненциальный рост всех компонент магнитного поля). Проводится отладка программы для моделирования МР взрыва сверхновой с новым уравнением состояния вещества (Shen et al.).

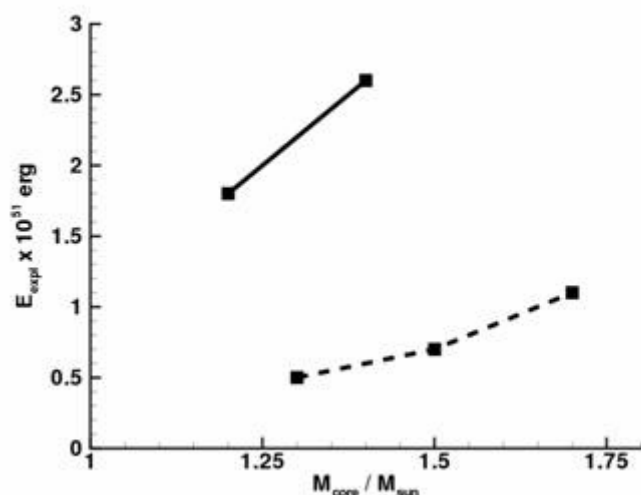


Рис.4. Зависимость энергии взрыва МР сверхновой от начальной массы ядра при различных значениях удельной энергии вращения перед началом эволюции магнитного поля $E_{rot}/M_{core} \sim 0.39-0.40 \times 10^{19}$ эрг/г (сплошная линия) и $E_{rot}/M_{core} \sim 0.19-0.23 \times 10^{19}$ эрг/г (штриховая линия) (перед коллапсом).

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 333-45-88 gkogon@iki.rssi.ru

С.Г.Моисеенко д.ф.-м.н. 333-45-88 moiseenko@iki.rssi.ru

Бисноватый-Коган Г.С., Моисеенко С.Г., Арделян Н.В. Различные магниторотационные сверхновые АЖ, т.85, N.12, 1109-1121, 2008

2.1.1.6. Моделирование спектра объекта SS433 методом Монте-Карло

При помощи метода Монте-Карло моделируется рентгеновский спектр источника SS433. Путем численного моделирования был получен рентгеновский спектр источника SS433. На основании наблюдательных данных была построена модель области, излучающей в рентгеновском диапазоне. Также была написана программа, позволяющая методом Монте-Карло моделировать спектр данного источника. Результатом является спектр SS433 в диапазоне от 3 до 100 кэВ. Сравнить с наблюдениями орбитальной обсерватории ИНТЕГРАЛ позволяет определить физические характеристики источника. Работа завершена, по итогам написана статья, которая отправлена в печать в журнал "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society".

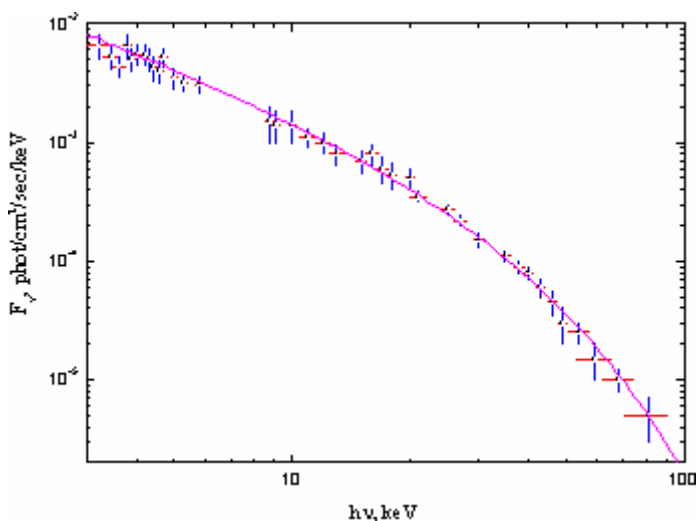


Рис.5. Результат численного моделирования в сравнении с данными орбитальной обсерваторией ИНТЕГРАЛ.

Yu.M. Krivosheyev, G.S. Bisnovaty-Kogan, A.M. Cherepashchuk and K.A. Postnov “Monte-Carlo simulations of the broadband X-ray continuum of SS433”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (отправлено в печать)

Г.С. Бисноватый-Коган, д. ф.-м. н., проф., г.н.с., тел. 3334588, e-mail: gkogan@iki.rssi.ru

Ю.М. Кривошеев, м.н.с., тел. 3334588, e-mail: krivosheev@iki.rssi.ru

2.1.1.7. Гравитационное линзирование на гравитационной волне

Результат: ненулевое смещение в траектории фотона при гравитационном линзировании на гравитационной волне.

Описание результата:

Исследовано гравитационное линзирование на гравитационной волне. Отмечено, что хотя начальное и конечное направления фотонов совпадают, происходит смещение между начальной и конечной траекторией. Это смещение вычислено аналитически для плоского гравитационно-волнового импульса. Сделаны оценки для наблюдений.

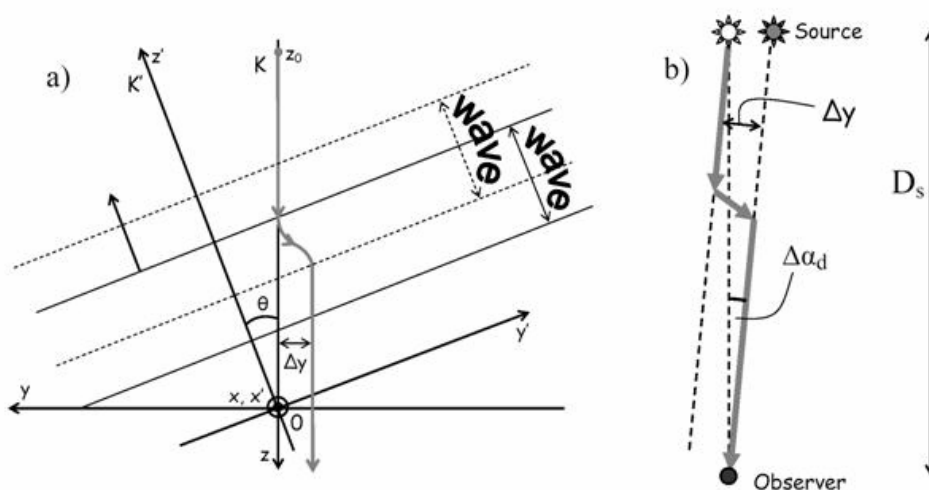


Рис.6. а) смещение траектории фотона при прохождении через плоскую гравитационную волну, б) наблюдательный эффект от смещения траектории фотона, изменение углового положения источника.

Bisnovaty-Kogan G.S. and Tsupko O.Yu., Gravitation and Cosmology, Gravitational lensing by gravitational waves, No. 3 (55), 226-229. 2008.

Руководитель работы: г.н.с. ИКИ, д.ф.-м.н., проф. Г.С. Бисноватый-Коган 333-45-88
gkogan@iki.rssi.ru

Исполнитель: О.Ю.Цупко 333-45-88 tsupko@iki.rssi.ru

2.1.1.8. Гравитационное линзирование в плазме

Результат: зависимость угла отклонения фотона в однородной плазме от частоты фотона, гравитационный радиоспектрометр.

Описание результата:

Развита физико-математическая модель гравитационного линзирования в плазме. Выведены выражения для угла отклонения фотона в плазме. Получено, что если гравитационная линза окружена плазмой, то траектория фотона зависит от его частоты вследствие дисперсивных свойств плазмы. Показано, что даже в однородной плазме угол линзирования зависит от частоты фотона, что приводит к тому, что гравитационная линза

действует подобно гравитационному радиоспектрометру. Получена аналитическая формула для угла отклонения в случае линзирования в Шварцшильдской метрике в плазме. Обсуждаются возможные наблюдательные эффекты, наиболее сильно проявляющиеся для частот, близких к плазменной частоте, что соответствует очень длинным радиоволнам.

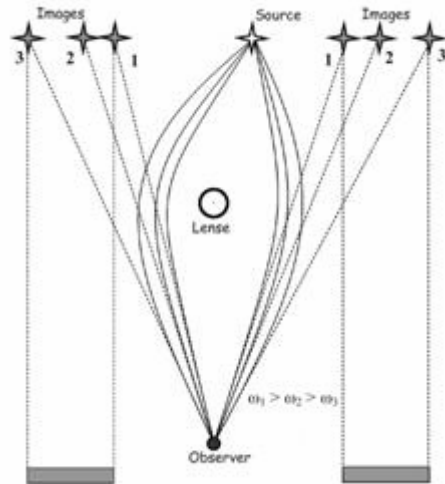


Рис.7. Линзирование точечного источника Шварцшильдской точечной линзой. Вместо двух точечных изображений вследствие линзирования в вакууме мы получаем два изображения-линии. Пары изображений, соответствующие одинаковым частотам фотонов, показаны одинаковыми номерами. Два изображения с номером 1 соответствуют линзированию в вакууме.

Руководитель работы: г.н.с. ИКИ, д.ф.-м.н., проф. Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru

Исполнитель: О.Ю.Цупко 333-45-88 tsupko@iki.rssi.ru

Bisnovatyı-Kogan G.S. and Tsupko O.Yu., Gravitation and Cosmology, Gravitational radiospectrometer, в печати.

2.1.1.9. Динамическая стабилизация несферических тел относительно неограниченного коллапса.

Мы решаем уравнения, приближенно описывающие ньютоновскую динамику самогравитирующего невращающегося сфероида после потери динамической устойчивости. Получено, что сжатие к сингулярности возможно только при чисто сферическом коллапсе, а при отклонениях от сферической симметрии сжатие останавливается благодаря стабилизирующему действию нелинейных несферических колебаний. В реальности коллапс продолжается из-за затухания колебаний в результате потери энергии на излучение, генерации ударных волн и действия вязкости. Детальный анализ нелинейных колебаний выполнен с помощью построения диаграммы Пуанкаре. На этой диаграмме выделены области регулярных и хаотических колебаний.

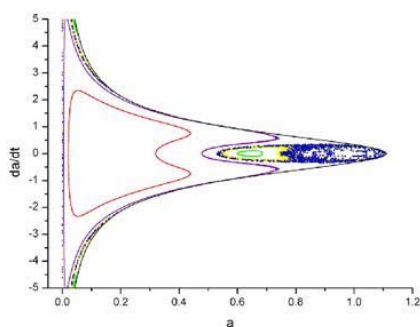


Рис.8 Диаграмма Пуанкаре для сжатия сфероида с отрицательной полной энергией, и показателем адиабаты вещества, равным $4/3$. Показаны три регулярных и две хаотических траектории.

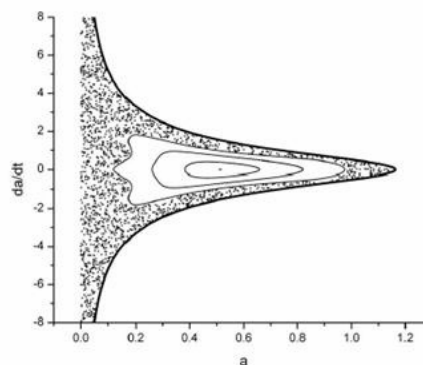


Рис.9. Диаграмма Пуанкаре для сжатия сфероида с отрицательной полной энергией, и показателем адиабаты вещества, равным $6/5$. Показаны четыре регулярных и одна хаотическая траектория.

G.S. Bisnovatyi-Kogan, O.Yu. Tsupko Dynamic stabilization of non-spherical bodies against unlimited collapse Mon. Not. R. Astron. Soc. 386, 1398–1403 (2008)

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru

О.Ю.Цупко 333-45-88 tsupko@iki.rssi.ru

2.1.1.10. Аккреция на черную дыру с магнитным полем

Исследована аккреция вещества на черную дыру при наличии крупномасштабного магнитного поля. Диск предполагается турбулентным, с лучистыми внешними слоями, где генерируются токи при движении вещества к черной дыре и усилении крупномасштабного поля. Получено приближенное решение, где проводимость вещества в диске аппроксимируется непрерывной функцией, быстро растущей у поверхности диска.

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru

R.V.E. Lovelace, D.M. Rothstein, G.S.Bisnovatyi-Kogan

Advection/Diffusion of Large Scale Magnetic Field in Accretion Disks. Proc. Conf. Protostellar Jets in Context 7-12 July 2008, island of Rhodes, Greece. 5 pages.

2.1.1.11. Наблюдения гамма-всплесков

Проведены наблюдения на ЗТШ (НИИ КрАО) и сделана многоцветная фотометрия GRB 081028 начиная с 15 минут после начала всплеска и далее в течение 5 дней, обнаружено появления максимума в послесвечении на интервале 1 день после начала всплеска, в то время, как оптическое излучение непосредственно после начала всплеска не было зарегистрировано. Наблюдение данного события, несомненно, поможет пониманию природы <темных> гамма-всплесков, т.е. всплесков с аномально малым отношением потоков в оптическом и рентгеновском диапазоне.

Проведены оптические наблюдения яркого послесвечения GRB080319b в первый день (АЗТ-8, Харьковский Университет) и глубокие наблюдения в последующие дни (АЗТ-22, Институт Астрономии Узбекской АН, Майданак) с целью поиска родительской галактики; проведены радионаблюдения на телескопах РАТАН-600 и РТ-22. Результаты наблюдений использованы в публикациях

Проведены детальные исследования гамма- всплесков GRB 061126 и GRB 060526. В данных исследованиях использованы наблюдения сети телескопов стран СНГ ЗТШ (НИИ КрАО), АЗТ-22 (Институт Астрономии Узбекской АН, Майданак).

Проведен поиск родительской галактики гамма-всплеска GRB920925C. В то время, как в наблюдениях телескопа ЗТШ (НИИ КрАО) не было обнаружено родительской галактики до $R=25.2$, получены оценки на красное смещение источника всплеска. Показано, что гамма-фотоны диапазона энергий несколько ГэВ, ассоциируемые с данным всплеском, на самом деле не могут быть ассоциированы с GRB920925C.

Проведено комплексное исследование свойств гамма-всплеска GRB060111B. Исследования основаны на наблюдениях телескопов TAROT, RTT150, ЗТШ (НИИ КрАО), ОНР, АЗТ-22 (Майданак), CFHT, Кеск. Найдена родительская галактика, вычислено наиболее вероятное значения красное смещение источника всплеска ($z=2.1$), показано, что свойства оптического излучения в фазе гамма-излучения отличается от излучения гамма-всплеска GRB 080319B, определен гамма-фактор релятивистского выброса, ответственного за излучения начальной фазы.

Проведен анализ коротких гамма-всплесков эксперимента SPI-ACS космической обсерватории INTEGRAL: в усредненном временном профиле коротких всплесков в диапазоне свыше ~ 100 кэВ найдено излучение, продолжающееся до 30 с после начала всплеска, что свидетельствует в пользу продленного излучения коротких всплесков, а не начала рентгеновского послесвечения. Составлен каталог подтвержденных коротких гамма-всплесков SPI-ACS INTEGRAL 2002 – 2007 гг.

Продленное излучение коротких гамма-всплесков SPI-ACS INTEGRAL., П. Минаев, А. Позаненко, В. Лозников, (подготовлено к публикации)

Исследована взаимная корреляция близких галактик (каталог PSCz) и областей локализации коротких гамма-всплесков эксперимента BATSE и сети IPN. Показано, что количество близких гамма-всплесков ($z < 0.1$) в каталоге BATSE составляет менее 7%.

А.С.Позаненко к.ф.-м.н. 333-45-88 apozenen@iki.rssi.ru

2.1.1.12. Ранний этап формирования протозвезды

Проведен многолетний цикл исследований структуры активной области в плотном молекулярном облаке Туманности Ориона. Активные процессы формирования протозвезды сопровождалась мощным мазерным излучением в линиях водяного пара ($\lambda=1.35$ см). Ширина линии не превышала 0.4 км/с (35 кГц). Излучение достигало $F \approx 8$ МЯн и было линейно поляризовано ($P \approx 70\%$). Наблюдалось экстраординарное вращение плоскости поляризации $\phi \approx 250^\circ/\text{км/с}$, рис.10 (А). Наблюдения проводились методом сверхдальней радиоинтерферометрии в рамках широкого международного сотрудничества на глобальной сети и системе VLBA. Достигнуто предельное угловое разрешение ~ 10 мксек дуги или 0.005 а.е.

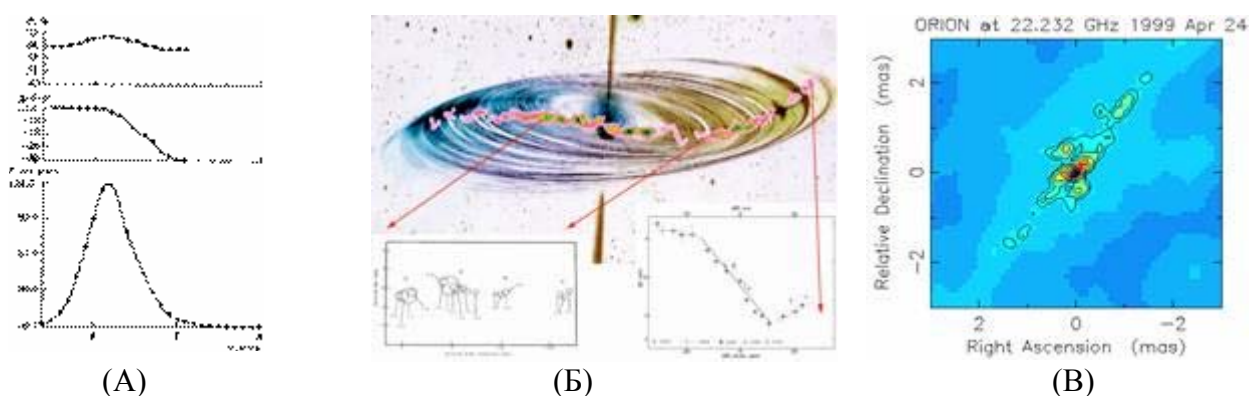


Рис.10 : Профиль линии мазерного излучения в Орионе КЛ – (А). S-образная структура – диск с концентрическими кольцами, наблюдаемый с ребра – (Б). (Внизу слева – цепочка компонент, диаметр кружков $\propto \lg T_b$, T_b - яркостная температура. Справа – зависимость скорости от относительного положения компонент). Тор и биполярный поток –(В).

Обнаружена высокоорганизованная структура – цепочка компактных компонент и биполярный поток, рис.10 (Б). Компоненты распределены вдоль S-образной структуры и соответствуют тангенциальным направлениям концентрических колец, наблюдаемых с ребра. Размеры компонент не превышают 100 мксек (0.05 а.е.). Размер диска, разделенного на кольца, равен ~ 30 а.е., вращение твердотельное, период вращения $T \gg 170$ дней.

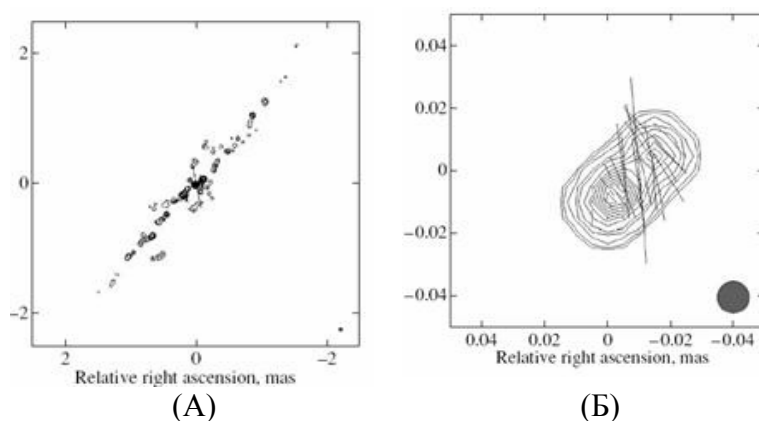


Рис.11. Высококоллимированный биполярный поток – слева (кружок в правом нижнем углу соответствует угловому разрешению 50 мксек дуги). Справа – область эжектора, отрезки прямых соответствуют поляризованному излучению (разрешение 10 мксек).

В центральной части выделяется тороидальная структура и биполярный поток, рис. 10 (Б) и рис.11 (А). Высоко коллимированные потоки наблюдаются на расстояниях до 10 а.е. Сопла разнесены на 8 мксек (0.005 а.е.), рис.11 (Б). Скорость эжекции вещества достигает 10 км/с. Реактивное воздействие эжектируемого вещества вызывает прецессию ($T \gg 10$ лет), угловая скорость которой $\omega \sim 2$. В результате чего формируется спиралевидная структура потоков с переменным шагом. Ориентации фрагментов потоков на выходе сопел отличаются на 45° , а их продольные составляющие скоростей смещены на 0.12 км/с, что и определяет наблюдаемое экстраординарное вращение плоскости поляризации суммарного излучения. Окружающая оболочка ($V_{LSR} = 7.65$ км/с) усиливает мазерное излучение в полосе 0.4 км/с более чем на три порядка. Масса центрального тела, в предположении кеплеровского движения внешних частей диска, не превышает $0.01 M_\odot$. Малая масса и вращение центральной части диска с постоянной скоростью предполагает вихревое движение, которое подобно антицентрифуге всасывает окружающее вещество и

эжектирует его в виде биполярного потока с формированием массивного тела - протозвезды.

- Л.И. Матвеев, С.С. Сиваконь : [Поляризованное излучение эжектора в Орионе КЛ], Письма в Астрономический Журнал, т. 34, с. 908, (2008).
 L.I. Matveyenko, P.J. Diamond, D.A. Graham, K.M. Zaharin, V.A. Demichev & S.S. Sivakon : [Fine Structure of Star Formation Region in Orion KL], proceedings of VSOP-2 symposium, ASP Conference Series, (2008).
 V.A. Demichev, L.I. Matveyenko, D.A. Graham, Ph. J. Diamond : [Maser H₂O Outbursts and Bullets in Orion KL], proceedings of VSOP-2 symposium, ASP Conference Series, (2008).
 д.ф.-м.н. Л.И. Матвеев e-mail: matveen@iki.rssi.ru

2.1.1.13. Выявление общих статистических свойств турбулентности в магнитосферных погранслоях и в краевой плазме термоядерных установок, указывающие на супердиффузию.

Сравнение статистических свойств турбулентности в магнитосферных погранслоях и в краевой плазме термоядерных установок продемонстрировало однотипный характер временных зависимостей структурных функций плазменных флуктуаций и их мультифрактальных спектров.

Несмотря на существенную разницу плазменных параметров, пограничная турбулентность в обоих случаях проявляет черты расширенного самоподобия, наряду со свойствами перемежаемого характера процессов переноса, обусловленного аномальным, по сравнению с гауссовским распределением вероятностей, и спорадическими всплесками потока плазмы.

В большинстве исследованных случаев турбулентный каскад хорошо описывается лог-Пуассоновской моделью с одномерными диссипативными структурами. Статистический подход позволяет характеризовать наблюдаемые процессы переноса как умеренную супердиффузию с зависимостью среднеквадратичного смещения от времени $\propto t^{\alpha}$ и $\alpha \gg 1.4$, $1.87 > 1$. Степень перемежаемости пограничной турбулентности в обоих случаях также весьма близка.

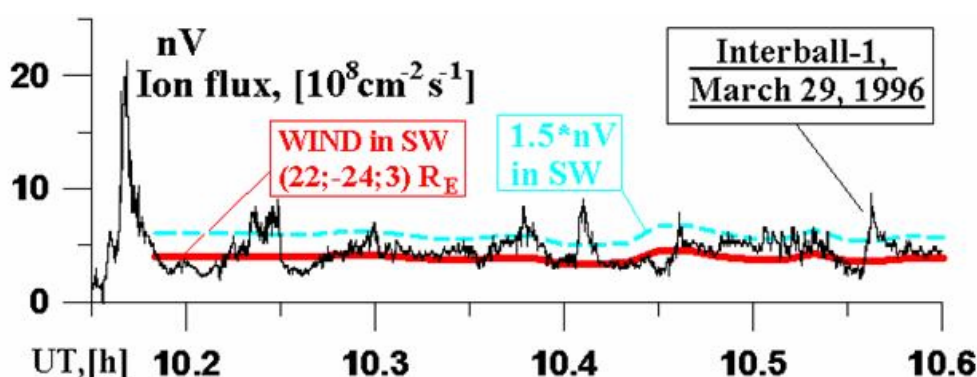


Рис.12. Поток ионов (в $10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, черная линия) в турбулентном пограничном слое над околоземной магнитопаузой по измерениям «Интербола-1» 29 марта 1996 г. Толстая красная линия показывает одновременные измерения в солнечном ветре на спутнике «WIND». Пунктиром показан поток, приблизительно соответствующий МГД модели обтекания магнитосферы Земли солнечным ветром. Баланс потока достигается за счет перемежаемых струй (всплесков потока свыше модельных значений), функция вероятности значений которого удовлетворяет условию супердиффузии. По горизонтали – мировое время в часах

Savin S., E. Amata, L. Zelenyi, et al., High kinetic energy jets in the Earth's magnetosheath: Implications for plasma dynamics and anomalous transport, Письма в ЖЭТФ, 87, 691 (2008)

Budaev V.P., S. Savin, L. Zelenyi, et al., Intermittency and extended self-similarity in space and fusion plasma: boundary effects, Plasma Phys. Control. Fusion 50 074014, doi:10.1088/0741-3335/50/7/074014, (2008)

Савин Сергей Петрович, д.ф.-м.н. e-mail: ssavin@iki.rssi.ru, тел.: 3331100

Результат получен в сотрудничестве с Институтом ядерного синтеза, РНЦ "Курчатовский институт"

2.1.1.14. Формирование нестационарных токовых слоев и динамика ускорения плазмы в хвосте магнитосферы Земли.

На основе наблюдательных данных спутников Кластер и Геотэйл установлены модели формирования нестационарных структур магнитного и электрического поля, отвечающих за ускорение плазмы.

Разработана модель сдвиговой деформации в толстом плазменном слое, рассматривающая независимое вертикальное движение отдельных магнитных силовых трубок в результате которого возникают сильно наклоненные токовые слои и осцилляции наклона слоя обнаруженные ранее в эксперименте. При этом помимо стационарного тока J_y , возникает существенный компонент тока, направленный по вертикали J_z , пропорциональный наклону слоя (Рис.13). Деформационные движения со сложным частотным спектром приводят к вариации наклона слоя на разных масштабах времени, создавая бифурцированные и асимметричные профили в наблюдательных данных.

Установлено наличие в токовом слое геомагнитного хвоста пространственно локализованных источников неадиабатического ускорения ионов двух типов. Первый тип ионных пучков с энергиями до 20 кэВ и узким распределением по скоростям согласуется с моделью квазистационарного неадиабатического ускорения электрическим полем утравечер в локализованной области хвоста на расстояниях более 110 радиусов Земли от Земли. Второй тип ионных пучков с более высокими энергиями до 30 кэВ и более широкой функцией распределения ионов по скоростям наблюдается во время активных геомагнитных периодов, указывая на близость источника к магнитной сепаратрисе (Х-линии пересоединения) и на существенную роль индукционных электрических полей в их ускорении.

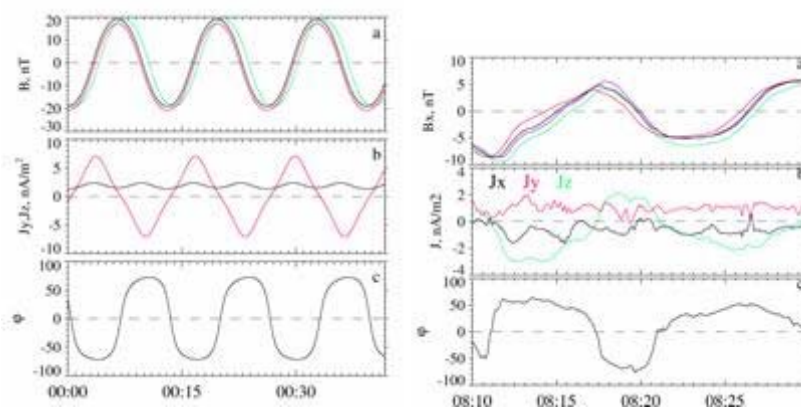


Рис.13. Слева: колебания модельного слоя. J_y компонент тока практически постоянен, J_z дивгаается за изменением угла наклона (нижняя кривая). Справа: пример наблюдаемого слоя. Динамика изменения тока сходна с моделью.

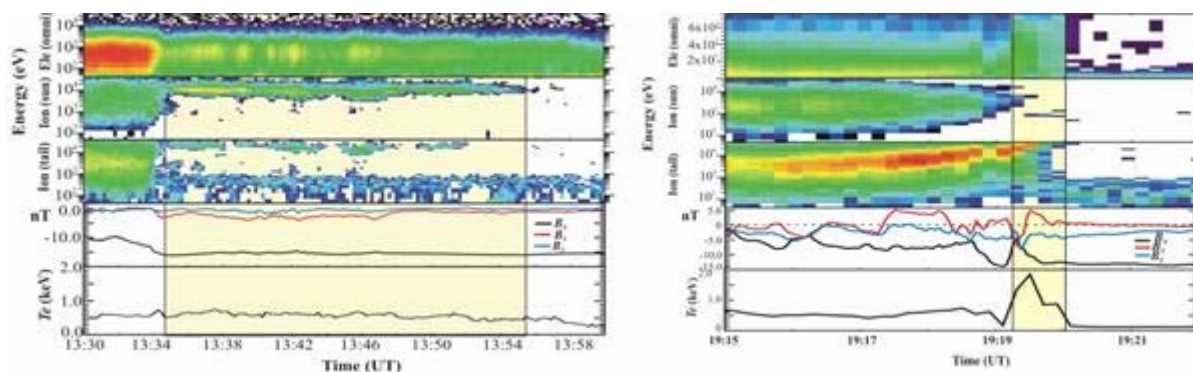


Рис.14. Слева - коллимированный по энергиям ионный пучок (I тип) движущийся к Земле. Справа - широкий по параллельным скоростям ионный пучок (2 тип). Е-Т спектрограммы электронов (все направления), ионов движущихся к Земле, ионов движущихся от Земли, временной профиль магнитного поля и электронной температуры.

Grigorenko, E.E., Hoshino, M., Hirai, M., Mukai, T., Zelenyi, L.M., "Geography" of ion acceleration in the magnetotail. X-line versus Current Sheet effects, submitted to J. Geophys. Res., 2008.

Grigorenko E.E., L.M. Zelenyi, M.S. Dolgonosov, J.-A. Sauvaud, Spatial and temporal structures in the vicinity of the Earth's tail magnetic separatrix. Cluster observations, Book of Proceedings of 15th Cluster Workshop and CAA School, accepted for publication, 2008.

A.A.Petrukovich, W.Baumjohann, R.Nakamura, A.Runov, Formation of current density profile in tilted current sheets Ann. Geophys., 26, 2008, 3669–3676.

Sharma, S., R. Nakamura, A. Runov, E. E. Grigorenko, H. Hasegawa, M. Hoshino, P. Louarn, C. J. Owen, A. Petrukovich, J.-A. Sauvaud, V. S. Semenov, V. A. Sergeev, J. A. Slavin, B. U. Ö. Sonnerup, L. M. Zelenyi, G. Fruit, S. Haaland, H. Malova, and K. Snekvik, Transient and Localized Processes in the Magnetotail: A Review, Annales Geophysicae, 26, 955–1006, 2008.

д.ф.-м.н. А. Петрукович apetruko@iki.rssi.ru

Григоренко Е.Е. к.ф.-м.н. elenagrigorenko2003@yahoo.com , тел.: 333-14-67

2.1.1.15. Экспериментальное обнаружение нового явления: неадиабатического резонансного ускорения ионов в области замкнутых силовых линий магнитного поля токового слоя геомагнитного хвоста.

Ускорение частиц плазмы всегда традиционно связывалось с пересоединением магнитных полей.

На основе анализа более 1000 случаев пересечения пограничного плазменного слоя (ППС) геомагнитного хвоста спутниками Geotail и Cluster установлено, что в спокойные геомагнитные интервалы имеет место квазистационарное неадиабатическое резонансное ускорение ионов в Токовом Слое (ТС) хвоста в области замкнутых силовых линий магнитного поля, непосредственно не связанное с пересоединением. При этом в ТС могут одновременно функционировать несколько пространственно локализованных источников ускорения (т.н. резонансы) (см. рис.15). Ускоренные ионы образуют в ППС хвоста коллимированные по энергиям и локализованные в пространстве пучки (бимлеты), длительность наблюдения которых в ППС может превышать 20 мин (см. рис.16). В областях ТС между резонансами ионы испытывают сильное рассеяние и захватываются внутри ТС.

Таким образом, в спокойные периоды дальние области ТС можно сравнить с «дифракционной решеткой»: диссипация энергии, сопровождающаяся ускорением ионов, происходит не в одном крупномасштабном источнике, который, как правило, формируется вблизи области магнитного пересоединения, а в нескольких локализованных источниках, находящихся на замкнутых силовых линиях с малой, но положительной B_z . Ускоренные ионы, будучи коллимированными по энергиям, инжектируются из таких источников и формируют «дискретную» структуру функций распределения, нередко наблюдаемую в ППС.

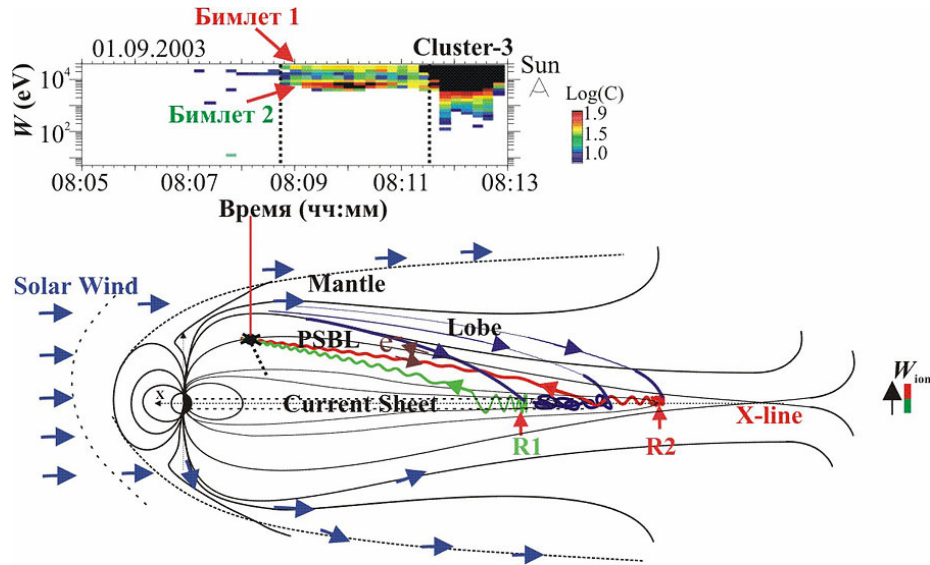


Рис.15. Одновременное наблюдение двух бимлетов, с существенно различными энергиями, ускоренных в ТС в разных резонансных источниках R1 и R2.

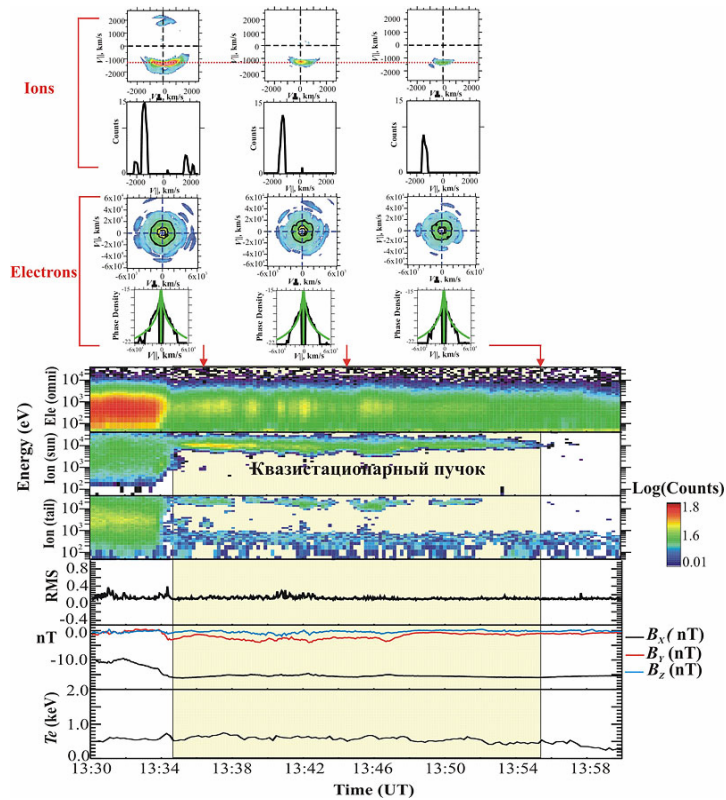


Рис.16. Пример наблюдения спутником Geotail квазистационарного ионного пучка, неадиабатически ускоренного в ТС дальнего хвоста в области замкнутых силовых линий МП.

- Grigorenko, E. E., M. Hoshino, M. Hirai, T. Mukai, and L. M. Zelenyi, J. Geophys. Res., 114, A03203, doi:10.1029/2008JA013811, 2009.
- Grigorenko E.E., L.M. Zelenyi, M.S. Dolgonosov, J.-A. Sauvaud, Spatial and temporal structures in the vicinity of the Earth's tail magnetic separatrix. Cluster observations, Book of Proceedings of 15th Cluster Workshop and CAA School, p.p. 435-453, 2009.
- Grogorenko E., R. Koleva. Variability of discrete plasma structures in the lobe-plasma sheet interface, Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci. v.62, No11, p. 1449-1456, 2009.

2.1.1.16. Исследование механизмов генерации магнитных бурь разными типами солнечного ветра

Многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют, что геомагнитные бури, генерированные разными межпланетными явлениями, по разному проявляются в развитии возмущений внутри магнитосферы. На основе архива данных OMNI о межпланетных условиях для периода 1976-2000 годов выполнен анализ межпланетных источников 798 геомагнитных бурь с $Dst < -50$ nT для следующих крупномасштабных типов солнечного ветра: области сжатия на границе разноскоростных потоков (CIR, 145 магнитных бурь), области сжатия перед межпланетным проявлением выброса корональной массы ICME (Sheath, 96) и двух типов ICME: магнитные облака (MC, 62) и Ejecta (161), источник остальных 334 магнитных бурь из-за отсутствия измерений для некоторых интервалов солнечного ветра оказался неопределенным. Для данного анализа был впервые использован двойной метод наложения эпох, в котором за опорные времена взяты моменты онсета магнитной бури и минимума Dst индекса. С одной стороны, с помощью этого метода были подтверждены ранее полученные результаты, а с другой стороны, получены новые результаты:

впервые получены указания, что существуют различия в эффективности двух подклассов межпланетных CME: MC и Ejecta, а также Sheath перед ними (см. рис.17)

независимым методом нами был убедительно показан тот факт, что существует «память о предыстории» процесса генерации магнитной бури.

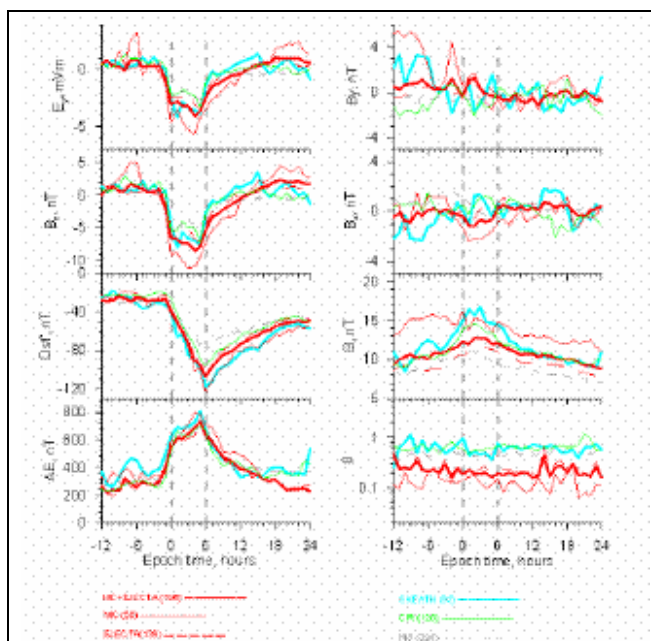


Рис.17. Временной ход электрического поля E_z , B_z компоненты межпланетного магнитного поля (ММП), магнитосферных Dst и AE индексов (слева), B_y и B_x компонент и модуля B ММП, отношения теплового к магнитному давлению (бета-параметр) плазмы.

Ермолаев Ю.И., И.Г. Лодкина, Н.С. Николаева, М.Ю. Ермолаев, Статистическое исследование влияния межпланетных условий на геомагнитные бури, Космические исследования, 2010 (в печати)

Yermolaev Y.I., N.S. Nikolaeva I.G. Lodkina, M.Yu. Yermolaev, Specific interplanetary conditions for CIR-, Sheath-, and ICME-induced geomagnetic storms obtained by double superposed epoch analysis, Adv.Space Res., 2010 (in press)

Ермолаев Юрий Иванович, зав.лаб. ИКИ РАН, 333-13-88, yermol@iki.rssi.ru

2.1.1.17. Ускорение частиц и нагрев вспышечной плазмы

Впервые в предвспышечной и импульсной фазах солнечной вспышке 6 декабря 2006 года обнаружена пропорциональность температуры вспышечной плазмы логарифму интенсивности жесткого рентгеновского излучения. Интенсивность жесткого рентгеновского излучения оценивалась по данным антисовпадательной защиты с порогом регистрации гамма-квантов 80 кэВ, установленной на КА ИНТЕГРАЛ (Европейское Космическое Агенство). Причем нетепловые процессы наблюдались на 5 мин раньше, чем начало роста интенсивности теплового излучения. Это показывает, что электроны, ответственные за жесткое рентгеновское излучение были инициатором и основным источником нагрева вспышечной плазмы, а ускорение частиц и нагрев плазмы являются системой с положительной обратной связью. Связь между температурой и интенсивностью жесткого рентгеновского излучения исчезает после начала взрывного расширения плазмы, когда ее охлаждение становится эффективнее нагрева нетепловыми электронами. Ранее эти эффекты не наблюдались (например, на КА NASA RHESSI) из-за низкой чувствительности детекторов. Предварительный анализ некоторых других событий подтверждает найденные закономерности.

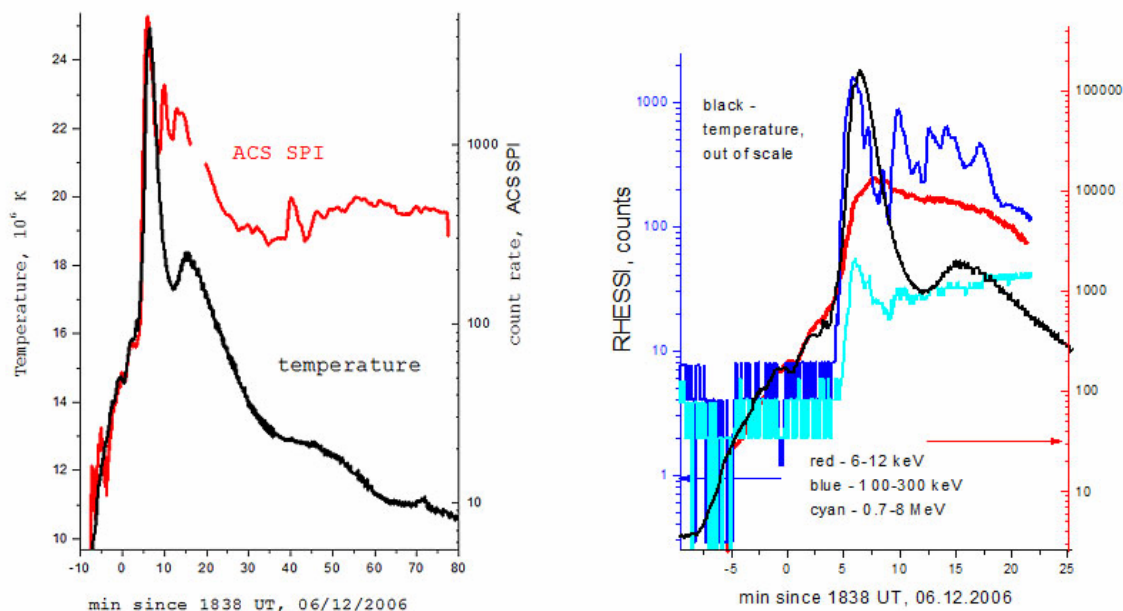


Рис.18. Левая панель: сравнение температуры вспышечной плазмы с логарифмом интенсивности жесткого рентгеновского излучения (>150 кэВ, ACS SPI). Правая панель: сравнение температуры вспышечной плазмы с логарифмом темпа счета детектора RHESSI в различных диапазонах рентгеновского излучения

А.Б. Струминский и И.В. Зимовец, Наблюдения солнечной вспышки 6 декабря 2006г.: ускорение электронов и нагрев плазмы, Письма в АЖ, в печати с 26 августа 2009.

А.Б. Струминский и И.В. Зимовец, Вспышка 6 декабря 2006г. как процесс с положительной обратной связью: ускорение электронов и нагрев плазмы, Конференция по солнечно-земной физике, Пулково, июль 2009

A Struminski: 'Cross calibration with Anti-Coincidence System of Spectrometer on INTEGRAL (ACS SPI)', WorkGroup 3, 9th RHESSI workshop, September 2009, Genova, Italy

A. Struminsky and I. Zimovets, PARTICLE ACCELERATION AND HEATING OF SOLAR FLARE PLASMA, The Sun: from active to quite, International Coronal Workshop, 19-23 October, 2009, FIAN, Moscow, Russia.

Авторы: А.Б. Струминский и И.В. Зимовец

2.1.1.18. Модель сдвиговой деформации токового слоя хвоста магнитосферы, объясняющая формирование наблюдаемых в эксперименте наклонных слоев сложного профиля.

Разработана и верифицирована модель сдвиговой деформации толстого плазменного слоя, описывающая независимое вертикальное движение отдельных магнитных силовых трубок, в результате которого возникают сильно наклоненные токовые слои. Компонент тока J_y в модели остается практически постоянным и равным своему значению в широко известной Харрисовской модели. Дополнительно возникает существенный компонент тока, направленный по вертикали J_z и связанный с наклоном слоя (Рис. 19). Деформационные движения со сложным частотным спектром приводят к вариации наклона слоя на разных масштабах времени. Таким образом, спутниками могут быть зарегистрированы визуально бифурцированные и асимметричные профили тока. Предложенная модель согласуется с наблюдениями спутниками Кластер сильно наклонных токовых слоев в геомагнитном хвосте и объясняет механизм формирования визуально разнообразных токовых слоев.

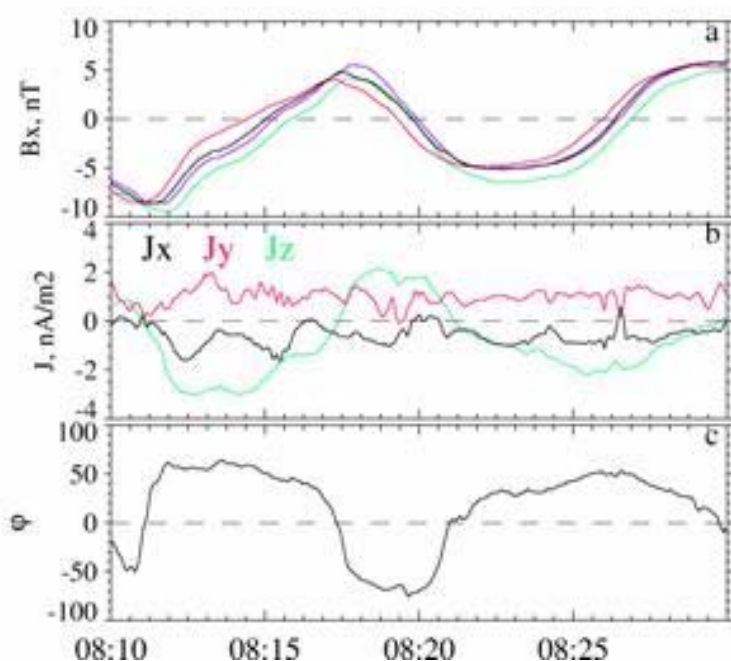


Рис.19. Слева: колебания модельного слоя. J_y компонент тока практически постоянен, J_z отслеживает изменение угла наклона (нижняя кривая). Справа: пример слоя, наблюдаемого спутниками Кластер. Динамика изменения тока сходна с моделью.

A.A.Petrukovich, W.Baumjohann, R.Nakamura, A.Runov, Formation of current density profile in tilted current sheets Ann. Geophys., 26, 2008, 3669–3676.

Петрукович Анатолий Алексеевич, д.ф.-м.н., тел. 333-3267, apetruko@iki.rssi.ru

2.1.1.19. Наблюдения потоков плазмы во время онсетов суббурь

В базе наблюдений проекта Кластер в хвосте магнитосферы за 2001-2007 гг отобраны 49 эпизодов наблюдений тонкого токового слоя заканчивающихся всплеском активности (онсетом). Онсеты определялись как появление потоков плазмы, уменьшение плотности поперечного тока или возрастание B_z после периода локального спокойствия с признаками фазы накопления. Онсеты на удалении 17–20 R_E от Земли сопровождались в основном потоками направленными в хвост. В зоне 11–17 R_E доминировали потоки направленные к Земле, однако в предполночном секторе встречались оба направления потоков. Скорости потоков направленных от Земли были часто довольно малы, в пределах 200-300 км/с. Мы интерпретируем такие потоки как последствия всплесков пересоединения происходящих на вытянутых силовых магнитных линиях плазменного слоя (замкнутых). Часть онсетов не сопровождалась выраженными потоками (более 100 км/с). Плотность поперечного тока была в среднем больше в вечерней и полуночной зонах хвоста.

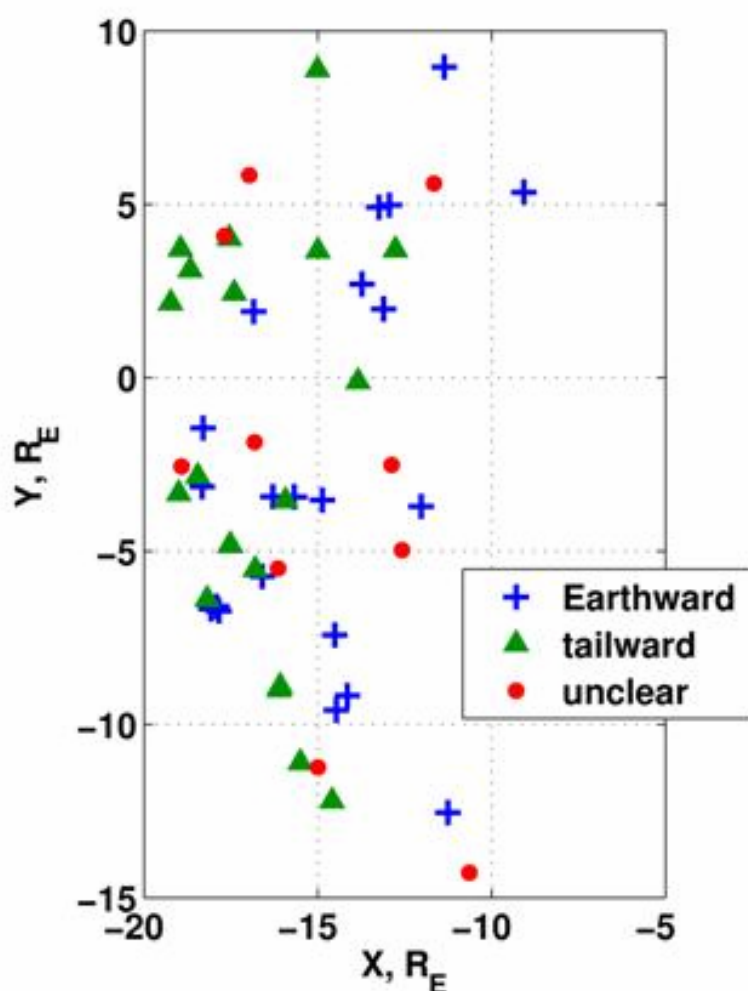


Рис.20. Распределение направлений потоков плазмы в зависимости от места онсета.

Petrukovich, A. A., W. Baumjohann, R. Nakamura, and H. Reme, Tailward and earthward flow onsets observed by Cluster in a thin current sheet, J. Geophys. Res., 114, A09203, doi:10.1029/2009JA014064, 2009

Петрукович Анатолий Алексеевич, зав.лаб., д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

2.1.1.20. Зависимость компоненты B_y магнитного поля в плазменном слое магнитосферы Земли от ориентации диполя: статистическая модель и экстремальные значения

С использованием 11 лет наблюдений проекта Геотейл построена модель магнитной компоненты B_y в плазменном слое хвоста магнитосферы. Модель включает зависимость от межпланетного поля, координат в хвосте и ориентации диполя (в системе GSM). В полуденном и предполуденном секторах B_y положительно коррелирует с наклоном диполя (положительным в летний сезон). Таким образом, летом наблюдаемое распределение B_y сдвинуто в сторону положительных значений, а зимой – в сторону отрицательных. Максимальное приращение B_y из-за этого эффекта может достигать нескольких нТ. На утренней стороне эффекта зависимости от ориентации диполя не наблюдается, за исключением околоземной зоны (в пределах 15 радиусов Земли), где отмечен слабый обратный эффект. Зависимость B_y от наклона диполя может порождаться рядом причин. Похожий эффект был ранее замечен при анализе ионосферной конвекции. Кроме вышеописанного статистического отклика, довольно часто наблюдались экстремальные значения B_y (более 5 нТ и больше соответствующей компоненты межпланетного поля). Они составляют до 20-25 % случаев во время солнечного максимума в предполуденном секторе. Такие значения не могут быть объяснены статистической моделью и требуют наличия некоторого механизма усиления.

A.A.Petrukovich Dipole tilt effects in plasma sheet B_y : statistical model and extreme values
Ann. Geophys., 27, 1343–1352, 2009

Петрукович Анатолий Алексеевич, зав.лаб., д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

2.1.1.21. Вариабельность спектров низкочастотных магнитных колебаний в плазменном слое хвоста магнитосферы Земли.

Исследована динамика частотных спектров магнитных флуктуаций в диапазоне ниже 1 Гц в плазменном слое хвоста магнитосферы Земли. Проанализированы специально отобранные интервалы многочасовых непрерывных наблюдений плазменного слоя спутником Геотейл. Спектры могут быть в целом описаны степенным законом спада с двумя изломами. Диапазон частот между изломами приблизительно 0.2-0.02 Гц имеет наиболее стабильный показатель спада мощности от частоты порядка 2.4-2.6. Показатели на более высоких и более низких частотах более вариативны. Выше 0.2 показатель составляет порядка 3, но флуктуации сильно локализованы. На низких частотах показатель составляет порядка 1.5. Комбинация показателей наклона (альфа) в частотных спектрах и спектрах длины (дельта, фрактальная размерность) должна следовать формуле $\alpha + 2 \cdot \delta = 5$, но на самом деле в среднем составляет более 5.5.

Petrukovich A.A. and D.V. Malakhov, Variability of magnetic field spectra in the Earth's magnetotail, подано в журнал Nonlinear processes in geophysics, октябрь 2009.

Петрукович Анатолий Алексеевич, зав.лаб., д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

2.1.1.22. Свойства пограничного слоя

Показано сосуществование эффективного разделения движущейся и застойной плазмы турбулентным транспортным барьером вместе с супердиффузией и концентрированными плазменными струями.

В ходе анализа данных проектов Интербол и Кластер было показано, что высокоширотный турбулентный погранслои над полярными каспами и плазменной мантией в сингулярной точке ветвления магнитного поля у высокоширотной магнитопаузы, являться транспортным барьером или препятствием, эффективно разделяющим движущуюся плазму магнитослоя от застойной плазмы полярных каспов.

В тоже время, изучение зависимости от времени среднеквадратичного смещения вдоль нормали к границе продемонстрировало наличие супердиффузии в таких барьерах, по всей видимости, обусловленной плазменными струями, с концентрированной, по сравнению с солнечным ветром, кинетической энергией.

Это необычное сочетание свойств транспортных барьеров представляется важным для исследования удержания плазмы в термоядерных установках, статистические свойства пограничных слоев в которых оказались схожими со свойствами магнитосферных транспортных барьеров, включая супердиффузию.

Amata E., S.P. Savin, D.Ambrosino, Y. Bogdanova, R. Treumann, M. F. Marcucci, S. Romanov, A.Skalsky, High kinetic energy density jets in the Earth's magnetosheath: a case study. Planetary and Space Science, submitted 2009.

Savin,S.,et al., ROY-A multiscale magnetospheric mission. Planet. Space Sci. (2010), doi:10.1016/j.pss.2010.05.001

2.1.1.23. Открытие молекулы гидроксила в атмосфере Венеры

В лимбовых спектрах Венеры, полученных изображающим спектрометром ВИРТИС на Венере Экспресс, отождествлены ИК полосы Мейнеля ОН (2-0) в области 1.40–1.49 мкм и ОН (1-0) и (2-1) в области 2.6–3.14 мкм с интегральной интенсивностью соответственно 100 ± 40 and 880 ± 90 kR.

До сих пор свечение ОН наблюдалось только в атмосфере Земли - это открытые в 1948 году Мейнелем колебательно-вращательные полосы, возникающие при переходах между уровнями основного состояния. Предпринимались безуспешные попытки обнаружить ОН в атмосфере Марса (впервые, Краснопольским на Марс-5), химия ОН для Марса хорошо разработана, соответственно гидроксил играет ключевую роль в восстановлении атмосферы из CO₂, которая разрушается на дневной стороне солнечным УФ. Учитывая малое содержание воды в атмосфере Венеры, обнаружение гидроксила было неожиданным.

Эмиссии ОН переменны в пространстве и времени, но коррелируют с эмиссией O₂ 1.27 мкм по интенсивности и положению пика эмиссии (96 ± 2 км). Обнаружение ОН приводит к изменениям существующих представлений о химических процессах в атмосфере Венеры, касающихся реакций с участием Н, ОН и О₃.

По относительному распределению интенсивности в полосе ОН (1-0) вращательная температура найдена равной 250 ± 25 К, что согласуется с результатами эксперимента СПИКАВ, показавшими существование горячего слоя атмосферы на высотах 95 – 100 км (на некоторых орбитах). Наблюдаемое изменение интенсивности свечений как O₂ так и ОН по измерениям с различных орбит, по-видимому, связано с зависимостью как эффективности химических реакций, так и столкновительной деактивации, от физических условий в атмосфере, и в первую очередь от температуры, хотя могут играть роль и вариации содержания NO₂, Н, О и О₃.

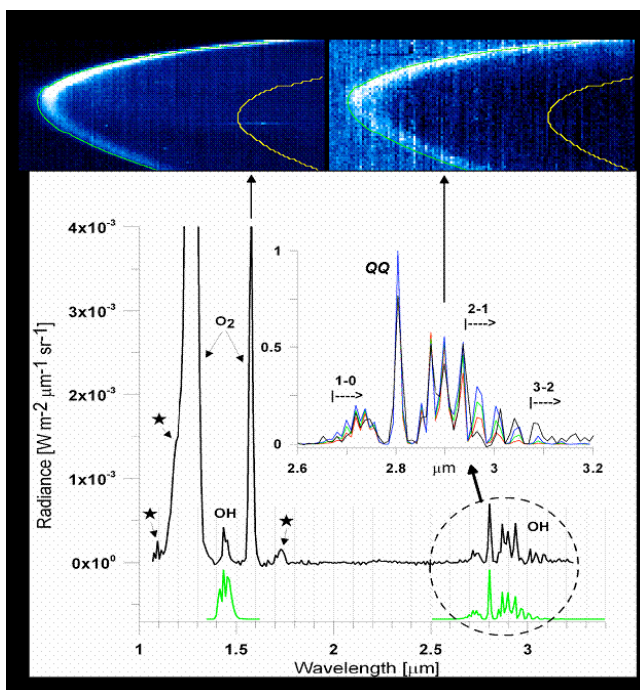


Рис.21. Лимбовый спектр Венеры, усредненный в пределах 90 - 100 км высоты и 25 - 35°N (LT ~ 2 h). Наряду с O₂ (0,0) 1.27 мкм и (0,1) 1.58 мкм наблюдаются полосы OH на 1.40 -149 мкм (2-0) и 2.6–3.14 мкм (1-0) и (2-1). Детали на 1.1, 1.18 и 1.74 мкм (звездочки) - следы теплового излучения нижней атмосферы, рассеянного надоблачной дымкой. Приведены синтетические спектры (черный спектр – измеренный). На лимбовых изображениях приведены две линии, соответствующие высоте над поверхностью 0 и 100 км. Вытянутое лимбовое изображение связано с разным масштабом по осям.

G. Piccioni, P. Drossart, L. Zasova, A. Migliorini¹, J-C G'érard, F.P. Mills, A. Shakun, A. Garc'ia Mu~noz, N. Ignatiev, D. Grassi, V. Cottini, F.W. Taylor, S. Erard, and the VIRTIS-Venus Express Technical Team, First detection of hydroxyl in the atmosphere of Venus. *Astronomy and Astrophysics*, V. 483, pp.L29-L33
Засова Л.В., Шакун А., Игнатьев Н.И.

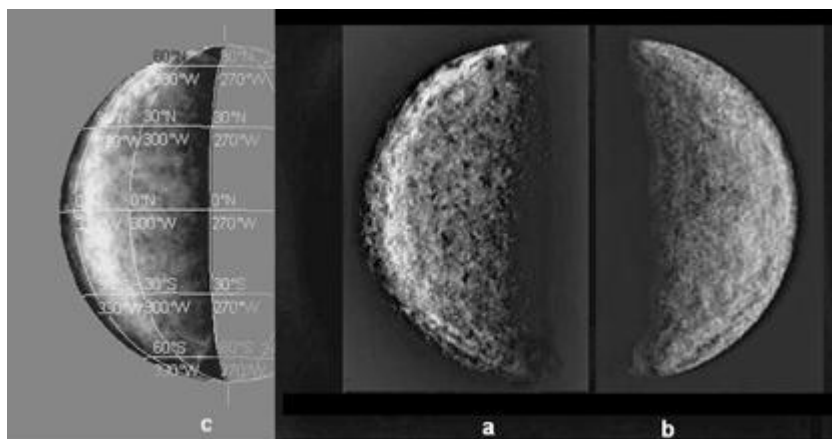
2.1.1.24. Наблюдения кометы C/2004 Q2

На основе проведенных наблюдений кометы C/2004 Q2 (Мачхольца) в ближней инфракрасной области спектра показано, что вещество с поверхности кометы истекает не в виде пыли и газа, а в виде фрагментов, которые распадаются на пыль и газ за время порядка суток. Этот результат важен, как с точки зрения оценки массы теряемого кометой вещества, так и для понимания структуры ее внешних слоев. Сделан вывод о рыхлом характере поверхностного слоя комет, как в настоящую эпоху, так и в эпоху их формирования. С учетом того, что земные океаны, возможно, возникли в результате бомбардировки Земли кометами, сформулирована гипотеза о стохастическом формировании сложных органических молекул, из которых сформировалась жизнь на Земле, именно, на поверхности комет. Гипотеза основана на следующих фактах: (1) на поверхностях со сложной микроструктурой в космических условиях при низкой температуре эффективно образуются сложные, в том числе и органические, молекулы; (2) их образование во многих случаях стимулируется наличием квантов с высокой энергией, которые присутствуют в межзвездной среде; (3) нарастающий, при формировании кометы, внешний слой вещества защищает образовавшиеся молекулы от разрушения теми же квантами, (4) имеется большой интервал времени для образования сложной органики до попадания ее в тепличные условия на Землю.

Маслов И.А., 333-4011, imaslov@iki.rssi.ru

2.1.1.25. Исследования Меркурия

Предложенный в ИКИ и впервые реализованный в 1999 г. метод наблюдений Меркурия с миллисекундными экспозициями стал эффективным средством получения разрешенных изображений неизвестной стороны Меркурия. Методом миллисекундных экспозиций в наземных наблюдениях 1999-2008 гг. в разных обсерваториях были получены тысячи электронных снимков стороны Меркурия, не охваченной съемкой аппаратов Маринер-10 в 1973-75 гг. и Мессенджер в 2008 г. На основе компьютерных программ обработки изображений и полученных наблюдательных данных были синтезированы разрешенные изображения поверхности неизвестных районов планеты. Синтезированные изображения сравнимы со снимками, получаемыми с космических аппаратов на подлете, с расстояний около 1 млн км и в небольшой перекрывающейся части были сопоставлены со снимками аппарата Мессенджер.



Полученный материал позволяет, с определенной осторожностью, утверждать, что крупные детали рельефа асимметрично распределены по поверхности Меркурия, подобно тому, как это наблюдается на других планетах земной группы, Луне и многих спутниках планет-гигантов.

Л.В. Ксанфомалити, ksanf@iki.rssi.ru

2.1.2. ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ИМ. Н.В.ПУШКОВА РАН

2.1.2.1. Проект КОРОНАС-Ф: Солнечная и солнечно-земная физика

В 2008-2009 гг. продолжалась обработка данных, полученных спутником КОРОНАС-Ф в период его работы на околоземной орбите (2001-2005 гг.). КОРОНАС-Ф наблюдал Солнце и регистрировал проявления его активности в околоземном космическом пространстве.

Гелиосейсмологический эксперимент ДИФОС/КОРОНАС-Ф

Используя данные гелиосейсмологического прибора ДИФОС/КОРОНАС-Ф, продемонстрированы возможности разработанного нового метода обработки временных серий наблюдений для определения с высокой точностью средних частот расщепленных

линий р-мод глобальных колебаний Солнца, а также для изучения природы невращательного расщепления линий в спектре р-мод колебаний.

Точное определение частот линий р-мод колебаний является одной из основных задач глобальной гелиосейсмологии, так как оно определяет точность решения обратной задачи. Для решения этой проблемы были созданы наземные сети наблюдательных станций и космические станции непрерывного наблюдения за Солнцем, поскольку точность измерения частот зависит от продолжительности наблюдений. Однако, оказалось, что линии подвержены расщеплению не связанному с вращением Солнца. В результате, для определения частот линий по длительным рядам наблюдений используются различные статистические методы усреднения, которые дают несовпадающие друг с другом результаты. Таким образом, оказалось, что усилия и средства по созданию наземных и космических станций наблюдений не полностью достигли своей цели. Предложенный новый метод анализа временных серий наблюдений является обобщением концепции аналитического сигнала. Этот метод позволяет найти мгновенную амплитуду, фазу и частоту сигнала, а также отдельно определить вклады амплитудных и частотных флуктуаций в расширение спектральной линии.

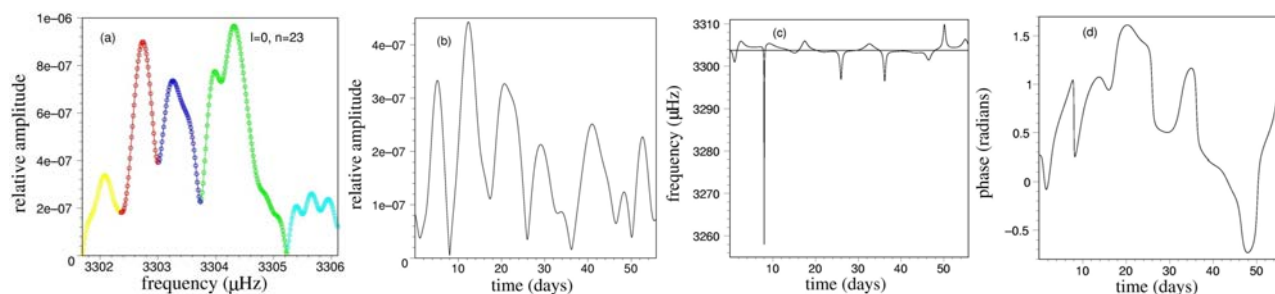


Рис.1. (а) Спектральная линия глобальной моды колебаний ($l=0, n=23$), расщепленная на компоненты показанные разными цветами. (b,c,d) Мгновенные амплитуда, частота и фаза колебаний.

На рис.1 приведены результаты обработки предложенным методом двухмесячной серии наблюдений прибора ДИФОС/КОРОНАС-Ф в диапазоне 350 нм. Линия колебаний глобальной моды с $l=0$, не подверженная расщеплению из-за вращения Солнца, оказывается расщепленной на несколько компонент рис.1а. Биения между компонентами приводят к вариациям амплитуды моды во времени (рис.1б). Выбросы мгновенной частоты (рис.1с) происходят в минимумы амплитуды, что подтверждает тот факт, что вариации амплитуды это результат биений компонент. Скачки фазы (рис.1д) в минимумах амплитуды приводят к скачкам мгновенной частоты. Были получены аналитические сигналы для каждой из компонент линии, показанных различными цветами на рис.1а. На рис.2а,b,c приведены мгновенные амплитуды, частоты и фазы для каждой из компонент сигнала. Наличие выбросов частоты и скачков фазы в минимумах амплитуды является свидетельством того, что компоненты сигнала в свою очередь состоят из субкомпонент, которые не удастся разрешить из-за недостаточной длины реализации. На рис.2д приведены дисперсии флуктуаций амплитуды и частоты для компонент линии и для всей линии в целом. Во всех случаях дисперсия флуктуаций амплитуды превышает дисперсию флуктуаций частоты в 10-100 раз, т.е. ширина спектральной линии практически полностью определяется флуктуациями амплитуды, в то время как частота р-моды оказывается очень стабильной. Таким образом, новый метод анализа временных рядов позволяет определить частоту линии с высокой точностью. Обнаружены также необычные свойства компонент линии, которые вряд ли могут быть объяснены в рамках теории стохастического возбуждения р-мод колебаний на Солнце.

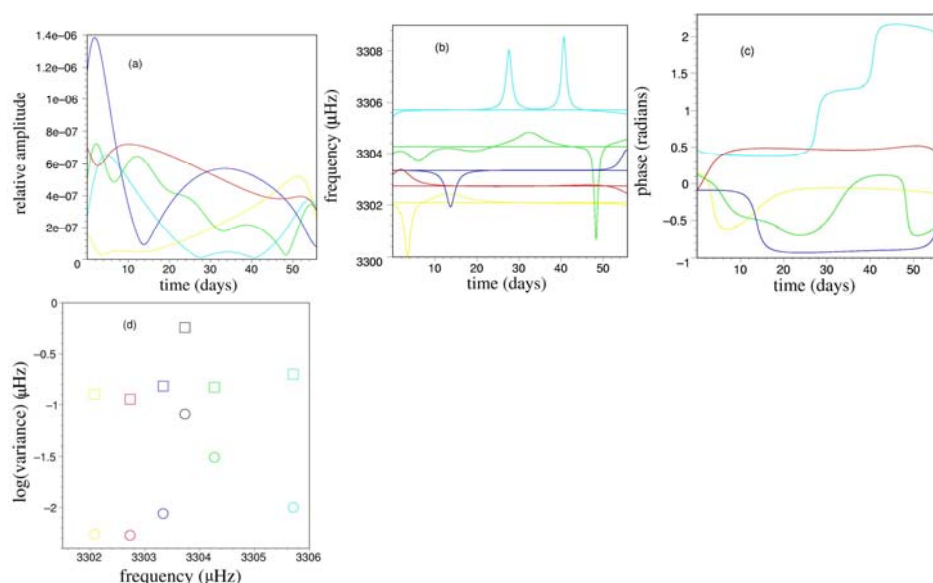


Рис.2. (a,b,c) Мгновенные амплитуды, частоты и фазы компонент линии показанных тем же цветом на Рис.1a. (d) Дисперсия флуктуаций амплитуды (квадраты) и частоты (окружности) компонент. Черным цветом показаны дисперсии амплитуды и частоты для всей линии.

Результаты эксперимента СПИРИТ/КОРОНАС-Ф

В ходе эксперимента СПИРИТ, проводившемся на спутнике КОРОНАС-Ф, спектрогелиографом Mg XII получены уникальные в мировой практике *монохроматические* изображения Солнца в спектральной линии $\lambda=8.42 \text{ \AA}$ (резонансная линия иона Mg XII). Эта спектральная линия излучается только при относительно высоких для солнечной короны температурах – $T > 5 \text{ MK}$, которая характерная для солнечных вспышек. Таким образом, спектрогелиограф Mg XII впервые позволил непосредственно получать изображения горячей вспышечной плазмы, не смешанные с изображением более холодной плазмы спокойной короны.

На основе полученных данных был разработан новый метод и проведен комплексный анализ солнечных вспышек. Получены новые сведения о физических условиях во вспышечной плазме – пространственном распределении температуры, плотности и их временной динамике. Метод основан на рентгеновских изображениях Солнца $\lambda=8.42 \text{ \AA}$, полученных спектрогелиографом Mg XII, и данных о полных потоках интенсивности в относительно широких спектральных диапазонах $1-8 \text{ \AA}$ и $0.5-4 \text{ \AA}$ (полученных рентгеновскими мониторами спутников GOES). Наблюдения спутника RHESSI в жестком рентгеновском диапазоне были использованы для верификации разработанного метода и проверки полученных результатов.

Метод для определения температурного состава (дифференциальной меры эмиссии) излучающей плазмы использует полные интенсивности рентгеновского излучения Солнца в различных спектральных диапазонах. На основе измерений в трех различных спектральных диапазонах – монохроматической линии 8.42 \AA (по данным СПИРИТ) и двух относительно широких интервалах $1-8 \text{ \AA}$ и $0.5-4 \text{ \AA}$ (по данным GOES) получены сведения о временной динамике температуры для активных вспышечных явлений, наблюдавшихся на Солнце в феврале 2002-го года. В этот период на Солнце произошло несколько характерных вспышечных, и данные СПИРИТ были получены с высоким временным разрешением 1.5 мин. Было показано, что во время длительных вспышечных

событий большое количество плазмы остается при относительно невысоких (для вспышек) ~ 1 -4 МК и средних 4-10 МК температурах (см. рис.3).

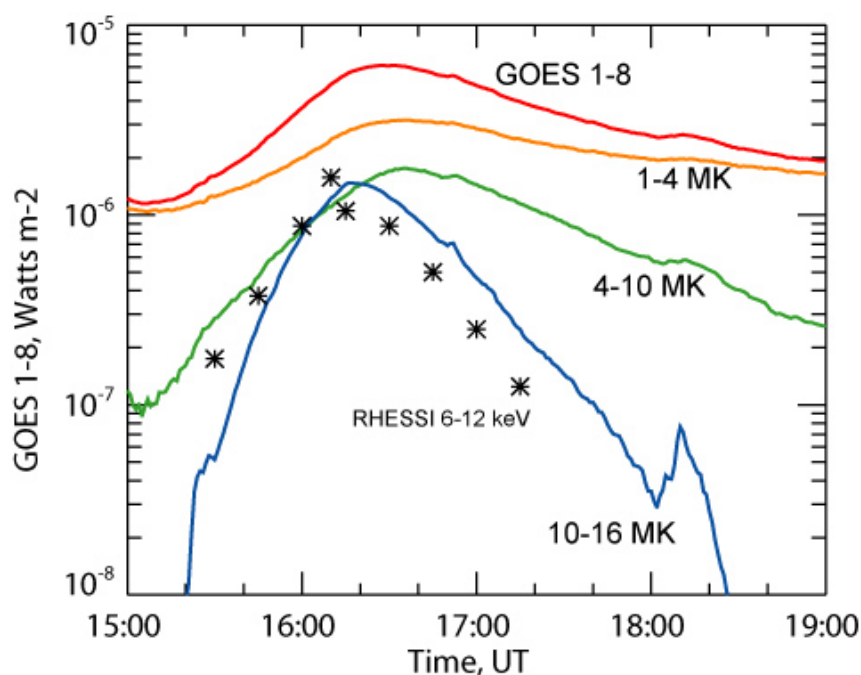


Рис.3. Полный поток в спектральном диапазоне 1-8 Å, измеренный рентгеновским монитором GOES (красная линия), и его декомпозиция на потоки, соответствующие «холодной» – 1-4 МК, «средней» – 4-10 МК и «горячей» – 10-16 МК плазме. Приведено для вспышки 26-го февраля 2002-го года.

Монохроматические изображения, полученные спектрогелиографом Mg XII, и сведения о температурном составе (дифференциальной мере эмиссии) были использованы для моделирования пространственных распределений электронных температуры и плотности (T_e , n_e) в области вспышки, наблюдавшейся 26 февраля 2002-го года. Анализ изображений показывает, что в центре вспышки было яркое сферическое ядро, которое было окружено менее интенсивной областью. Моделирование пространственного распределения излучения было проведено при помощи сферически симметричных распределений температуры и плотности. Конкретные значения температуры и плотности подбирались для согласия модели с экспериментом. Проведенный анализ показывает, что во вспышке было относительно горячее ядро, температура которого поднималась от 5 МК на периферии до 16 МК в центре, при этом плотность была близка к типичной корональной и изменялась незначительно – от $1.5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$ до $2.5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$.

Временные профили температуры, полученные при помощи данных о рентгеновских потоках, были использованы для совмещения монохроматического изображения Mg XII с изображением в жестком рентгеновском диапазоне, полученном на спутнике RHESSI (см. рис.4).

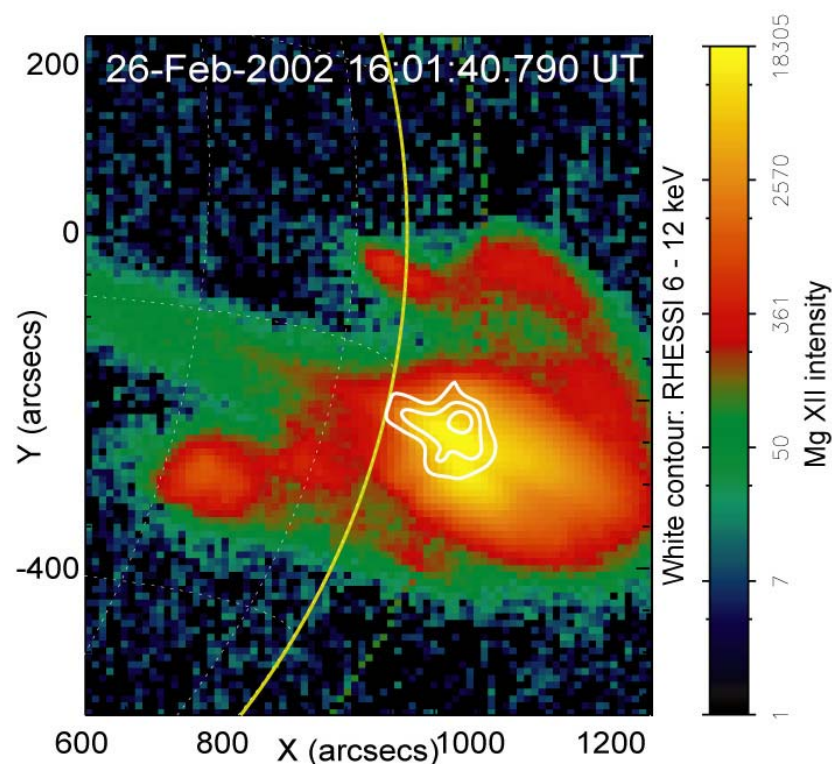


Рис.4.Монохроматическое изображение спектрогелиографа Mg XII ($\lambda=8.42\text{\AA}$; цветное) и изображение в жестком рентгеновском диапазоне, полученное на спутнике RHESSI (6-12 кэВ; белый контур).

Полученное составное изображение позволило определить границы «горячей» области на изображении спектрогелиографа Mg XII и проверить точность определения пространственных распределений T_e , n_e . Полученные сведения о физических условиях во вспышечной плазме – ее температуре, плотности, их временной динамике могут быть использованы для выбора механизма нагрева вспышечной плазмы. Показано, что полученные результаты согласуются с моделью нагрева плазмы быстрой ударной волной и моделью тонкой мишени.

Высокотемпературная плазма в короне Солнца.

Во время солнечных вспышек импульсное выделение энергии приводит не только к ускорению частиц, но и к эффективному нагреву плазмы. Наблюдения, проведенные рентгеновским телескопом SXT на борту спутника Yohkoh (Masuda et al., 1994; Tsuneta et al., 1997), показали, что горячая плазма во вспышках может формироваться как в хромосфере, так и в солнечной короне. В период с 2001 по 2005 годы информацию о пространственных и временных характеристиках высокотемпературной плазмы в короне предоставлял спектрогелиограф RES-K, являвшийся частью комплекса научных инструментов СПИРИТ, работавших на борту российского спутника КОРОНАС-Ф (Oraevsky et al., 2002). Спектрогелиограф RES-K предоставлял монохроматические изображения полного солнечного диска в линии Mg XII 8.42 А, температура формирования которой составляет 5-15 МК (Zhitnik et al., 2003). Это делало возможным прямые наблюдения горячей корональной плазмы в отличие от данных спутника Yohkoh, который мог определять положение такой плазмы в короне только косвенными методами, основанными на сравнении изображений SXT, полученных с разными фильтрами. Мы использовали преимущества наблюдений RES-K, чтобы исследовать структуру и динамику горячей корональной плазмы во вспышечных областях и в спокойной короне Солнца.

Были проанализированы серии последовательных изображений активной области NOAA 9830, которая наблюдалась спектрогелиометром RES-K в линии Mg XII 8.42 Å channel, начиная с 21:40 UT 21 февраля до 08:00 UT 22 февраля 2002 года, то есть в период максимума солнечной активности. В этот интервал времени также попала вспышка класса M4.4 по данным GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), произошедшая в наблюдаемой активной области. На рис.5 показан измеренный временной профиль излучения в линии Mg XII вместе с одновременными профилями излучения в диапазоне энергий 25-50 кэВ (RHESSI - Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager) и в диапазоне длин волн 1-8 Å (GOES). Профиль жесткого рентгеновского излучения должен коррелировать с темпом инъекции ускоренных электронов.

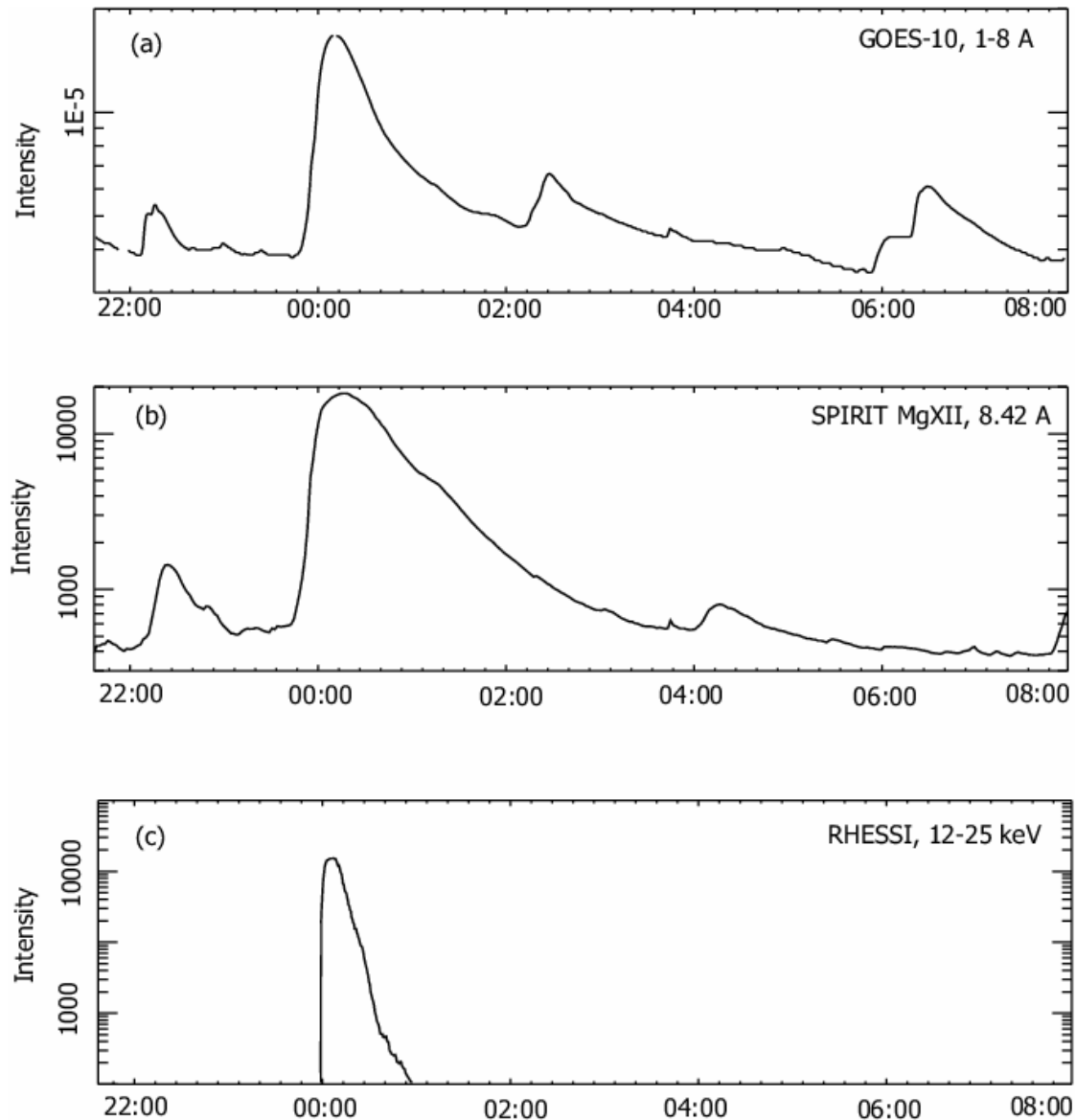


Рис.5. Временные профили излучения: (a) Интегральное излучение Солнца в диапазоне длин волн 1-8 Å по данным GOES; (b) Излучение высокотемпературной плазмы в линии MgXII 8.42 Å; (c) жесткое рентгеновское излучение вспышки в диапазоне 25-50 кэВ по данным RHESSI.

Структура активной области в фотосфере и короне показана на рис.6. Все изображения были приведены к одному масштабу, а также осуществлена их компенсация за счет вращения Солнца. Из анализа изображений SOHO/EIT и TRACE были выбраны группы магнитных петель, которые обозначены на рисунке как A1-A4. На нижней панели эти группы петель нанесены на изображения высокотемпературных источников излучения, положение которых определено по линии MgXII. Сравнение панелей на рис.6 показывает, что положение высокотемпературных областей совпадает с системами магнитных петель, причем максимум интенсивности излучения горячей плазмы приходится на области вблизи вершин магнитных петель.

Во время рассматриваемой серии наблюдений произошла вспышка класса M4.4. Ее начало по наблюдениям в линии MgXII пришлось на 23:45 UT и совпало с ядром горячей плазмы R2 (рис.6). Во время вспышки ядра R2-R4 слились на изображениях СПИРИТ, так что нельзя было изучать их динамику отдельно. Ядро R1 находилось на большом расстоянии от центра вспышки, и его независимые измерения можно было проводить даже во время максимума вспышки. На рис.7 показан временной профиль трех слившихся ядер R2-R4 и профиль удаленного ядра R1. Примечательной особенностью оказалось, что временные профили показывают корреляцию, которая хорошо выражена сразу на нескольких интервалах времени. В частности, через некоторое время после начала вспышки в ядре R2 был зарегистрирован рост излучения в удаленном ядре R1. Основываясь на временной задержке 5 мин, и расстоянии между ядрами 210000 км, была оценена скорость распространения возмущения из центра вспышки - 650 км/с.

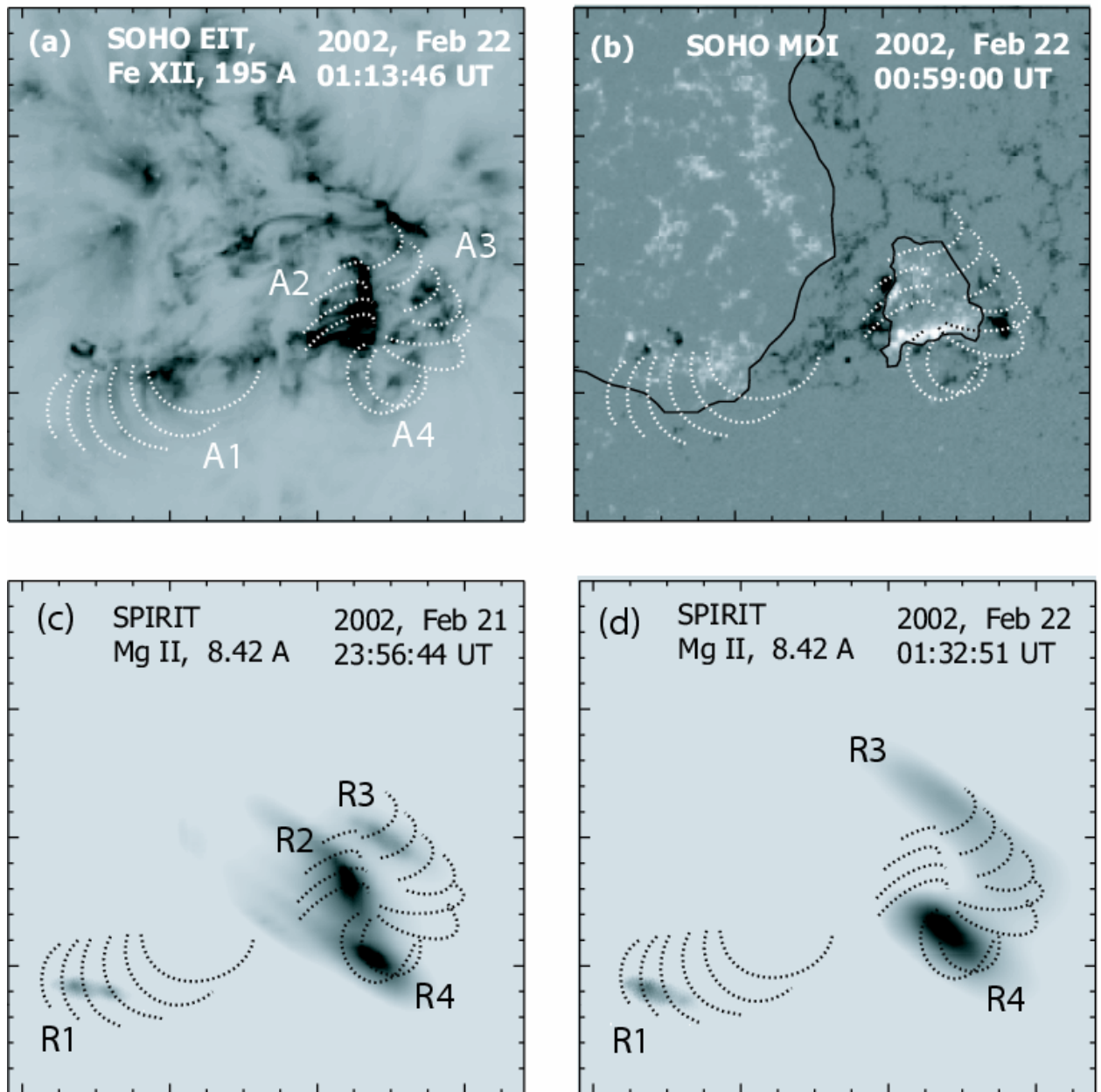


Рис.6. Активная область NOAA 9830: (a) изображение SOHO/EIT в линии 195 Å; (b) магнетограмма SOHO/MDI и нейтральная линия фотосферного магнитного поля; (c) положение областей высокотемпературной плазмы (R1-R4) до вспышки (изображения СПИРИТ в линии MgXII 8.42 Å); (d) распределение высокотемпературной плазмы после вспышки. Системы петель, наблюдавшиеся спутников TRACE, показаны пунктирной линией и символами A1-A4.

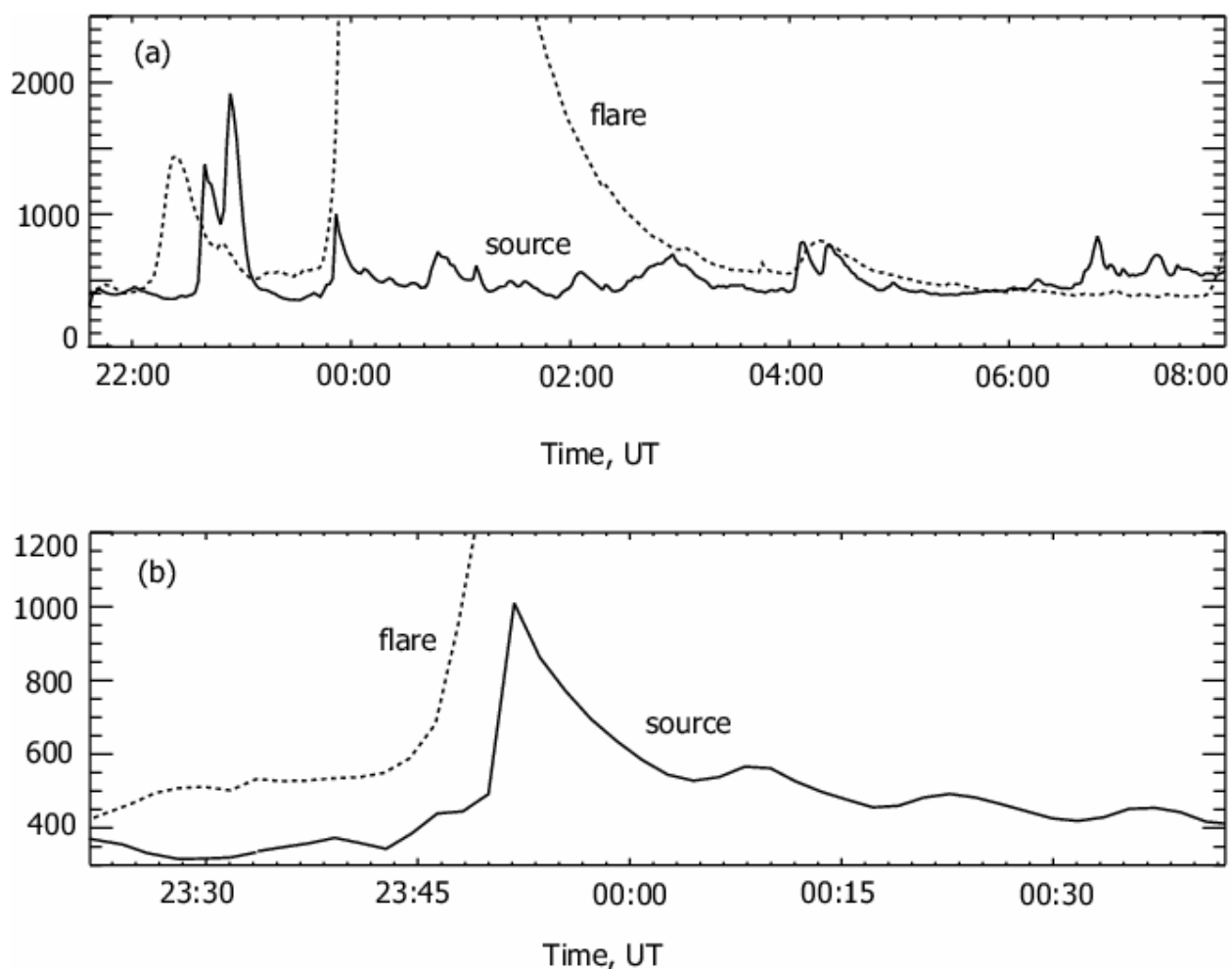


Рис.7. Сравнение профилей излучения высокотемпературной плазмы в ядре вспышки (пунктирная линия) и в удаленном источнике R1 (сплошная линия)

Список литературы

- Masuda, S., Kosugi, T., Hara, H., et al., Nature, Vol. 371, 495, 1994.
 Tsuneta, S., Masuda, S., and Kosugi, T., ApJ, Vol. 478, 787, 1997.
 Oraevsky, V.N. and Sobelman, I.I., Astron. Lett., Vol. 28(6), 401, 2002.
 Zhitnik, I.A., Bugaenko, O.I., Ignatiev, A.P., et al., MNRAS, Vol. 338, 67, 2003.

Корона в жестком ультрафиолетовом диапазоне.

Телескоп СПИРИТ на спутнике КОРОНАС-Ф (26 июля 2001 – 5 декабря 2005 г.) впервые наблюдал солнечную корону в диапазонах 175 Å (линии ионов железа Fe IX, X and XI) и 304 Å (линия иона HeII) в режиме коронографа на расстоянии до 5 солнечных радиусов. Этот диапазон является промежуточным между полями зрения обычных ВУФ-телескопов и большинства коронографов видимого диапазона и представляет большую важность для исследований формирования структуры стримеров, ускорения выбрасываемого вещества и источников быстрого и медленного солнечного ветра.

Продолжительные коронографические наблюдения короны в ВУФ-диапазоне, проведенные в период высокой солнечной активности июне и декабре 2002 г. показали, что в диапазоне 175 Å корона состоит из диффузной квази-симметричной части (совокупность неразрешенных петель) и структуры ярких лучей (радиальных или нерадиальных, элементы 1 и 2 на рис.8), начинающихся с поверхности Солнца. Некоторые из этих лучей связаны с активными областями и выявляют потоки солнечного ветра (структура 4 на рисунке). Наблюдались также несколько больших всплывающих петель

(структура 3 на рисунке), которые были ассоциированы с корональными выбросами массы по каталогу LASCO.

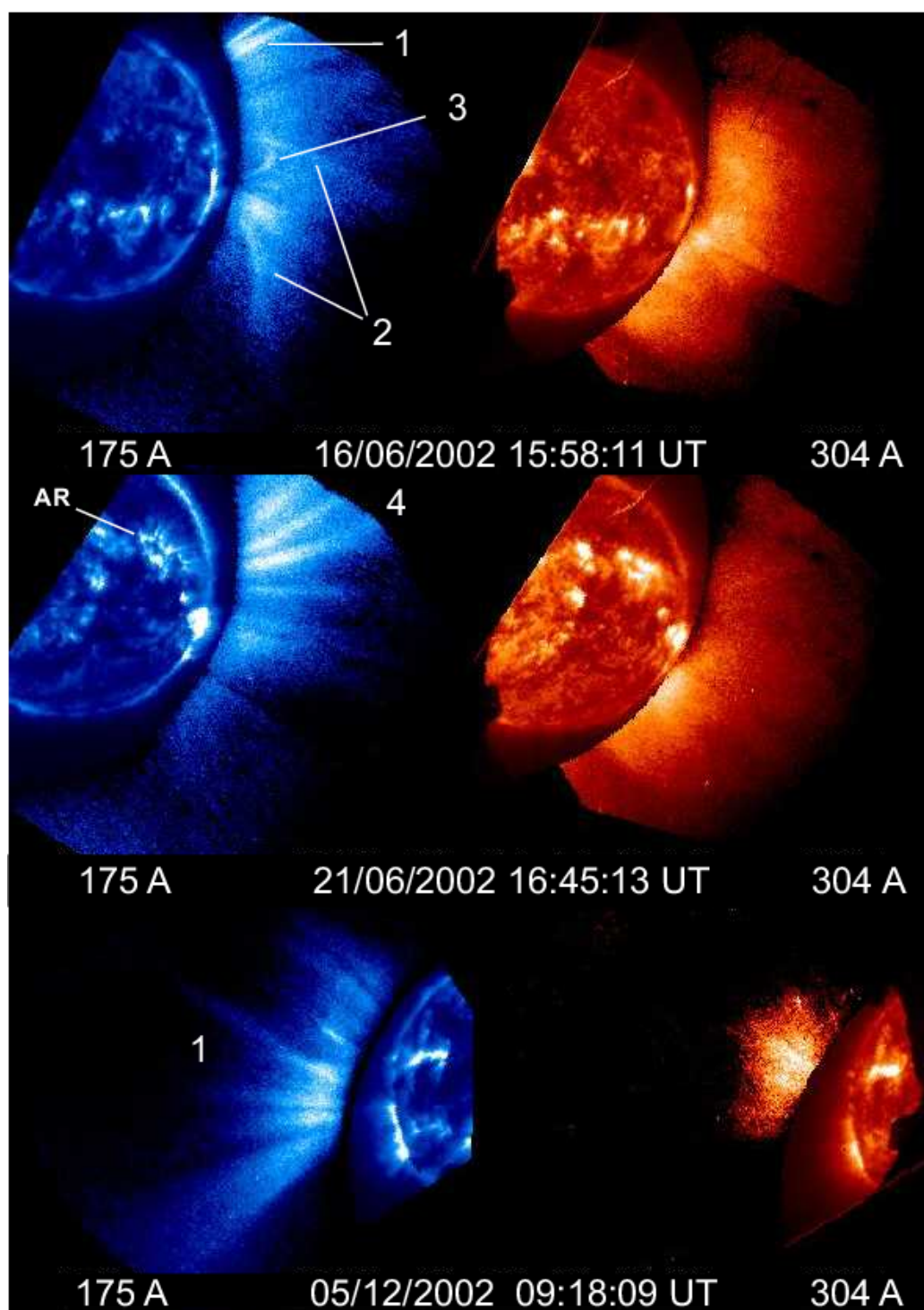


Рис.8. Характерные элементы структуры, наблюдавшиеся телескопом-коронграфом СПИРИТ в диапазонах 175 и 304 Å: 1- радиальные лучи, 2 – нерадиальные лучи, 3 – всплывающая петля, 4 – пучок лучей, связанных с активной областью на диске (поток солнечного ветра).

В диапазоне 304 Å корона более диффузна и менее однородна, корональные лучи едва проявляются. Анализ радиальной зависимости яркости в линии He II показал, что до расстояний 1,5 радиусов это излучение обусловлено столкновительным возбуждением, на больших расстояниях преобладает резонансное рассеяние.

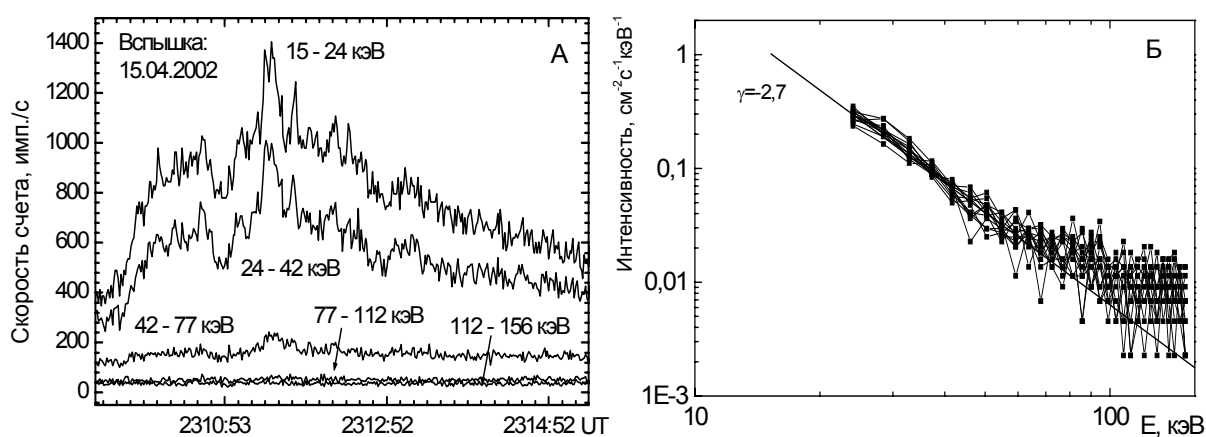
Литература

V. Slemzin, O. Bougaenko, A. Ignatiev, S. Kuzin, A. Mitrofanov, A. Pertsov, I. Zhitnik. Off-limb EUV observations of the solar corona and transients with the CORONAS-F/SPIRIT telescope-coronagraph. Ann. Geophys., 26, 1–10, 2008

Динамика спектров жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек по данным прибора ИРИС/КОРОНАС-Ф

По данным прибора ИРИС/КОРОНАС-Ф была изучена динамика энергетических спектров жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек различного класса, в результате чего были установлены изменения формы спектров во времени, отражающие изменения функции распределения ускоренных во вспышках электронов. Вспышечный спектрометр ИРИС обладал высокой чувствительностью измерения рентгеновского излучения Солнца, и позволял детально исследовать спектрально-временные характеристики мягкого рентгеновского излучения (2-15 кэВ) как мощных, так и слабых солнечных вспышек вместе с излучением спокойного Солнца, когда интенсивность излучения составляла не более $\sim 10^{-5}$ эрг.см⁻².с⁻¹ (~ 10 нВт/м²); эволюцию энергетических спектров рентгеновского излучения по 64-канальным аппаратурным спектрам (2-150 кэВ) с временным разрешением 1 с. Ниже приводятся результаты анализа динамики спектров рентгеновского излучения четырех солнечных вспышек рентгеновских классов *C* и *M*, зарегистрированных спектрометром ИРИС в течение 2001-2002 гг.

Для солнечной вспышки рентгеновского класса M1.2 15 апреля 2002 года (начало в 2305 UT), наиболее мощной из рассмотренных, получен временной профиль жесткого рентгеновского излучения вспышки с секундным временным разрешением в пяти энергетических диапазонах (рис.9а), на котором четко прослеживается импульсная структура этого излучения порядка 10 – 20 с. Проведенный спектральный анализ этого излучения в энергетическом диапазоне 15-24 кэВ подтверждает существование периодического компонента с периодом 22 с. На рис.9 приведены спектр фона перед вспышкой (б) и спектры жесткого рентгеновского излучения, измеренные с интервалом 1 с, на фазах максимума (в) и спада (г). Как видно из рисунков спектр излучения вспышки с большой точностью может быть аппроксимирован степенной зависимостью (за исключением фона в области высоких энергий) на всех стадиях развития вспышки, при этом показатель спектра изменяется во времени. Так спектр фона перед вспышкой может быть описан степенной функцией с показателем $\gamma \approx -2.7$ (рис.9б), который уменьшается на фазе роста, достигая значения $\gamma \approx -3.6$ на максимуме интенсивности (рис.9в), затем увеличивается на фазе спада (рис.9г).



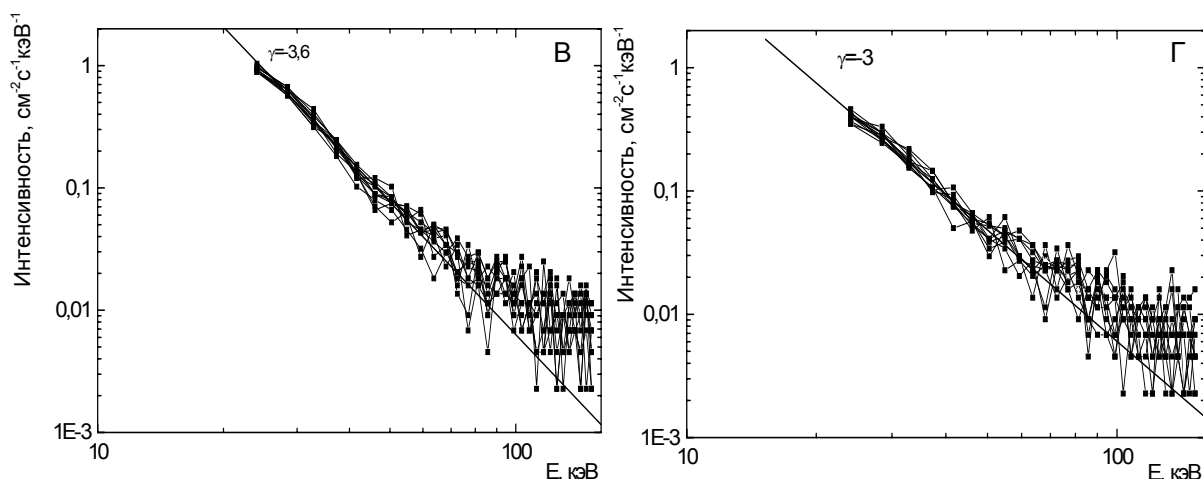


Рис.9. Временной профиль (а) и энергетические спектры на фазе максимума (в) и спада (г) рентгеновского излучения вспышки 15 апреля 2002 года; (б)-спектр фонового излучения перед вспышкой.

Для достаточно слабой солнечной вспышки 26 июля 2002 года, начавшаяся в 0920:31 UT, спектр жесткого рентгеновского излучения отличался от спектра предыдущей вспышки тем, что его форма изменялась во время развития вспышки. На начальной стадии роста (стадия I на рис.10) форма спектра неустойчива (переходит от степенной зависимости к нестепенной), на стадии роста (стадия II на рис.10) спектр становится устойчивым и носит явно выраженный нестепенной характер (рис.11а) за счет большего количества квантов с энергией меньше 40 кэВ. Постоянная нестепенная форма спектра сохраняется на фазе максимума и на части фазы спада, после чего (стадия III на рис.10) форма спектра меняется и может быть описана степенной зависимостью (рис.11б). Очевидно, что подобное поведение спектра данной вспышки описывает эволюцию функции распределения излучающих электронов.

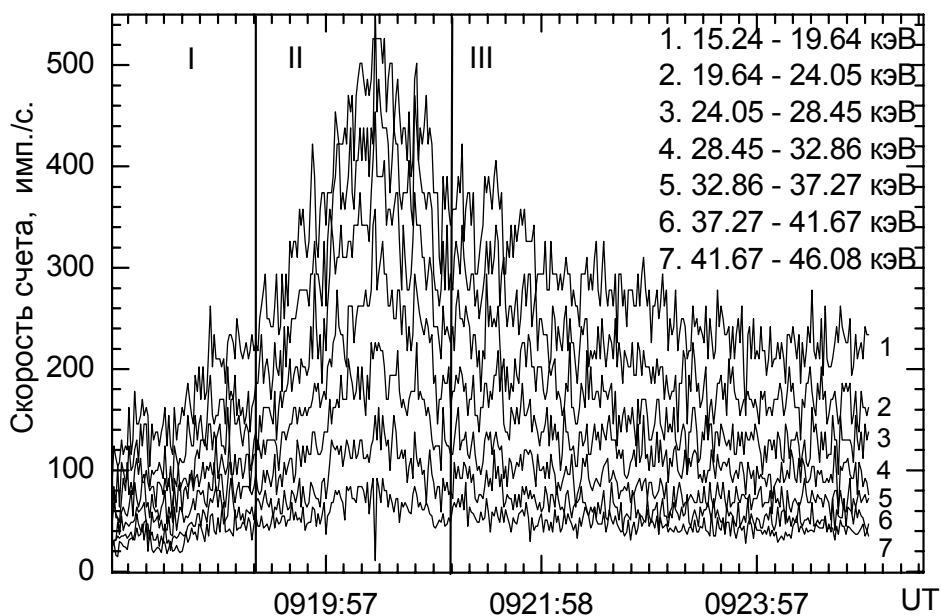


Рис.10. Временной профиль жесткого рентгеновского излучения вспышки 26 июля 2002 года.

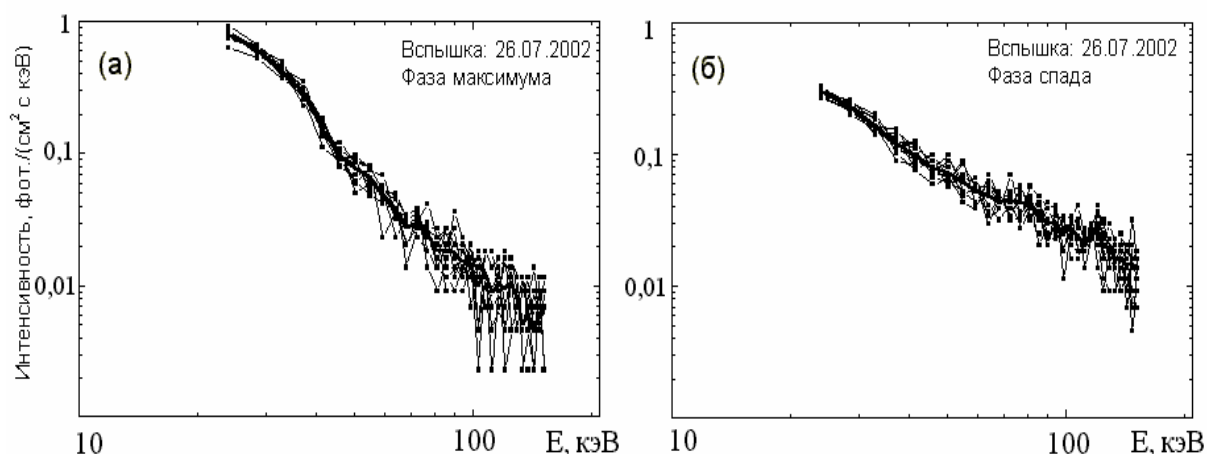


Рис.11. Энергетические спектры жесткого рентгеновского излучения вспышки 26 июля 2002 года на фазе максимума (а) и спада (б).

Для солнечной вспышки 19 декабря 2001 года, относящейся к рентгеновскому классу C4.9 (начало в 0230:40 UT), энергетический спектр жесткого рентгеновского излучения имел нестепенной вид на фазах роста, максимума и спада излучения (рис.12). Для данной вспышки скорость счета квантов с энергией более 110 кэВ не превышала значения фона. Данный спектр может быть описан как тепловой, так и нетепловой моделями и, поэтому, выбор между этими моделями затруднен. В пользу нетепловой модели можно сказать только то, что для описания жесткого рентгеновского излучения тепловой моделью потребуются нагрев плазмы до чрезвычайно высокой температуры, превышающей 10^8 К, что маловероятно для событий данного рентгеновского класса.

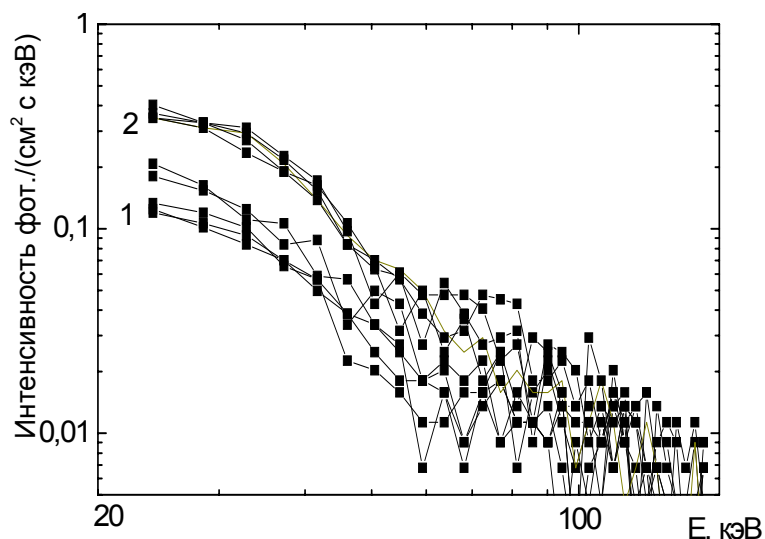


Рис.12. Энергетические спектры жесткого рентгеновского излучения, измеренного с временным разрешением 1с на стадиях роста (1) и максимума (2) для вспышки 19 декабря 2001 года.

Для солнечной вспышки 29 октября 2002 года (начавшейся в 2147:02 UT), временной профиль, просуммированный в энергетическом диапазоне 24 - 160 кэВ по четырем энергетическим каналам прибора, представлен на рис.13а. Общая

продолжительность рентгеновского излучения вспышки составляла около одной минуты. Рентгеновский класс вспышки – C1.8. Временной профиль излучения состоит из медленно меняющегося компонента, на котором отчётливо видны многочисленные импульсы тонкой временной структуры. Наиболее отчётливо импульсная структура регистрировалась на стадиях максимума и спада излучения. Данная вспышка отличается от описанных выше наличием «излома» энергетического спектра в области ≈ 45 кэВ. На рис.13б приведены измеренные с интервалом 1 с и усредненные за 10 с спектры на фазах роста, максимума и спада. Как видно из рисунка на фазах роста и максимума формируется спектр, имеющий сложную форму, который можно условно разделить на две составляющих с точкой «излома» ≈ 45 кэВ. Часть спектра в области малых энергий, до точки «излома», вероятно, является тепловым излучением горячей плазмы, а в области высоких энергий, после этой точки - объясняется тормозным излучением быстрых электронов. Такая форма спектра сохраняется и на спаде вспышки. Другой характерной особенностью спектра вспышки 29 октября 2002 года, является то, что он становится круче с ростом энергии. Такое поведение спектра может быть объяснено, если функция распределения быстрых электронов, генерирующих тормозное рентгеновское излучение, имеет обрыв при некоторой максимальной скорости, соответствующей энергии ≈ 160 кэВ.

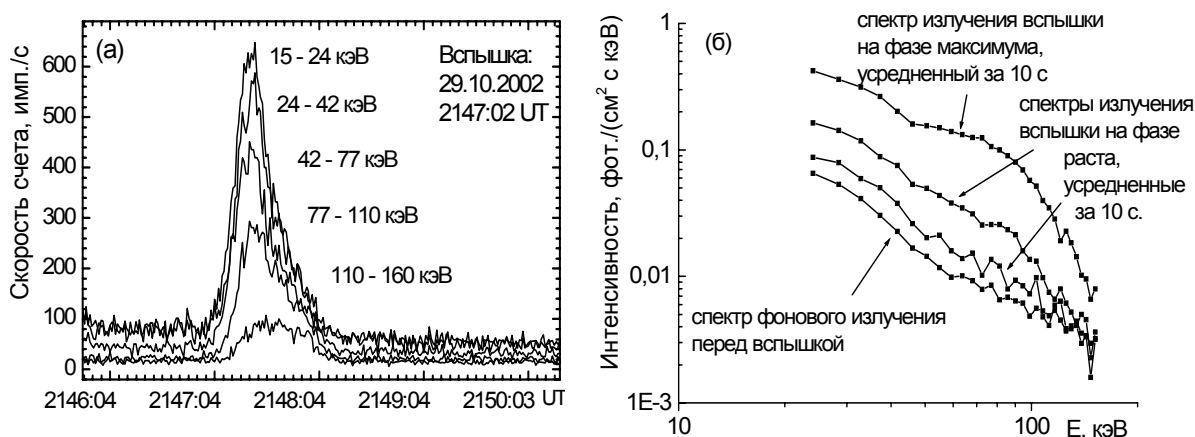


Рис.13.Временной профиль (а) и спектры (б) рентгеновского излучения вспышки 29 октября 2002.

Таким образом, на основе проведенного анализа установлено, что для мощной вспышки рентгеновского класса *M* энергетический спектр жесткого рентгеновского излучения являлся степенным на протяжении всей вспышки, а для более слабых вспышек класса *C* спектр был нестепенной, с возможным изломом в области энергии ≈ 45 кэВ. Изменения энергетического спектра излучения вспышки отражают эволюцию функции распределения ускоренных во вспышках электронов.

Спектрометрия рентгеновского излучения Солнца и свечение ночной атмосферы Земли по данным прибора РПС-1/КОРОНАС-Ф

По данным прибора РПС-1/КОРОНАС-Ф проанализированы энергетические спектры некоторых слабых солнечных вспышек в различных фазах их развития, а также спектры фонового предвспышечного рентгеновского излучения; изучено рентгеновское свечение ночной атмосферы Земли, построены контурные карты Земли, дающие представление о глобальной картине усредненных за выбранный период свечений в интервалах энергий 3-5; 5-8; 8-16 и 16-31,5 кэВ.

Спектрометрия рентгеновского излучения Солнца.

Классификация солнечных рентгеновских вспышек осуществляется на основе патрульных наблюдений Солнца в мягком рентгеновском диапазоне (1,5-24.8 кэВ) с помощью ИСЗ GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite). Класс вспышки определяется по величине потока излучения в максимуме ее развития. В этой классификации отсутствуют данные об энергетических спектрах, и временные особенности вспышек описываются недостаточно подробно. Спектрометр РПС-1/КОРОНАС-Ф проводил измерения солнечного рентгеновского излучения в диапазоне энергий 3-31,5 кэВ и получил обширные экспериментальные данные о спектрах мягкого рентгеновского излучения солнечных вспышек.

На рис.14 показаны спектры фонового излучения Солнца, зарегистрированные прибором РПС-1/КОРОНАС-Ф в момент прохождения КОРОНАС-Ф района земного экватора в октябре 2003 г., когда резко изменился уровень солнечной активности. На рисунке для каждого спектра указаны номер сеанса связи, день, количество солнечных пятен (W), а также данные фонового излучения по GOES в тех же единицах, что и вспышечное излучение. Из рисунка видно, что как по данным GOES, так и РПС-1, фоновый поток и жесткость излучения Солнца растут вместе с ростом солнечной активности.

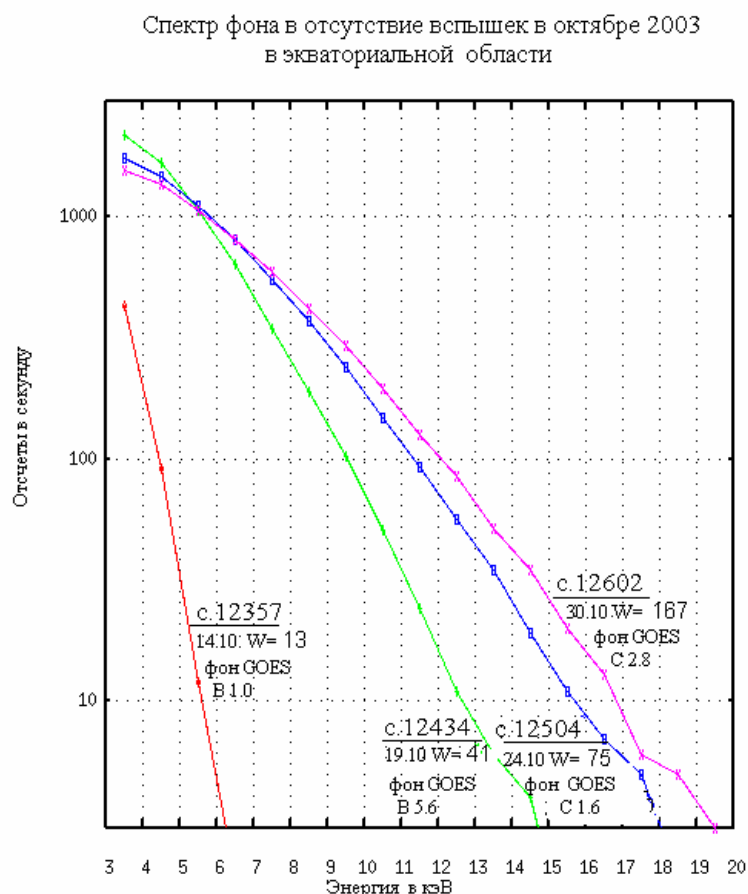


Рис. 2

Рис.14.Спектры фонового излучения Солнца, измеренные прибором РПС-1/КОРОНАС-Ф в области экватора Земли в октябре 2003 г., которым приписаны номер сеанса связи, день, число солнечных пятен W, а также поток фонового излучения по данным GOES.

На рис.15 приведены временные профили 3-х вспышек и их спектры в точках 1-5. Вспышки зарегистрированы 13.10.2004 г при низком уровне фонового излучения (т.1). Первое возмущение было классифицировано GOES как слабая вспышка B1.0, а два последующих в каталог не попали. Поскольку скорости счета сигналов в максимумах первой и третьей вспышек (каналы 3-5 и 5-8 кэВ) практически одинаковы (т. 2,5), а их спектры совпадают, то третью вспышку можно также отнести к классу B1.0. Вторая заведомо более слабая вспышка может быть отнесена к классу А с потоком в максимуме $< 10^{-7} \text{Вт/м}^2$. Температура в источнике для каждой из этих трех вспышек была определена сравнением формы измеренных спектров со спектрами, рассчитанными по модели CHIANTI 5.2 (рис.16). Вероятно, этим трем вспышкам соответствовали быстрые и заметные изменения температуры (от 9 до 10 МК) в одном и том же источнике.

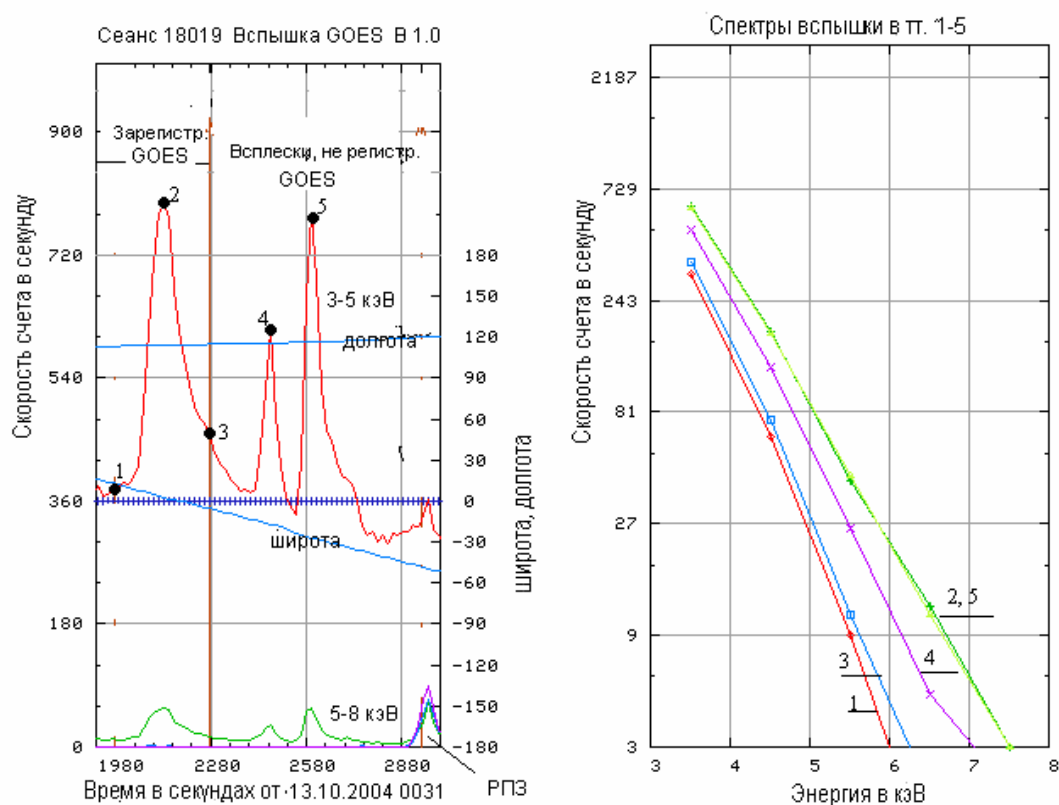


Рис. 3

Рис.15. Временные профили в энергетических интервалах 3-5, 5-8 кэВ (GOES), и спектры в точках 1 – 5 трех вспышек, зарегистрированных 13.10.2004 г. (РПС-1/КОРОНАС-Ф).

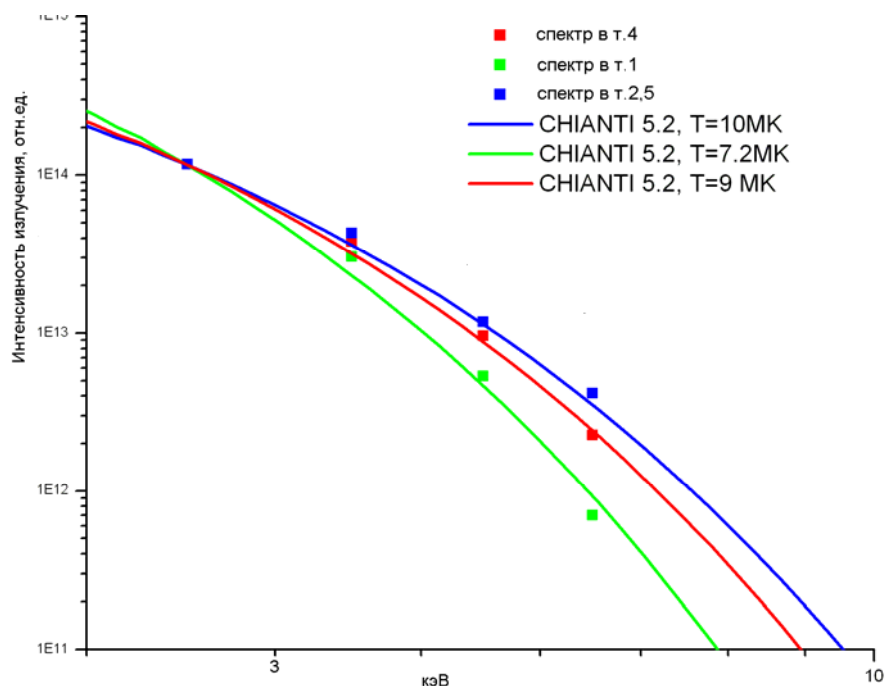


Рис.16. Сравнение спектров на рис.15 с моделью CHIANTI 5.2.

На рис.17 показаны временные профили и спектры в т. 1-3 более мощной вспышки класса В7.6 зарегистрированной 21.08.2003 г. Вспышка произошла при более высоком и более жестком фоновом излучении Солнца (точка 1), чем вспышка на рис.15. Вспышка имела длительный характерный («ступенькой») спад, спектр в максимуме (т.2) значительно более жесткий, чем у вспышки В.1.0 (рис.15, т.2).

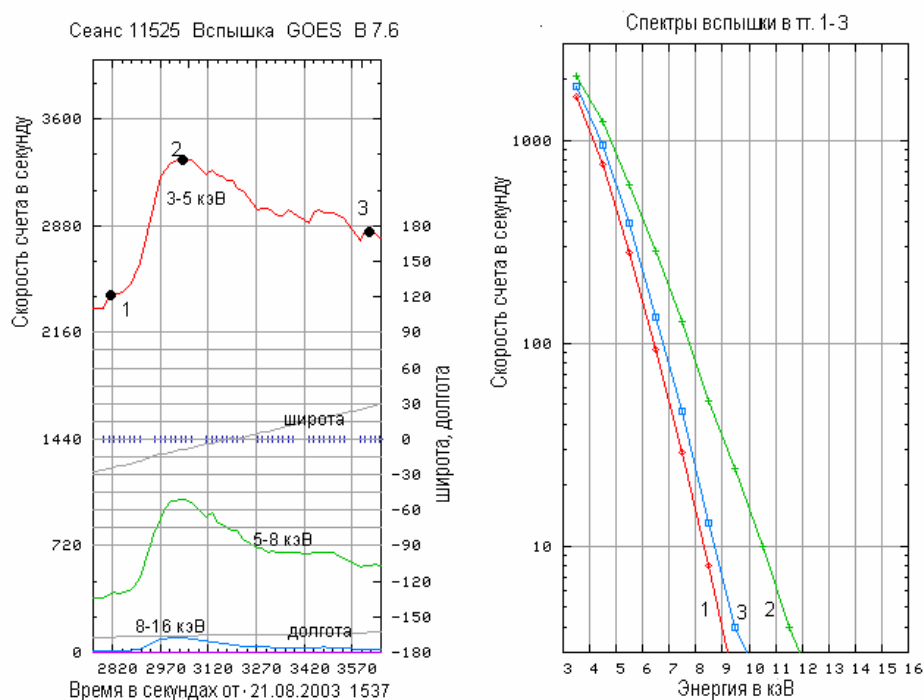


Рис. 4

Рис.17. Временные профили в энергетических интервалах 3-5, 5-8, 8-6 кэВ (GOES), и спектры в точках 1 – 3 вспышки класса В7.6, зарегистрированной 21.08.2003 г. (РПС-1/КОРОНАС-Ф).

По мере спада солнечной активности в 23 цикле, вспышки наблюдались на все более низком уровне фонового солнечного излучения. На рис.18 приведены временные профили и спектры вспышки класса В9.5, зарегистрированной 02.05.2005 г. На этом же рисунке отмечены начало максимум и конец вспышки по GOES (т.1,3,4). Окончание вспышки РПС-1 не зафиксировал, поскольку ИСЗ зашел в тень Земли. Максимальная энергия квантов, зарегистрированных в этой вспышке (спектр т.3), превосходила верхнюю границу спектрального диапазона GOES.

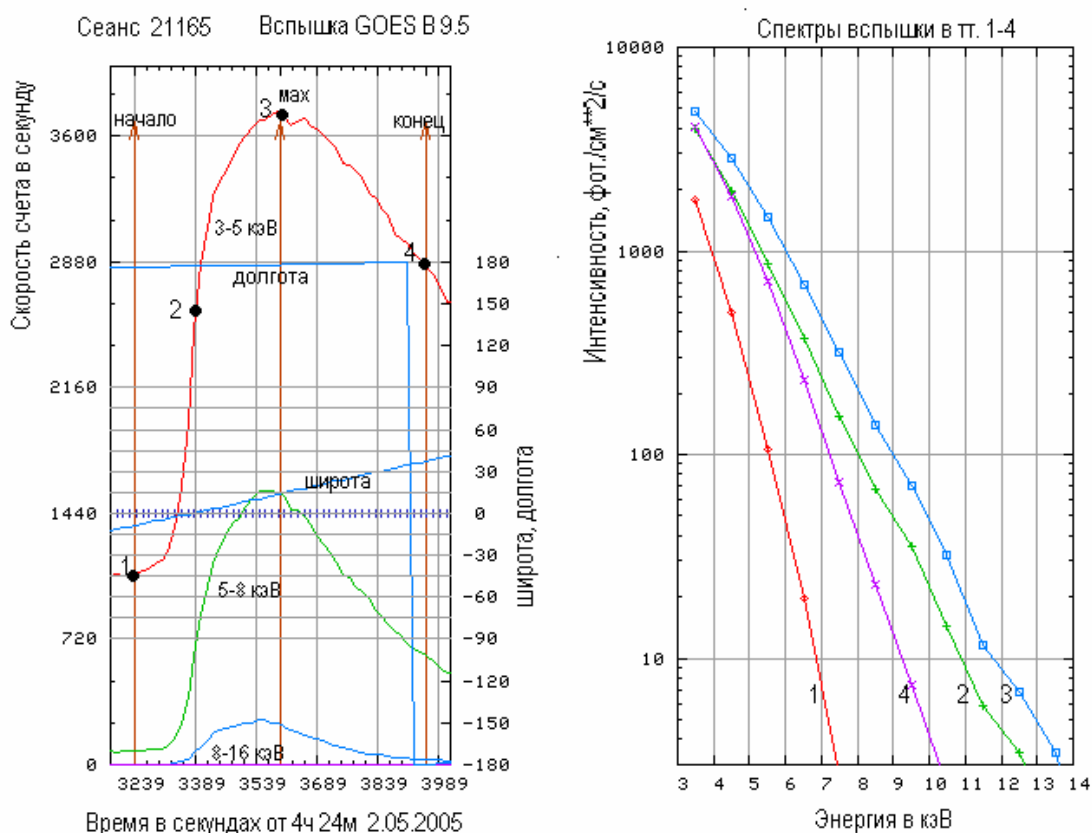


Рис. 5

Рис.18. Временные профили в энергетических интервалах 3-5, 5-8, 8-16 кэВ (GOES), и спектры в точках 1 – 4 вспышки класса В9.5, зарегистрированной 02.05.2005 г. (РПС-1/КОРОНАС-Ф).

На рис.19 представлена еще более мощная вспышка C1.2 ($1.2 \cdot 10^{-6}$ Вт/м²), которая произошла 08.11.2005г. также при относительно низком фоне. На рис.19 отмечены начало, максимум и конец вспышки по GOES, хотя РПС-1 не зафиксировал ее окончание из-за попадания ИСЗ в тень Земли. Вспышка имеет два максимума, причем спектр второго максимума был более жестким, чем первого. Возрастание в более высоком энергетическом интервале (8-16 кэВ) началось примерно через 1 минуту после начала вспышки. Во втором возрастании наблюдается одновременный приход мягкого и более жесткого рентгена.

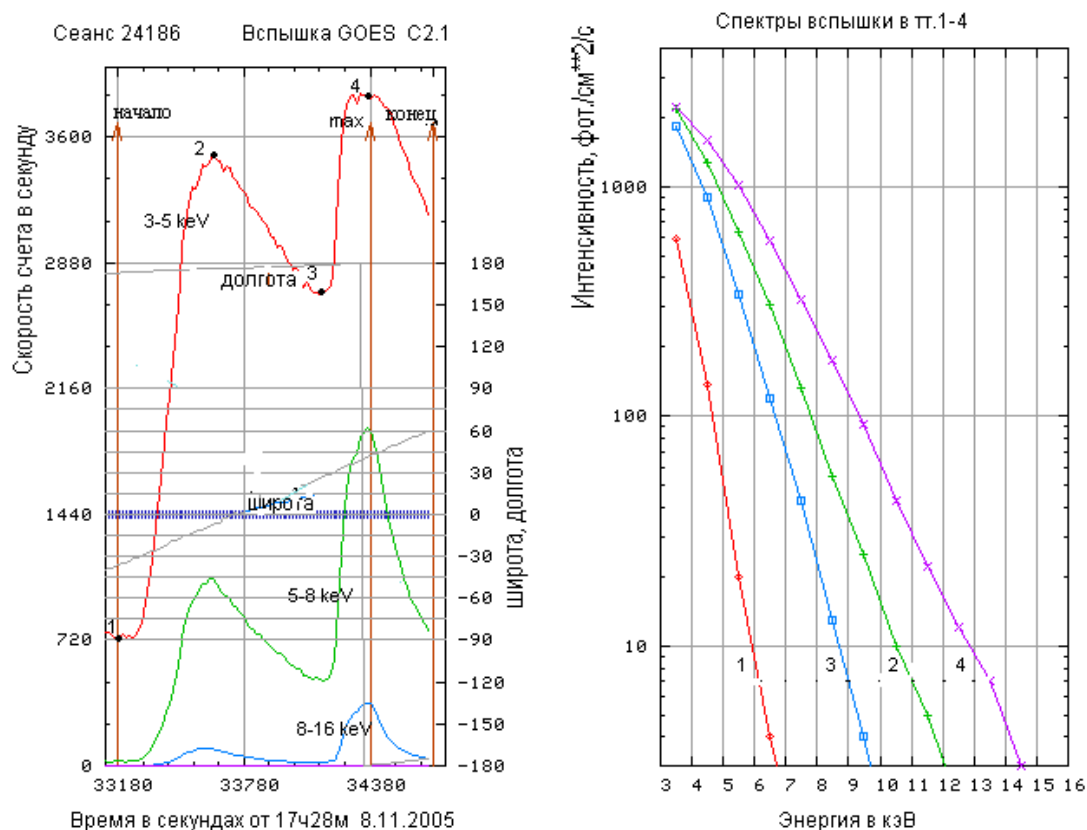


Рис. 6

Рис.19.Временные профили в энергетических интервалах 3-5, 5-8, 8-16 кэВ (GOES), и спектры в точках 1 – 4 вспышки класса C1.2, зарегистрированной 08.11.2005 г. (РПС-1/КОРОНАС-Ф).

Свечение верхней ночной атмосферы Земли.

Во время нахождения КОРОНАС-Ф в тени Земли прибор РПС-1 регистрировал мягкое рентгеновское излучение верхней ночной атмосферы, а также сигналы от энергичных заряженных частиц, попадавших в него при прохождении радиационных поясов Земли (РПЗ) в области высоких широт и Бразильской магнитной аномалии (БМА).

Рентгеновское излучение верхней атмосферы Земли по своей природе вторично. В рассматриваемом диапазоне энергий оно, в основном, обусловлено тормозным излучением потоков электронов, высыпающихся из магнитосферы. Долговременные и высокочувствительные наблюдения ночной атмосферы (07.2001-12.2005), проведенные с помощью РПС-1, позволили получить представления о глобальном излучении в виде карт Земли в «рентгеновских лучах», а также его сезонной зависимости.

На рис.20 представлены карты излучения ночной атмосферы, полученные за год с 23.03.2002г. по 23.03.2003 г. в интервалах энергий 3-5; 5-8; 8-16 и 16-31,5 кэВ и за периоды северного лета с 23.03.2002-23.09.2002 (рис.21) и зимы с 23.09.2002-23.03.2003 (рис.22).

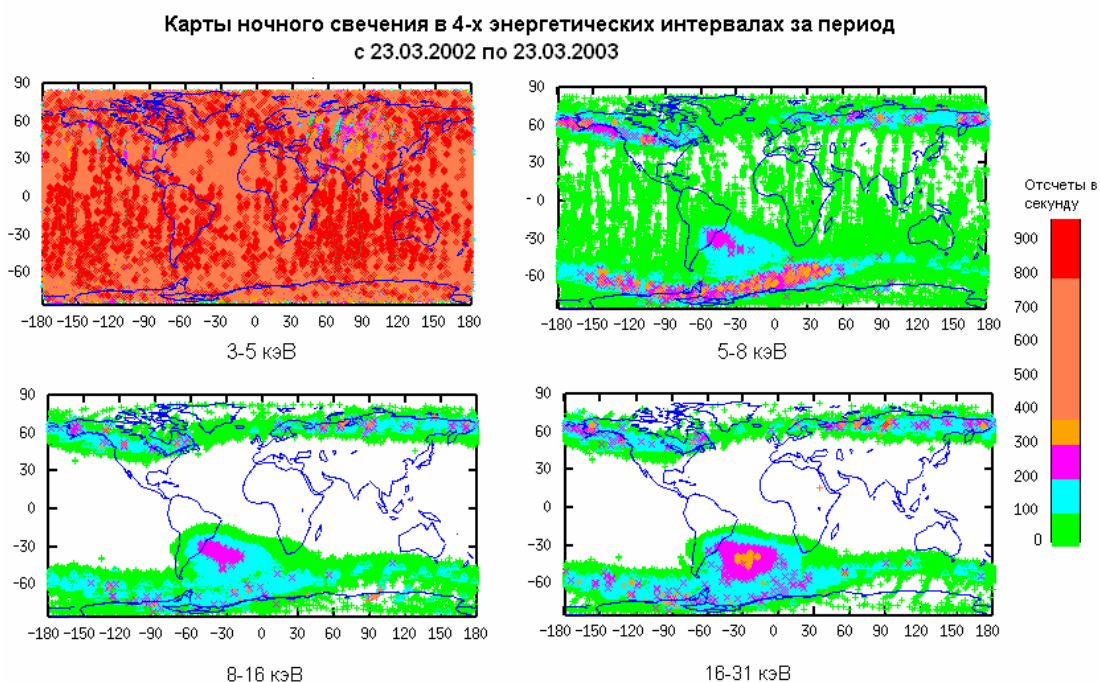


Рис. 7

Рис.20.Карты свечения ночной атмосферы Земли, построенные в энергетических интервалах 3-5, 5-8, 8-16 и 16-31 кэВ по информации, полученной с 23.03.2002 по 23.03.2003 г. (РПС-1/КОРОНАС-Ф).

Рис.20 показывает, что интенсивность излучения ночной атмосферы падает с увеличением энергии квантов. В диапазоне энергий 3-5 кэВ светится вся ночная атмосфера, причем наиболее ярко в южном полушарии в областях Тихого и Индийского океанов. В северном полушарии наиболее яркое свечение наблюдается в высоких широтах. На более низких широтах интенсивность свечения слабеет и в отдельных областях на карте 5-8 кэВ отсутствует вообще. При энергии >8 кэВ прибор регистрирует сигналы только в районах РПЗ, границы которых четко просматриваются на картах для 8-16 и 16-31 кэВ.

Наблюдались сезонные особенности свечения атмосферы в разных ее районах: на картах 3-5 кэВ видны границы полярного дня в течение лета (рис.21) и зимы (рис.22). Летом (рис.21) свечение ночной атмосферы в 3-5 кэВ на 30°-60° северной широты намного слабее, чем от ее остальной части.

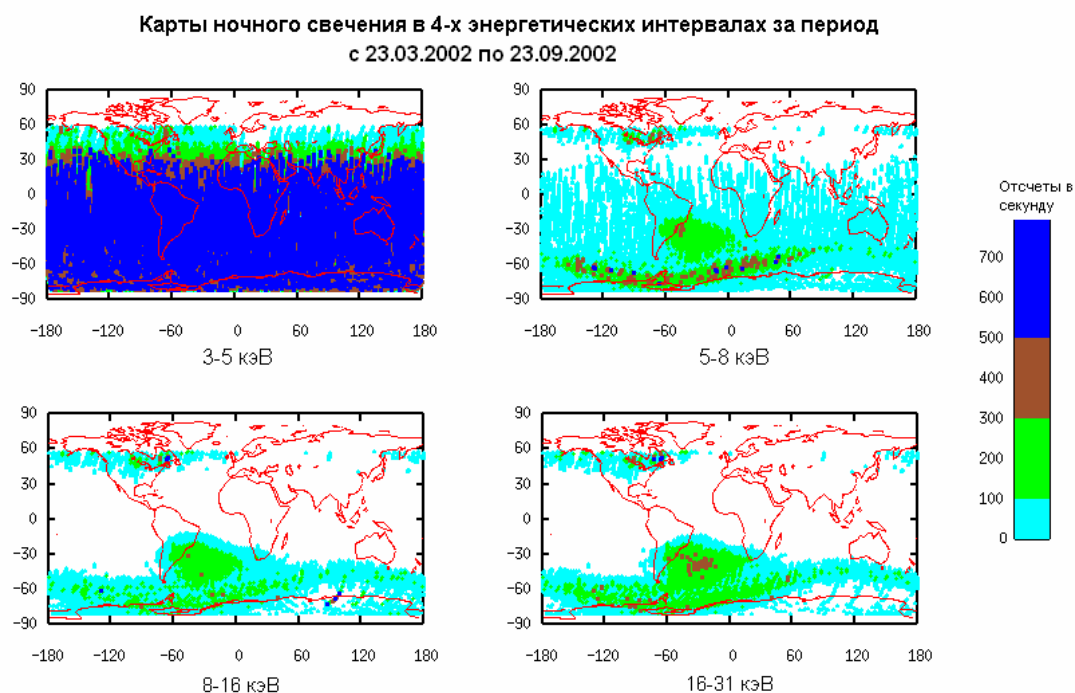


Рис. 8

Рис.21. Карты свечения ночной атмосферы Земли, построенные в энергетических интервалах 3-5, 5-8, 8-16 и 16-31 кэВ по информации, полученной с 23.03.2002 по 23.09.2002 (лето в северном полушарии) (РПС-1/КОРОНАС-Ф).

На картах рис.21 в диапазонах 5-8; 8-16 и 16-31 кэВ (северное лето 2002 г.) уменьшение интенсивности излучения от РПЗ в северном полушарии от Атлантики до Чукотки видно как “разрыв” РПЗ. Летом максимум РПЗ на высоте 500 км на этих долготах находится в области полярного дня и поэтому не виден на карте рис.20, однако, области с меньшей интенсивностью могли бы быть видны. “Разрыв” не наблюдается зимой (рис.22), а ближе к минимуму солнечной активности отсутствует даже летом 2004 г. В южном полушарии никакого “разрыва” при смене сезона не обнаружено. Наблюдаемый эффект, возможно, объясняется высоким уровнем солнечной активности, при котором повышается плотность верхней атмосферы, что вместе с сезонным разогревом атмосферы приводит к уменьшению потоков частиц РПЗ. Слабое свечение с энергией <5 кэВ в области “разрыва” (рис.21), вероятно, обусловлено галактическими космическими лучами.

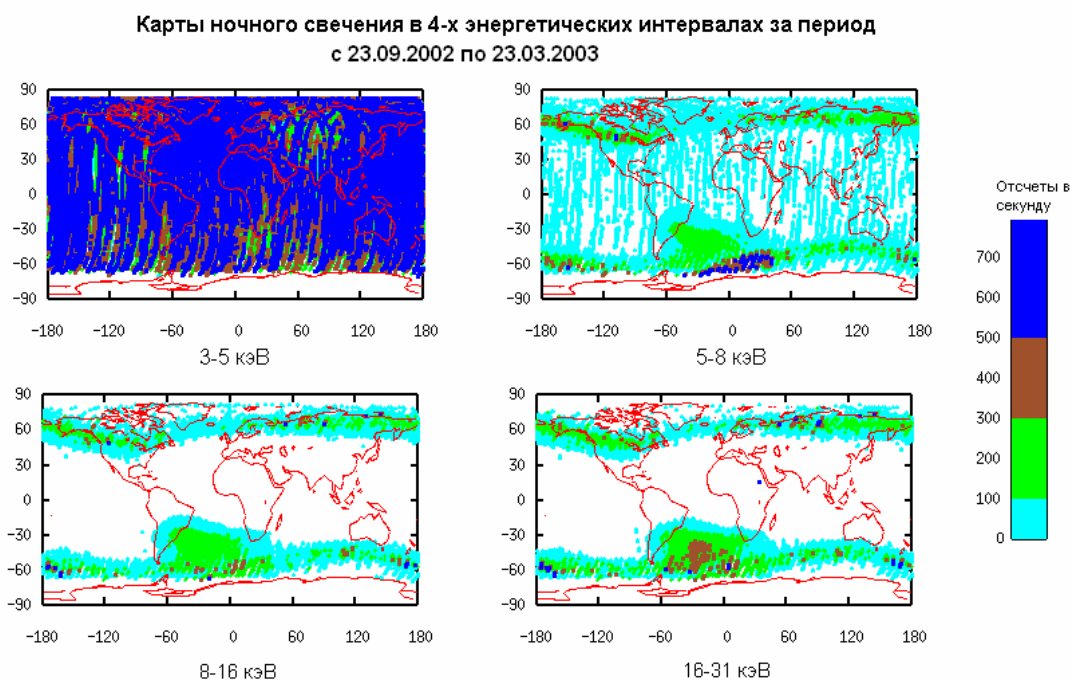


Рис.22.Карты свечения ночной атмосферы Земли, построенные в энергетических интервалах 3-5, 5-8, 8-16 и 16-31 кэВ по информации, полученной с 23.09.2002 по 23.03.2003 г. (зима в северном полушарии) (РПС-1/КОРОНАС-Ф).

Заклучение.

Таким образом, в ходе эксперимента РПС-1/КОРОНАС-Ф впервые получены детальные спектрально–временные характеристики слабых солнечных рентгеновских вспышек, что позволило более точно определять температуру в источнике, путем сравнения измеренных спектров с рассчитанными по современным моделям, таким как CHIANTI 5.2. Установлены количественные характеристики увеличения жесткости спектров фонового солнечного рентгена с ростом солнечной активности.

Наблюдения ночной атмосферы Земли показали, что в диапазоне энергий 3-5 кэВ светится вся ночная атмосфера, в диапазоне 5-8 кэВ существуют районы, где свечение отсутствует, при > 8 кэВ светятся только зоны радиационных поясов Земли (РПЗ). Летом 2002 г. в северном полушарии от Атлантики до Чукотки наблюдалось уменьшение светимости от РПЗ.

2.1.2.2. Проект КОРОНАС-ФОТОН: Солнечная и солнечно-земная физика

Гелиосейсмологический мониторинг Солнца в эксперименте СОКОЛ/КОРОНАС-ФОТОН

На спутнике КОРОНАС-ФОТОН, который запущен 30 января 2009 года., продолжены гелиосейсмологические исследования с помощью многоканального фотометра СОКОЛ (Солнечные КОлебания). Прибор разработан в ИЗМИРАН (рис.4). Он будет проводить непрерывные и высокостабильные наблюдения вариаций интенсивности солнечного излучения с целью изучения собственных колебаний Солнца. Предлагаемый прибор

является дальнейшим развитием фотометров ДИФОС, которые выполняли аналогичные наблюдения на спутниках КОРОНАС-И (1994-2001 гг.) и КОРОНАС-Ф (2001-2005 гг.). По методу наблюдений и по своим техническим характеристикам он наиболее близко соответствует солнечным фотометрам SPM проекта SOHO. Фотометр СОКОЛ будет охватывать широкий спектральный диапазон наблюдения, простирающийся от ближнего ультрафиолета до инфракрасного (280 нм - 1500 нм) (см.табл.1). Фотометр будет наблюдать Солнце как звезду, что позволит регистрировать солнечные колебания низких степеней ($l < 3$). В приведенных ниже таблицах 2 и 3 дано сравнение основных характеристик гелиосейсмологических приборов СОКОЛ/КОРОНАС-ФОТОН, ДИФОС/КОРОНАС-Ф и SOHO, а также приведено взаимное расположение их спектральных диапазонов.

Основные технические характеристики многоканального фотометра СОКОЛ:
 фотометр предназначен для измерения флуктуаций интенсивности оптического излучения Солнца с целью получения спектра собственных колебаний;

измерения интенсивности планируется проводить одновременно в 7-ти оптических спектральных каналах: 280, 350, 500, 650, 850, 1100 и 1500 нанометров с шириной полосы 10% от значения центральной частоты (табл.1);

относительная разрешающая способность по интенсивности составляет 10^{-6} от полной интенсивности излучения Солнца на временном интервале 30 с;

временная дискретность отсчетов интенсивности - 1 с;

пространственное разрешение отсутствует;

поле зрения фотометра - 2° ;

разрешающая способность датчика ориентации фотометра - 5 угл. секунд.

Таблица 1. Спектральные диапазоны фотометра СОКОЛ и их ширина.

Номер диапазона	Центральная длина волны спектрального диапазона, нм	Ширина спектрального диапазона, нм
1	280	30
2	350	35
3	500	50
4	650	65
5	850	85
6	1100	110
7	1500	150

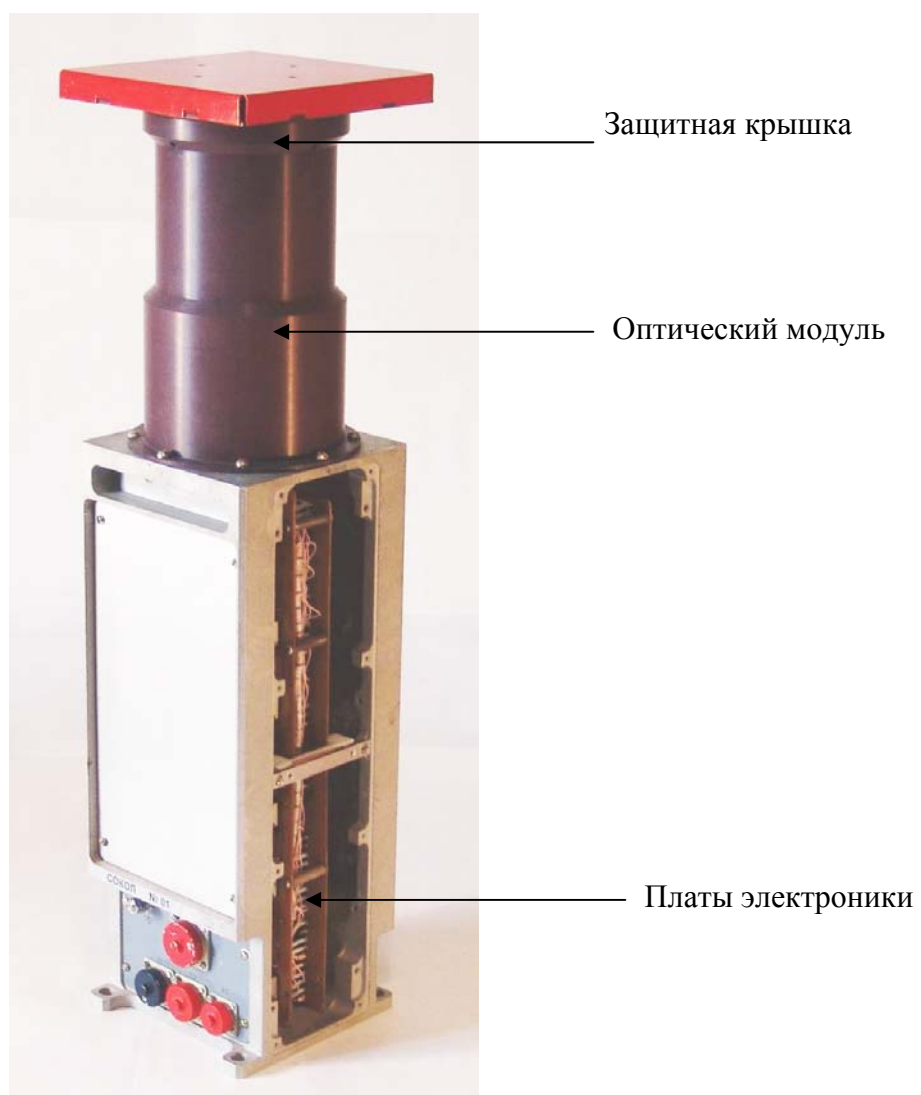
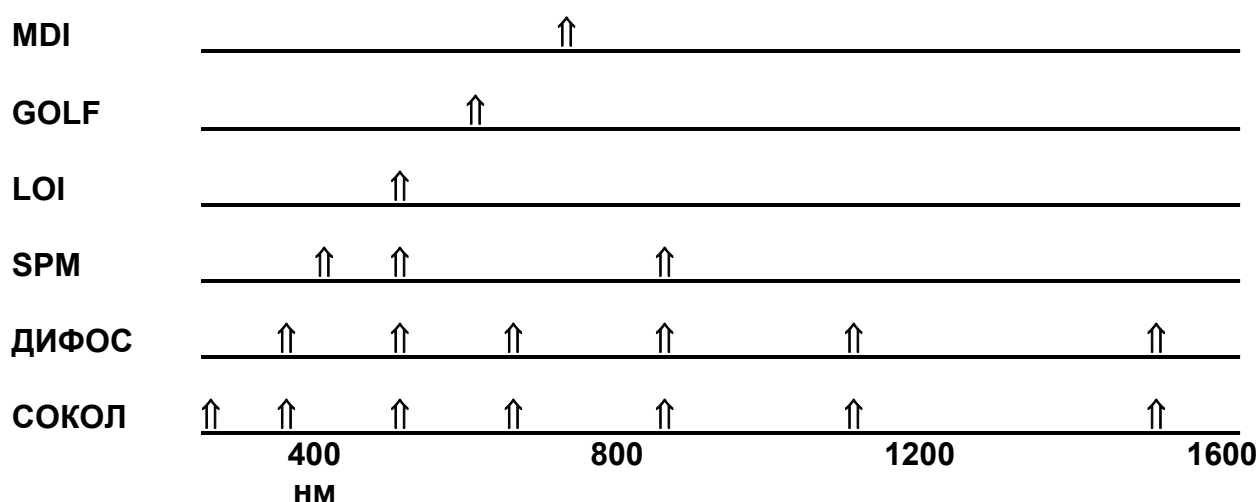


Рис.4. Многоканальный фотометр СОКОЛ/КОРОНАС-ФОТОН.

Таблица 2. Сравнение характеристик гелиосейсмологических приборов СОКОЛ - ДИФОС - SOHO

Проект	Прибор	Метод	Спектральный диапазон наблюдений	Пространственное разрешение
SOHO	MDI	Фурье-тахометр, колебания скорости	676.8 нм	ПЗС-матрица 1024x1024 пикс, l = 0 - 4500
	GOLF	Резонансная ячейка на парах натрия, колебания скорости	589,0 нм	Отсутствует, l = 0 - 3
	LOI (VIRGO)	Колебания интенсивности излучения	500 нм	12 элементный фотодиод, l = 0 - 7
	SPM (VIRGO)	Колебания интенсивности излучения	402 нм 500 нм 862 нм	Отсутствует, l = 0 - 3
КОРОНАС-Ф	ДИФОС	Колебания интенсивности излучения	350 нм 500 нм 650 нм 850 нм 1100 нм 1500 нм	Отсутствует, l = 0 - 3
КОРОНАС-ФОТОН	СОКОЛ	Колебания интенсивности излучения	280 нм 350 нм 500 нм 650 нм 850 нм 1100 нм 1500 нм	Отсутствует, l = 0 - 3

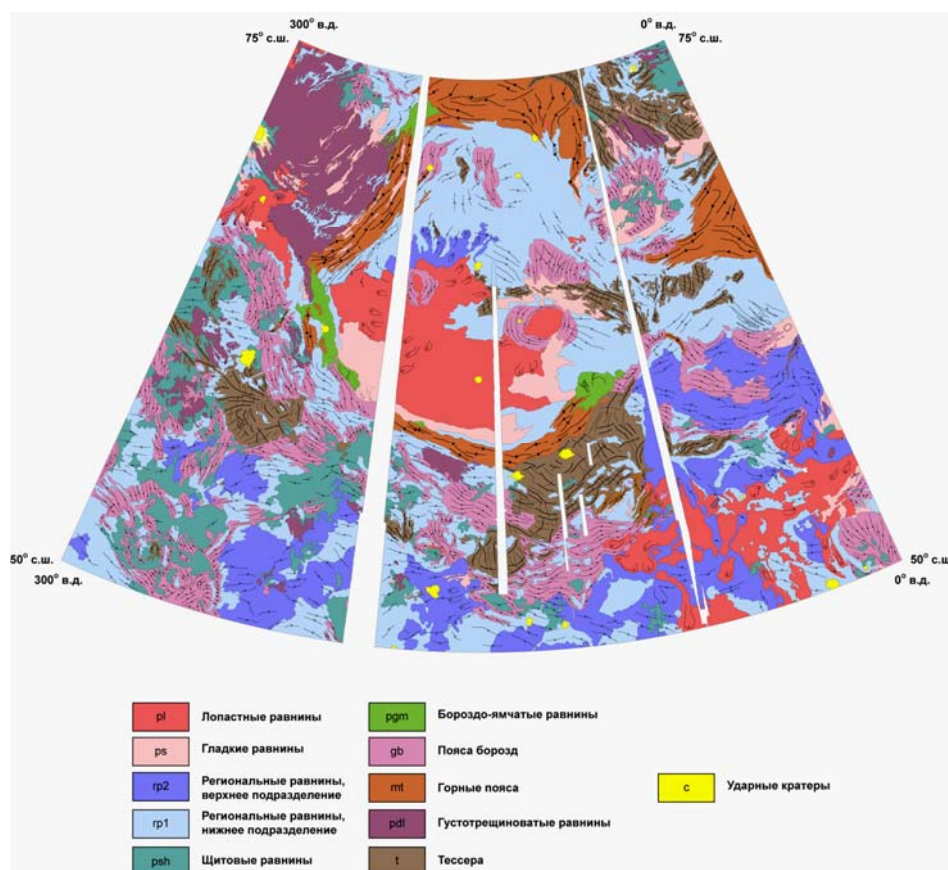
Таблица 3. ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ



2.1.3. Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

2.1.3.1. Магеллан: Миссия США (1990-1994)

1.1. Изучение вулcano-тектонической структуры Лакшми на планете Венера по результатам фотогеологического анализа радарных изображений, полученных КА Магеллан. Формирование этой структуры, впервые отснятой с высоким разрешением КА «Венера 15 и 16», на протяжении десятков лет представлялось загадочным. В результате фотогеологического анализа изображений, полученных КА Магеллан, и геологического картирования этого региона были выявлены основные эпизоды формирования этой структуры и предложена модель ее образования за счет латерального давления и поддвига северных вулканических равнин под древний тессерный кратон, ныне почти полностью залитый более молодыми лавами. Результаты работы опубликованы в международном журнале *Planetary and Space Science*.



Геологическая карта вулcano-тектонической структуры Лакшми.

Совместная работа ГЕОХИ РАН и Университета Брауна, г. Провиденс, США.

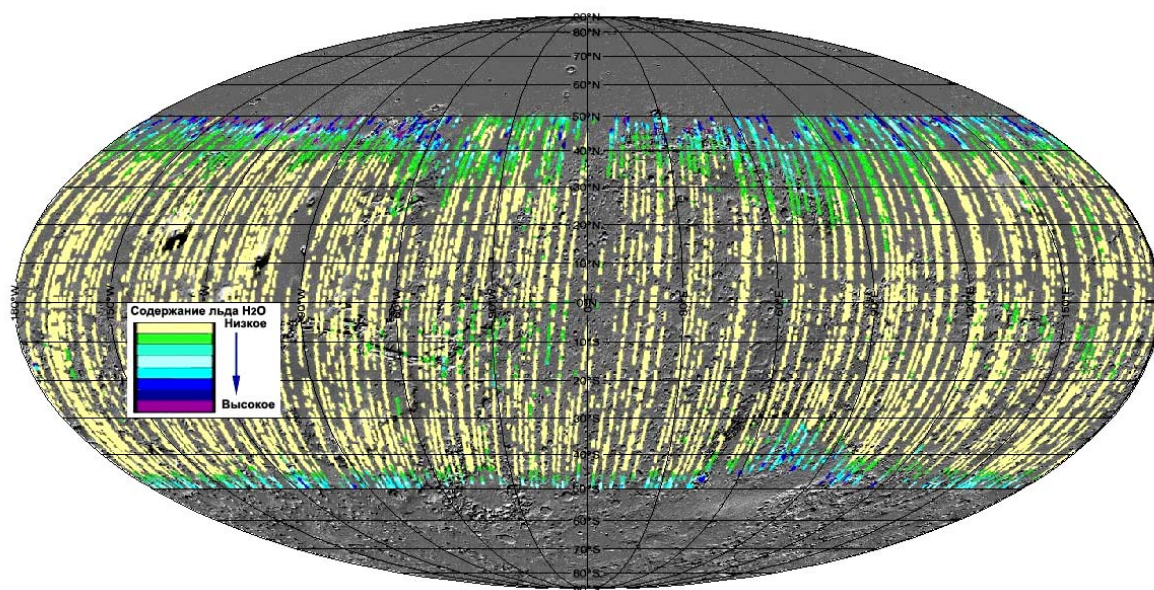
1.2. Изучения радиальных вулcano-тектонических структур Венеры: анализ продолжительности их активности по результатам фотогеологического исследования радарных изображений, полученных КА Магеллан. Изучалась продолжительность вулканической и тектонической активности радиальных структур Венеры типа астр. Анализировались возрастные соотношения между составляющими астры разломами, вулканическими региональными равнинами и ударными кратерами. Возраст региональных равнин ранее был определен по количеству наложенных ударных кратеров как ~750 млн лет, а возраст конкретных расположенных около астр ударных кратеров

определялся по степени сохранности их выбросов. Выполнен фотогеологический анализ изображений всех (78) найденных на Венере структур типа астр и 163 откалиброванных по возрасту ударных кратера. Для большинства изученных астр было найдено, что их развитие началось еще до периода формирования региональных равнин, а для 7 астр было установлено, что их разломы секут кратеры возрастом менее 100-300 млн лет. Это дает основания считать, что тектоническая активность этих семи (и, по-видимому, большинства других) астр продолжалась в течение сотен миллионов лет. Результаты работы опубликованы в международном журнале *Icarus*.

Совместная работа ГЕОХИ РАН Университета Брауна, г. Провиденс, США и Университета Оулу, Финляндия.

2.1.3.2. Марс Глобал Сервейор и Марс Одиссей, миссии США, и Марс Экспресс, миссия Европейского космического агентства

2.1. Картирование содержания льда и связанной воды в поверхностном грунте Марса в разные сезоны по данным ИК съемки спектрометрами TES и OMEGA. Выполнен анализ результатов картирования спектрометрами TES (Mars Global Surveyor) и OMEGA (Mars Express) содержаний льда и связанной воды в поверхностном грунте Марса в зимний и весенний сезоны. Показано, что области наиболее сильной гидратации марсианского грунта северной зимой тяготеют к периферии зоны появления сезонного льда воды в грунте. Это связано с тем, что в области распространения льда в грунте водяной пар над ним находится в состоянии насыщения и поэтому происходит интенсивная гидратация солей, входящих в состав грунта. По мере отдаления от зоны с грунтовым льдом относительная влажность воздуха понижается и степень гидратации солей уменьшается. Полученные результаты важны для понимания особенностей современного круговорота воды на Марсе и свидетельствуют о том, что поверхностный слой грунта зимой представляет собой значительный резервуар для «стока» атмосферной влаги. Опубликованы шесть тезисов и две статьи сданы для опубликования в журналы *Geophysical Research Letters* и *Космические исследования*.



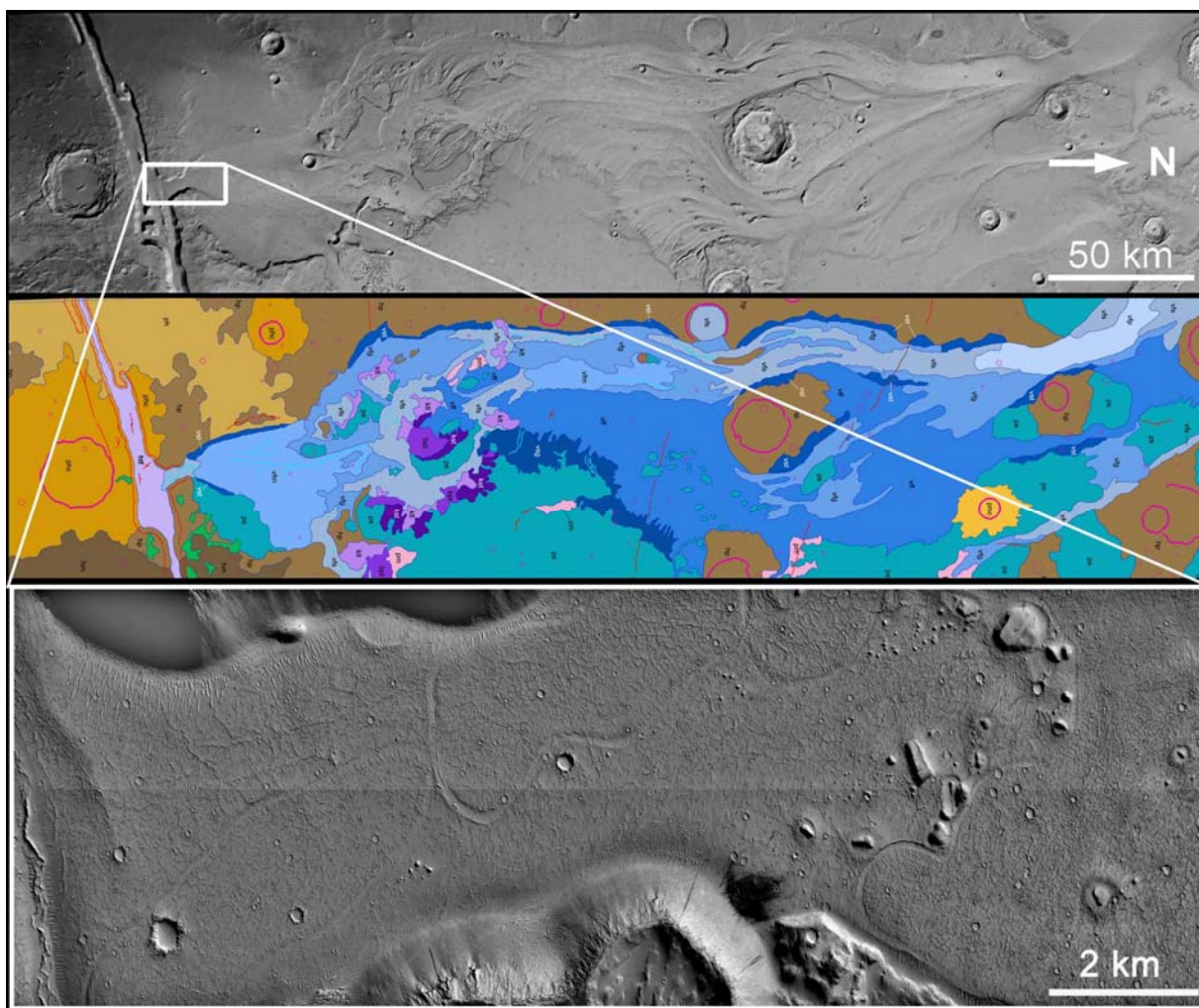
Содержание льда воды в поверхностном (2-10 см) слое грунта в широтном поясе $\pm 50^\circ$. Карта составлена для зимы в северном и южном полушариях Марса.

Совместная работа ГЕОХИ РАН, ИКИ РАН и Университета штата Аризона, США.

2.2. *Фотогеологический анализ изображений на область вулканической провинции Террена-Малея на Марсе.* Завершен геолого-морфологический анализ изображений, полученных камерой HRSC на борту КА Марс Экспресс, и анализ топографии по данным лазерного высотомера MOLA, КА Марс Глобал Сервейор, на юго-западную часть Гесперийского вулканического плато на востоке провинции Террена-Малея. Результаты изучения показывают, что в этом регионе вулканическая активность и отложения атмосферных содержащих лед осадков чередовались на протяжении всего Гесперийского периода истории Марса. Льдистые отложения образовали мощные линзы среди слоистой вулканической толщи, которые впоследствии служили источником воды для формирования крупных каналов истечения (Дао, Нигер и Хармакис), связывающих Гесперийское плато и бассейн Эллада. В этом регионе на поверхности обнажаются многочисленные образования, интерпретируемые как обнажения головных частей магматических даек. Последние, вероятно, образовались на завершающей стадии вулканической активности в юго-западной части Гесперийского плато и, возможно, именно они вызывали таяние погребенных ледяных линз и формирование каналов истечения. Результаты работы представлены для публикации в журнале *Earth and Planetary Science Letters*.

Совместная работа ГЕОХИ РАН и Университета Оулу, Финляндия.

2.3. *Фотогеологический анализ и геолого-морфологического картирование районов древних долин Мангала.* Долины Мангала – это протяженная (50-100 x 900 км) система паводковых русел в материковой области Марса, к западу от поднятия Фарсида. Геологический анализ снимка 0286, полученного камерой HRSC на борту КА Марс Экспресс, показал, что источников паводковых вод было несколько. Главный источник – это грабен Борозды Мангала, образование которого, по-видимому, было вызвано внедрением крупной магматической дайки. Кроме него было несколько второстепенных источников: 1) в местах выходов на поверхность вершинных частей двух других магматических даек, 2) в истоках двух кластеров небольших извилистых русел, и 3) в нескольких участках развития поверхности провального типа. Анализ подсчетов плотности распределения ударных кратеров, наложенных на различные элементы долин, показал что первый эпизод образования Долин Мангала произошел ~3.5 млрд лет назад, а за ним последовали три других эпизода: ~1 млрд лет, ~500 млн. лет и ~200 млн лет назад. К востоку от закартированной области наблюдаются поля протяженных лавовых потоков большой мощности, источником которых могло быть восточное продолжение грабена – главного источника вод, образовавших Долины Мангала. Подсчеты плотности кратеров на этих лавовых потоках показали, что по времени образования они коррелируются с элементами Долин Мангала, а это поддерживает предположение о том, что грабен – источник паводковых вод, - был образован внедрением дайки. Обнаружено что в фазе затухания последнего эпизода паводков (~200 млн лет назад) в истоковом сегменте долин происходило образование меандрирующих русел с характеристиками типичными для речных меандр Земли. Если эта аналогия верна, это может означать, что в это время на Марсе был эпизод глобального потепления и связанного с этим увеличения плотности атмосферы. Работа опубликована в журнале *Planetary and Space Science*.



Вверху и внизу – фрагменты снимка 0286, полученного камерой HRSC; в середине – геолого-морфологическая карта района исследований. На нижнем снимке видны меандры на днище истоковой части Долин Мангала, возможно свидетельствующие об эпизоде глобального потепления на Марсе 200 млн лет назад.

Совместная работа ГЕОХИ РАН, Свободного университета Берлина, Германия, Геологической службы США, г. Флагстаф, Университета Брауна, г. Провиденс, США, и Университета штата Аризона, США.

2.4. Изучение геометрии кратеров поверхности спутника Марса Фобоса по результатам анализа снимков, полученных камерой HRSC на КА Марс Экспресс. Геометрия кратеров (форма профиля высот и отношение глубины к диаметру) определялись двумя методами: путем построения профилей по цифровой карте части поверхности Фобоса, и путем анализа распределения теней в кратерах, находящихся в зонах с разными высотами Солнца над горизонтом. Выделение таких зон и создание цифровой карты выполнены в ДЛР Институте планетологии, г. Берлин, Германия. Установлено, что кратеры Фобоса диаметром от 200 м до 5 км по своей геометрии не отличаются от лунных кратеров такого же размера. Эти результаты важны для понимания механики ударного кратерообразования на телах с очень малой силой тяжести и для построения инженерных моделей поверхности Фобоса, используемых при планировании российской миссии Фобос-Грунт. Результаты работы представлены в виде тезисов на Лунно-планетной конференции, Хьюстон, март 2008 г.

Совместная работа ГЕОХИ РАН, ДЛР Института планетологии, г. Берлин, и Свободного Университета г. Берлин, Германия.

2.5. *Изучение поверхности Фобоса по результатам анализа новых снимков, полученных камерой HRSC на КА Марс Экспресс.* В результате синтеза различных данных по характеристикам глобального и регионального рельефа Фобоса, а также микрорельефа древних участков поверхности Луны, созданы модели шероховатости поверхности Фобоса, которые используются для отработки систем и программного обеспечения сближения аппарата «Фобос–Грунт» с этим небесным телом и посадки на него. Были разработаны цифровые модели шероховатости поверхности нескольких уровней детальности (ЦМ-1, ЦМ-2 и ЦМ-3). В зависимости от разрешения фактического материала (т.е. разрешения снимков поверхности Фобоса) детальность рельефа представлена тремя перекрывающимися диапазонами линейных размеров: 1) от 30–90 м до 400 м и более; 2) от 20 м до 50 м; 3) от 2 м до 20–30 м. Результаты работы представлены в виде тезисов на Лунно-планетной конференции, Хьюстон, март 2009 г.

Совместная работа ГЕОХИ РАН и НПО им. С.А. Лавочкина, Химки Московской области.

2.1.3.3. Геохимические ограничения на модели внутреннего строения Луны

Исследованиям внутреннего строения, состава и тепловой истории Луны посвящено множество работ. Модели Луны, основанные на геохимических ограничениях, являются модель-зависимыми, поскольку зависят от выбранных хондритовых отношений.

Геофизические модели Луны являются модель-независимыми геохимически, но модель-зависимыми в сейсмическом отношении - их достоверность определяется степенью надежности сейсмологической информации. Сейсмические данные, дополненные такими параметрами как масса и момент инерции Луны, позволяют найти дополнительные ограничения на модели внутреннего строения Луны. Модели состава мантии приведены на рис. 1.

В работах ГЕОХИ РАН предложены методы, позволяющие найти распределение плотности и температуры в мантии, а также сделать оценки химического состава и размеров ядра Луны. Реконструкция этих параметров основана на сейсмических данных о скоростях распространения продольных и поперечных волн, массе и моменте инерции Луны на основе имеющихся в литературе данных по валовому составу земных и лунных пород. Согласование геохимических и геофизических моделей Луны проведено с помощью методов физико-химического моделирования. Эти методы позволяют переводить модели валового состава в равновесные фазовые ассоциации и согласованные с ними сейсмо-плотностные характеристики (прямая задача), а скоростные разрезы обращать в модели состава и/или распределения температуры (обратная задача). Процедура решения прямой и обратной задач осуществлена с помощью метода минимизации свободной энергии Гиббса в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2-\text{CaO}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ с твердыми растворами и уравнений состояния мантийного вещества с учетом фазовых превращений, ангармонизма и эффектов неупругости. Расчет уравнения состояния (УРС) минералов проведен в квазигармоническом приближении Ми-Грюнайзена-Дебая на основе модели упругого континуума с использованием потенциала Борна-Майера для аппроксимации потенциальной части УРС и дебаевского приближения для тепловой его части. Решение задач осуществлялось на основе программного комплекса и базы данных THERMOSEISM. База данных содержит внутренне согласованные термодинамические параметры по энтальпии, энтропии, теплоемкости, параметру Грюнайзена, термическому расширению, модулям сжатия и сдвига минералов, а также параметры смешения твердых растворов.

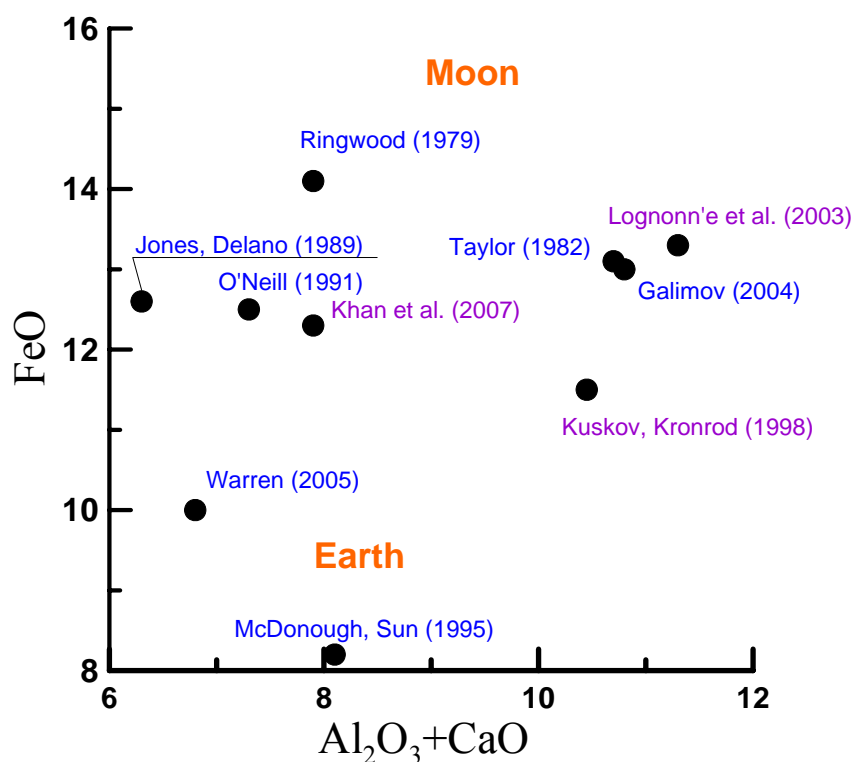


Рис. 1. Модели состава силикатных оболочек Земли и Луны по данным разных авторов.

Результаты расчетов по оценке валовых концентраций основных породообразующих оксидов и размеров ядра Луны приведены на рис. 1-3. Расчеты радиуса для четырех моделей состава ядра Луны приведены в табл. 1.

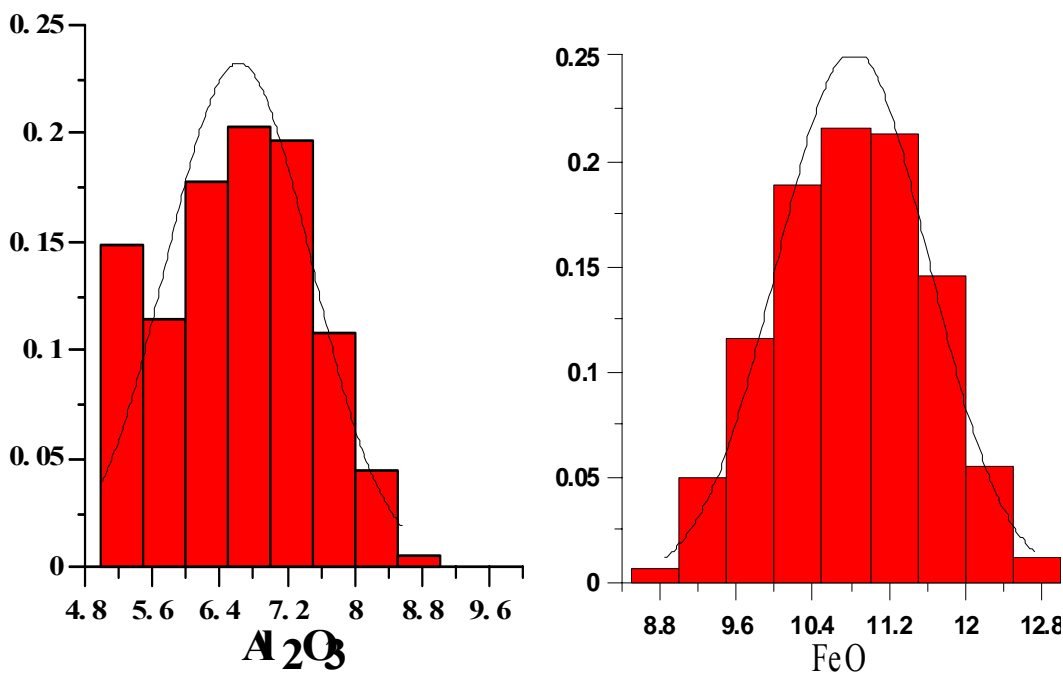


Рис. 2. Вероятностные оценки концентраций Al_2O_3 и FeO в валовом составе Луны (расчеты методом Монте-Карло)

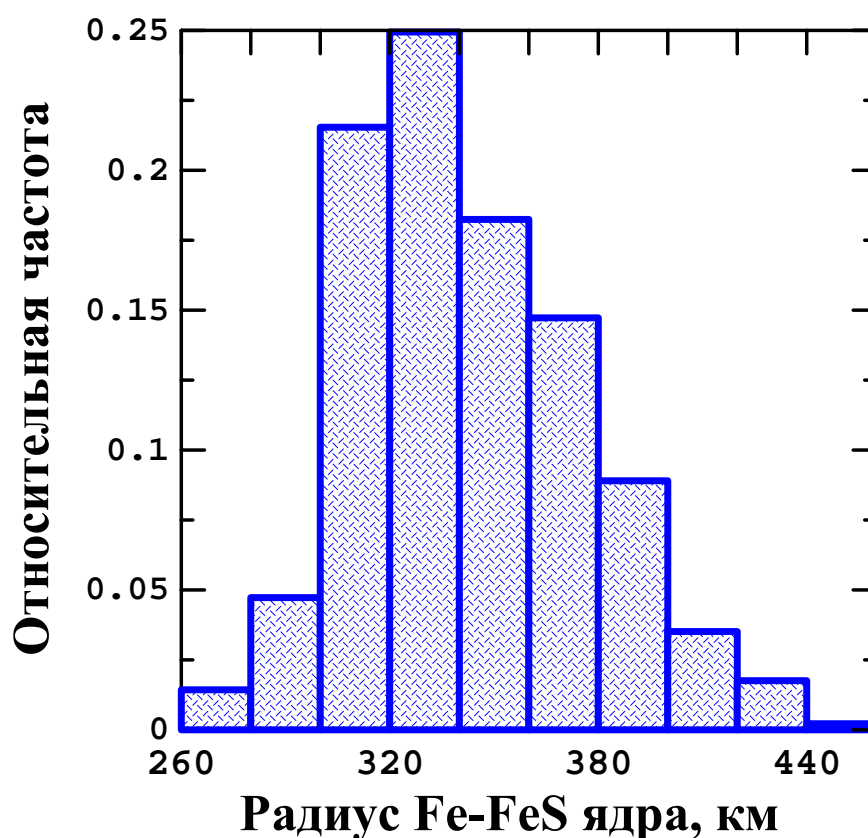


Рис. 3. Вероятностная оценка радиуса железо-сульфидного ядра с 10 мас% серы (Fe-10 мас.%S-ядро) [Кусков и др. Системы Юпитера и Сатурна: Формирование, состав и внутреннее строение крупных спутников. М.: Изд-во ЛКИ, 2009, 576 с.] с ограничениями на массу, моменту инерции и сейсмические скорости в верхней и средней мантии по [Gagnepain-Beyneix et al., Phys. Earth Planet. Inter., 2006].

Таблица 1. Максимальные радиусы лунного ядра при разной мощности коры

Состав ядра	Плотность ядра, г/см ³	$H_{cr} = 60$ км, $\rho_{cr} = 3$ г/см ³		$H_{cr} = 30$ км, $\rho_{cr} = 3$ г/см ³	$H_{cr} = 80$ км, $\rho_{cr} = 3$ г/см ³
		$R_{\text{макс.}},$ км	$M_{\text{ядро}}/M(\text{Луна}),$ %	$R_{\text{макс.}},$ км	$R_{\text{макс.}},$ км
γ -Fe(Ni)	8.1	350	2	380	330
Fe-10%S	5.7	445	2.9	480	420
Эвтектическое Fe-FeS	5.15	490	3.4	525	460
Троилитовое FeS	4.7	530	4.1	-	-

В заключение отметим, что данные, характеризующие внутреннее строение Луны, крайне недостаточны. Геотермические и сейсмические модели противоречивы, нет данных о составе глубинных пород Луны, отсутствуют надежные сейсмические определения границ в коре, мантии и центральной области из-за сильного затухания упругих волн, нет прямых данных о размерах ядра, и даже само существование и состав ядра остаются дискуссионными. В то же время, знание размера, состава и физического состояния лунного ядра имеет огромное значение для понимания происхождения Луны, эволюции мантии и природы магнетизма.

2.1.4. ИНСТИТУТ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РАН

В 2008-2009 годах в рамках реализации Долгосрочной программы научно-прикладных исследований на российском сегменте Международной космической станции (МКС) были завершены 2 медико-биологических эксперимента в области космической медицины и физиологии - «Кардио-ОДНТ», «Профилактика», и 1 эксперимент в области космической биологии - «Регенерация».

В эксперименте **«Кардио-ОДНТ»** (научный руководитель эксперимента д.м.н. В.В. Богомоллов, постановщик – к.м.н. И.В. Алферова) осуществлялась оценка результатов комплексного исследования динамики основных показателей сердечной деятельности, центрального и регионарного кровообращения в покое и при воздействии ОДНТ.

В исследованиях, проведенных в полетах, выявлено, что в условиях относительного покоя пульсовое кровенаполнение сосудов предплечья увеличивалось, голени не изменялось. Тонус крупных сосудов и предплечья, и голени практически не изменялся. Тонус мелких сосудов предплечья заметно снижался, в области голени имел лишь тенденцию к снижению. Пульсовое кровенаполнение сосудов легкого значительно увеличивалось, тонус крупных и мелких сосудов повышался. Изменялась длительность отдельных временных фаз систолического притока крови в систему легочной артерии в виде увеличения доли медленного и максимального кровенаполнения. Возрастала скорость максимального и среднего кровенаполнения сосудов легкого. Совокупность перечисленных изменений гемодинамических показателей для области легкого в полете указывали на гиперволемию и гипертензию сосудов малого круга кровообращения.

При воздействии ОДНТ степень снижения пульсового кровенаполнения сосудов голени и выраженности признаков затруднения оттока крови практически не отличались от предполетных результатов. Отмечалось уменьшение показателей пульсового кровенаполнения и тонуса мелких сосудов области легкого, снижалась скорость максимального и среднего кровенаполнения. В полете изменения перечисленных показателей при депонировании части крови в зоне декомпрессии были существенно более выраженными, чем в пробах до полета. В результате их значения приближались к величинам, полученным при соответствующих режимах разрежения при проведении пробы до полета.

В длительном космическом полете по сравнению с условиями Земли изменяется функциональное равновесие между сосудистыми областями большого и малого кругов кровообращения как проявление измененной функциональной нагрузки на систему кровообращения под влиянием условий полета.

Воздействие ОДНТ в полете приводило к нормализации гемодинамической ситуации в области легкого.

Количественные характеристики показателей пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов голени и легкого при разрежении приближались или были равны их значениям, полученным в пробах до полета.

В эксперименте **«Профилактика»** (научный руководитель эксперимента д.м.н. И.Б. Козловская), посвященному изучению механизмов действия и эффективности различных методов профилактики, направленных на предотвращение нарушений двигательного аппарата в невесомости. Впервые в практике космических полетов определялись энергетическая стоимость и физиологические ответы организма космонавта на локомоторные, велоэргометрические и силовые нагрузки на разных стадиях полёта. Вместе с тем, на основании полученных результатов, отмечены различия в изменениях

стоимости выполняемых нагрузок в условиях микрогравитации и подтверждено положение о меньшей эффективности тренировок в 1-й месяц пребывания человека в условиях космического полета, чем в последующие месяцы полета.

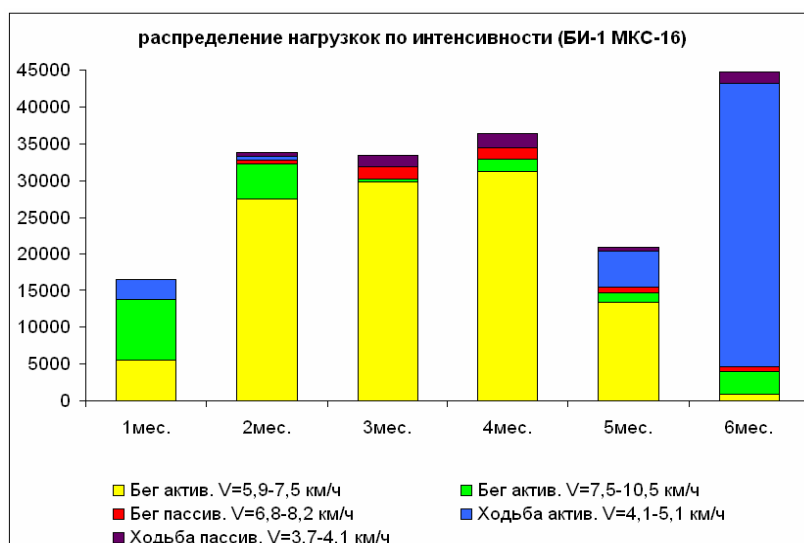


Рис 1. Ю.И. Маленченко при проведении велоэргометрического теста эксперимента «Профилактика».

Рис. 2 Распределение интенсивности локомоторных нагрузок

Выяснение значимости силы тяжести в различных жизненных процессах у земных организмов – парадигма космической биологии. Одной из таких задач является изучение восстановления органов и тканей после их повреждения либо полной утраты в условиях воздействия факторов космического полета. Этой проблеме был посвящен эксперимент «Регенерация» - исследование влияния невесомости на процессы регенерации у биообъектов по электрофизиологическим и морфологическим показателям (научный руководитель эксперимента д.б.н. Г.И. Горгиладзе)



Рис. 3. Регенерация раковины улитки в 109-суточном КЭ.



Рис. 4. Регенерация ноги улитки в 163-суточном КЭ.
1 – интактная нога, 2 – отсеченный дистальный участок ноги, 3 – улитка перед полетом, 4 – регенерировавший участок ноги у полетной улитки



Рис. 5. Регенерация глазных щупалец улитки в 163-суточном КЭ.– левое интактное, правое регенерировавшее щупальце



Рис. 6. Регенерация планарии после продольного рассечения тела.
1 – планария в интактном состоянии, 2 и 3 – непосредственно после ее продольного рассечения на две половины за 14 ч перед стартом ПКК «Союз», 4 – регенерировавшая из правой половины планария. Снимок спустя 8 ч после завершения 11-суточного ОП

Полученные результаты свидетельствуют о том, что отсутствие силы тяжести не является лимитирующим фактором для реализации механизмов регенерации. Они продемонстрировали сохранность высокой регенерационной способности у выбранных экспериментальных объектов в условиях экспонирования в невесомости. В опытах на улитках в ОП продолжительностью от 3 до 5,5 мес взамен ампутированных глазных щупалец образовались новые с функционирующими глазами, частично отрастала нога и полностью регенерировала раковина. В 10-12-суточном ОП из поперечно отсеченных фрагментов планарий регенерировали особи, не отличающиеся сколько-нибудь заметно от контрольных наземных объектов. Вместе с тем ненормальный характер регенерации обнаружился в опытах на планариях, которые регенерировали из фрагментов, полученных при их продольном рассечении.

2.1.5. НИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

Целью научного исследования коллектива является получение качественно новых знаний и количественных сведений о фундаментальных законах, которым подчиняется взаимосвязанная динамика космической радиации и электромагнитных процессов на Солнце, в гелиосфере и магнитосфере Земли. Экспериментальные и теоретические работы направлены на создание практически важных физических основ для мониторинга состояния околоземного космического пространства и для выяснения механизмов воздействия факторов космической радиации на космические и наземные системы в условиях меняющейся солнечной активности. Проведены космические эксперименты и интенсивные теоретические исследования в комплексе с математическим моделированием и созданием современных систем хранения данных мониторинга среды. Основной тематикой работ в 2008-2009 гг. было исследование солнечно-земных связей: изучение радиационной обстановки в межпланетном и околоземном пространстве в течение цикла солнечной активности, включая 2008 и 2009 гг. – период затянувшегося минимума солнечной активности.

2.1.5.1. Разработка и создание научной аппаратуры для измерений радиации в космосе на борту ИСЗ.

- Проведены экспериментальные исследования радиационных полей магнитосферы Земли на основе измерений радиометром дозы (РД) на борту нескольких ИСЗ ГЛОНАСС (круговая орбита на высоте 20 тыс. км) и системой радиационного контроля, функционирующей на Международной космической станции (прибор Р-16 и система полупроводниковых дозиметров ДБ-8). Получен большой объем экспериментальной космофизической информации.

В 2008-2009 гг. осуществлены успешные запуски:

- шесть ИСЗ серии ГЛОНАСС с радиометром дозы (РД), осуществляющими мониторинг околоземного космического пространства;
- «КОРОНАС-Фотон» (круговая полярная орбита): Целью данного эксперимента является исследование состава, динамики потоков и энергетических спектров заряженных частиц СКЛ в околоземном пространстве, а также изучение электронной компоненты радиационных поясов Земли.
- микроспутника «Университетский-Татьяна-2» на полярную орбиту с высотой ~800 км. Цель эксперимента - исследование световых явлений в земной атмосфере, вызванных галактическими и солнечными космическими лучами и энергичными частицами в авроральной и экваториальной зонах, а также мониторинг солнечной активности и изучение динамики ионосферы и верхней атмосферы.
- солнечно-синхронного спутника «Метеор-3» на полярную орбиту с высотой ~800 км с приборами НИИЯФ МГУ: МСГИ-МКА и СКЛ-М для регистрации потоков электронов и протонов с энергией от 50 эВ до сотен МэВ.

2.1.5.2. Исследования динамических процессов на Солнце и в гелиосфере:

- Проанализировано влияние активных областей (АО), расположенных внутри или на границе корональных дыр (КД), на параметры высокоскоростных потоков солнечного

ветра (ВСП СВ) по данным с космических аппаратов STEREO_A, STEREO_B, SOHO/EIT и ACE, расположенных вблизи орбиты Земли в различных точках пространства как по долготе, так и по широте. В исследуемый период с сентября 2007 г. по апрель 2008 г, который соответствует минимуму солнечной активности, наблюдался комплекс, состоящий из АО и КД. Комплекс не был источником заметной спорадической активности Солнца. Наличие внутри КД достаточно больших замкнутых магнитных структур, а также быстрые, в течение суток, изменения формы КД приводят к изменению профиля ВСП СВ, который может заметным образом отличаться на разных космических аппаратах. АО, находящиеся за КД по ходу вращения Солнца, при этом не влияют на формирование ВСП СВ.

- Проведено исследование по прогнозированию высокоскоростных потоков (ВСП) солнечного ветра (СВ) по динамике корональных дыр (КД) на Солнце. Применение простых эмпирических моделей позволяет получить достаточно хорошие результаты прогнозирования для периода около минимума 23-го солнечного цикла. Значение коэффициента корреляции удалось увеличить с 0.66 до 0.8 на независимом наборе данных.

- Проведено исследование турбулентных свойств плазмы солнечного ветра, а именно перемежаемости флуктуаций потока ионов солнечного ветра в ранее неисследованной области сравнительно высоких частот (0.01-1 Гц). Получено, что интервалы наблюдений солнечного ветра, содержащие резкие скачки потока, являются существенно более перемежаемыми, чем интервалы спокойного солнечного ветра.

- Сравнение распределений в области пересечения фронтов ударных волн в 1991 г. и в 2004 г. позволило обнаружить элементы сходства и различия, не известные ранее. В обоих случаях перед фронтом волны наилучшая аппроксимация достигается логнормальным распределением, а после фронта – гауссовым. Возможно, что это указывает на преобладание мультипликативных и аддитивных процессов в каждом из этих случаев.

- Проанализированы зависимости потоков протонов в межпланетном пространстве при спокойном Солнце и индекса солнечной активности MgII. Индекс MgII лучше других индексов передает уровень солнечной активности при ее минимальных значениях. Другие индексы (Rz, радиоизлучение 10 см) в это время стоят практически на нуле и малые вариации не отслеживают.

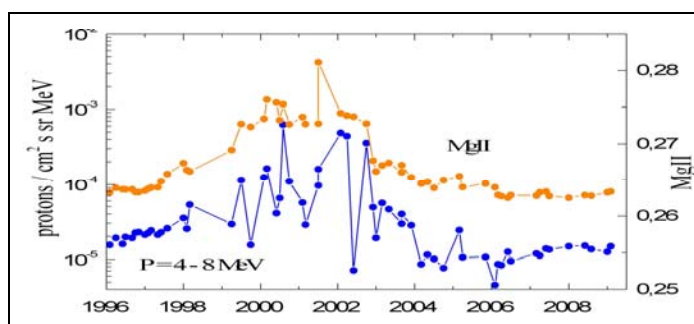


Рис.1. Временной ход потока протонов и индекса MgII.

2.1.5.3. Исследования физических процессов, связанных с генерацией и распространением солнечных космических лучей:

- По данным эксперимента ИСЗ КОРОНАС-Ф в четырех мощных солнечных вспышках восстановлены спектры фотонов вплоть до энергий 300 МэВ и выделена компонента спектра, обусловленная распадом нейтральных пионов. Это позволило определить момент появления на Солнце протонов, ускоренных до энергий свыше 300 МэВ, и рассчитать абсолютные значения потоков гамма-излучения таких энергий и число ускоренных в

событии протонов. Сравнение времени начала ускорения протонов высоких энергий со временем начала регистрации частиц на 1 а.е. показывает, что протоны выходят в межпланетное пространство практически в момент ускорения.

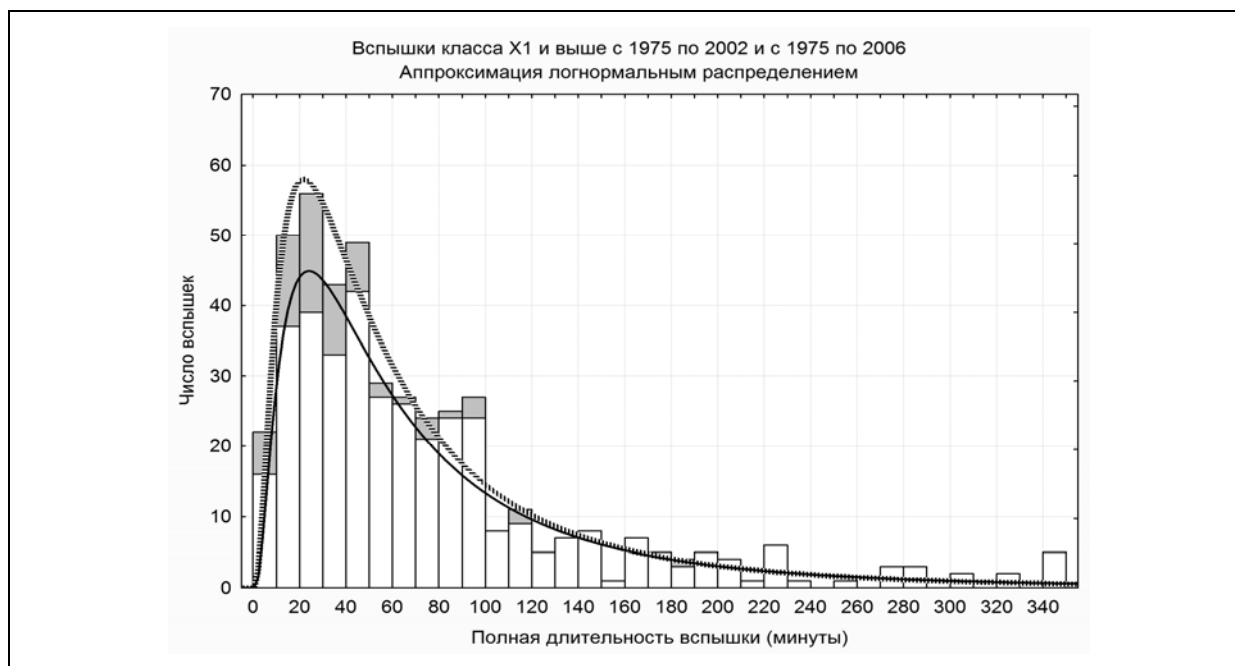
- Обнаружено существование возрастных скоростей счета на отдельных станциях глобальной сети нейтронных мониторов, предвещающих основное возрастание солнечных космических лучей. Существование таких опережающих возрастных показателей показывает, что протоны высоких энергий (свыше 500 МэВ) начинают выходить из солнечной атмосферы в межпланетное пространство сразу после их ускорения, при этом определенная часть протонов проходит путь короче номинальной длины силовых линий межпланетного магнитного поля.

- Впервые проведен комплексный многоволновой анализ вспышки 20.01.2005, который показал, что излучение в Н-альфа, УФ диапазонах, а также источник жесткого рентгеновского и гамма-излучения локализованы внутри компактной области, расположенной в тени больших пятен. Ускорение протонов до энергий несколько сотен МэВ начинается одновременно с основным вспышечным энерговыделением.

- Проведено сравнение полной энергии ускоренных электронов с тепловой энергией излучающей плазмы. Показано, что в начале импульсной фазы вспышки полная энергия, внесенная ускоренными электронами, в 1.5-2 раза превышает тепловую энергию плазмы, затем эти энергии становятся примерно равными и составляют $(4-5)10^{30}$ эрг для электронов в предположении, что коэффициент заполнения вспышечных петель горячей плазмой равен 0.5-0.6.

- Анализ данных различных космических аппаратов по профилям потоков в событиях с энергичными солнечными частицами показал, что в половине случаев в межпланетном пространстве вблизи 1 а.е. наблюдается подобие фазы спада потоков электронов с энергией $E_e \gg 1$ МэВ и протонов с энергией $E_p \gg 10$ МэВ, равенство их характеристических времен спада τ электронов и τ протонов. Нетривиальность этого явления заключается в том, что электроны и протоны отмеченных энергий имеют на два порядка различающиеся магнитные жесткости R , поэтому временные профили электронов и протонов должны были бы очень сильно различаться. Отсюда вывод – диффузионные процессы в межпланетном магнитном поле не играют основную роль в распространении энергичных заряженных частиц, необходимо еще учитывать их конвективный вынос, адиабатическое охлаждение и захват частиц в отдельных магнитных структурах.

- Единая популяция в распределении рентгеновских вспышек по их длительности на Солнце. Создана обширная база данных о времени нарастания около 40000 рентгеновских вспышек и способ ее визуализации в виде гистограмм и кинофильмов на протяжении 21, 22 и 23 солнечных циклов по данным космических аппаратов с минутным разрешением по времени. Кинофильмы представлены на сайте (<http://dec1.sinp.msu.ru/~pavrus/>) для различных классов вспышек по их яркости. Новый результат состоит в том, что распределение вспышек по времени их нарастания хорошо представляется единым логнормальным распределением, параметры которого зависят от класса вспышки и меняются от цикла к циклу. Сделан вывод о том, что «импульсные» (длительность менее 20-30 минут) и «длительные» вспышечные события (от получаса до суток и более) принадлежат одной статистической популяции в пределах разброса от 1 до 3 статистических отклонений.



- Создан каталог наземных возрастных солнечных космических лучей в 21-23 циклах солнечной активности. Исследованы основные свойства и временное распределение этих событий, их связь с солнечными источниками и протонными возрастаниями, наблюдаемыми на спутниках.

- Анализом множества событий СКЛ, годовые величины флюенсов которых за 450 лет были определены из образцов Гренландского льда, показано, что величины событий СКЛ распределены как степенные функции, с обрезанием множества при больших флюенсах функцией-экспонентой.

2.1.5.4. Исследования особенностей процессов проникновения и влияния солнечных космических лучей на магнитосферу Земли:

На фазе восстановления магнитной бури наблюдается захват и ускорение частиц в протонном поясе на 1-3 порядка, что приводит к появлению максимумов на $L=2$ и 3. Глубокое проникновение делает возможным захват протонов СКЛ на замкнутые дрейфовые оболочки. Захват возможен после каждого скачка давления солнечного ветра, при временном возврате к более дипольной структуре магнитосферы. Чаше всего такой захват недолговечен, очередное расширение к Земле области квазизахвата вымывает вновь образованный протонный пояс и только на фазе восстановления происходит окончательный, существенный для долговременной истории протонного пояса захват солнечных протонов МэВ-ных энергий на $L > 2$. В умеренных бурях захват СКЛ также наблюдается, только на более отдаленные дрейфовые оболочки. Особенно эффективно ускорение во время серии из 2-3 магнитных бурь.

Ускорение приводит к повышению потока протонов в поясе в большом диапазоне широт, однако в результате быстрого сброса частиц в конус потерь происходит структурирование нового пояса с появлением максимумов на $L=2$ и 3. Быстрый сброс объясняется генерацией ионно-циклотронных волн. При последующем медленном сбросе интенсивность потока протонов с энергией 1 МэВ оставалась повышенной на $L=3$ в течении года, а на $L=2$ - в течении четырех лет.

Экстраполяция на другие циклы солнечной активности показывает, что вклад магнитных бурь в структуру и интенсивность протонного пояса существенен на протяжении половины времени, что следует учесть в моделях протонного пояса.

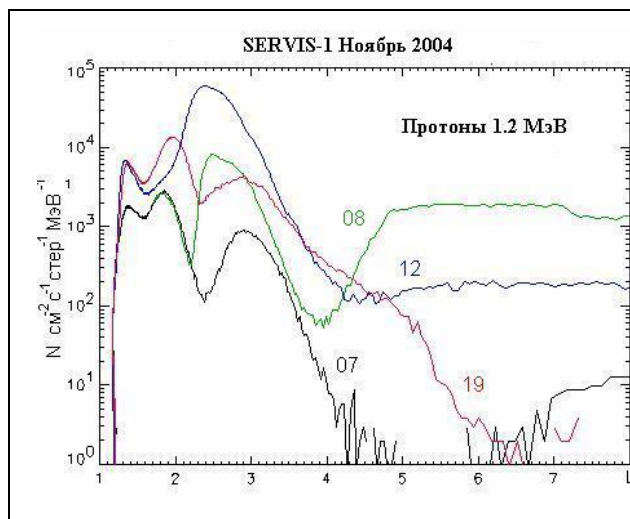


Рис.2. Широтные профили протонного пояса измеренные 7-19.11.2004 на спутнике SERVIS-1: 07 - до начала магнитной бури, обычный максимум на $L=3$ и максимум на $L=1.8$, сохранившийся после июльской бури 2004г., 08 — максимум, возникший на фазе восстановления бури 7-8.11.04 в результате захвата СКЛ и дополнительного ускорения, 12 — дополнительное ускорение этого пояса после бурь 11.11.04, 19 — расщепление на два пояса в результате сброса протонов в конус потерь.

- Проведен сравнительный анализ максимальных потоков СКЛ в диапазоне энергий от ~ 1 МэВ до ~ 100 МэВ в трех возрастаниях СКЛ в декабре 2006 года по экспериментальным данным, полученным в межпланетной среде на космическом аппарате ACE и в магнитосфере Земли в области полярных шапок на ИСЗ «Университетский-Татьяна» и POES и на геостационарной орбите на ИСЗ GOES-11. Показано, что наблюдаемые изменения максимального потока в возрастании СКЛ с энергией >10 МэВ и >30 МэВ внутри магнитосферы Земли по сравнению с межпланетной средой, в основном, определяются тремя факторами: степенью анизотропии потока СКЛ, состоянием межпланетного магнитного поля и уровнем геомагнитной активности.

- По данным пяти спутников NOAA/POES проведено исследование проникновения СКЛ в полярные области во время длительных СПС в декабре 2006 г. Наряду с уже известным эффектом увеличения области проникновения с ростом геомагнитной активности, обнаружены новые явления. А именно, обнаружена суточная вариация положения центра области проникновения энергичных СКЛ, связанная с вариациями угла наклона геодиполя (тилт-угла). Показано, что с ростом геомагнитной активности, область проникновения СКЛ сдвигается в сторону ночных часов, а на главной фазе геомагнитной бури имеет место сдвиг в сторону вечера, что вызвано интенсификацией тока геомагнитного хвоста и асимметричного кольцевого тока, соответственно. Построена эмпирическая модель проникновения СКЛ в северную и южную полярные шапки для протонов с энергиями от 240 кэВ до >300 МэВ и электронов с энергиями >300 кэВ, которая позволяет определить широту обрезания для данного сорта частиц в зависимости от локального времени, тилт-угла и геомагнитных индексов: Dst, Kp, и AE.

- Метод расчета вертикальной жесткости обрезания в геомагнитном поле. На основе обобщения результатов многочисленных вычислений траекторий частиц в магнитосфере Земли был разработан простой метод вычисления эффективной вертикальной жесткости обрезания с учетом геомагнитных возмущений (Kp) и местного времени. Вертикальная жесткость обрезания, согласно модели Цыганенко-89, вычислялась с использованием Международной Стандартной модели геомагнитного поля (IGRF), в величины которой были введены поправки, учитывающие геомагнитные возмущения и местное время. Результаты расчетов согласуются с результатами измерений на спутниках. Метод предназначен для использования в приложениях, требующих оперативных расчетов границ проникновения заряженных частиц в магнитосферу, для

расчетов функции проникновения частиц на низкие орбиты спутников и для интерпретации результатов измерений на орбитах.

- По данным за 5 циклов СА выделены наиболее устойчивые квазипериодические вариации как в потоках КЛ, так и в параметрах солнечной активности и межпланетной среды. Показано, что период ~ 1.7 года четко присутствует в вариациях общего магнитного поля Солнца и угла наклона гелиосферного токового слоя. Делается вывод о связи квазидвухлетней вариации потоков космических лучей и общего магнитного поля Солнца.

2.1.5.5. Исследования (анализ экспериментальных данных, теоретические работы и сопоставление полученных теоретических результатов с экспериментальными данными) по изучению динамики процессов в космической плазме, в частности, в магнитосферной плазме, и по решению проблем космической погоды.

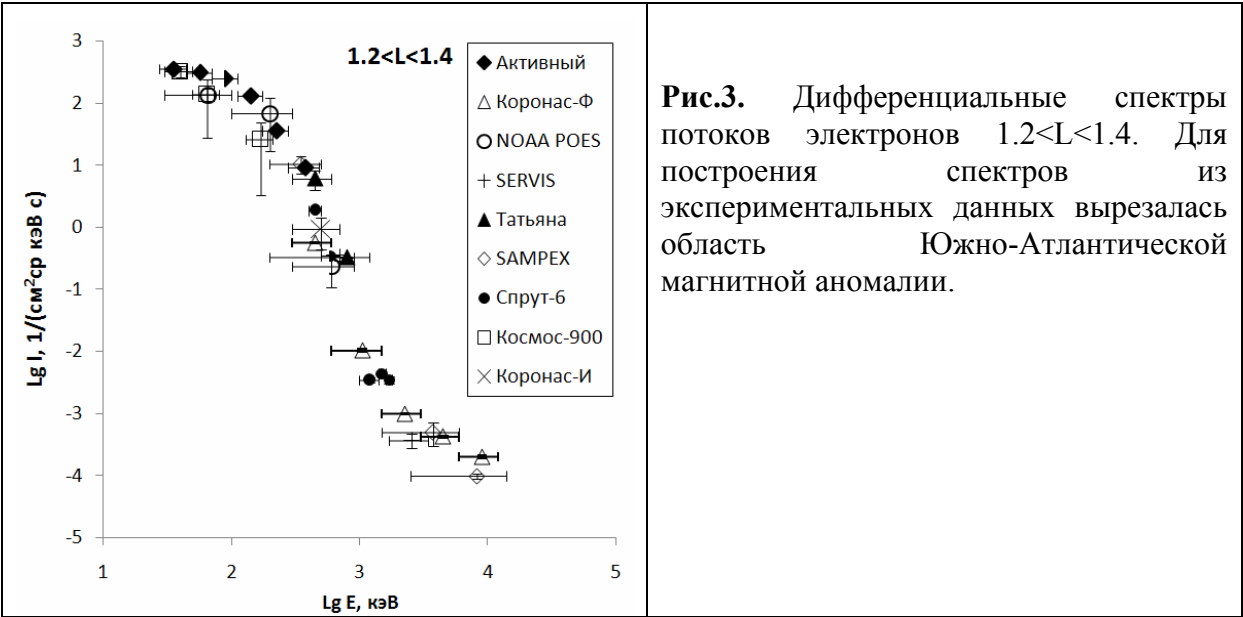
- Проведено исследование возрастных потоков релятивистских электронов за границей внешнего электронного радиационного пояса по экспериментальным данным с ИСЗ «КОРОНАС-Ф» и «КОРОНАС-ФОТОН». Показано, что исследуемые возрастания локализованы на широтах аврорального овала. Выделено событие, при котором имело место возрастание потоков частиц в высоких широтах во время суббури. Проведено сопоставление наблюдаемых возрастных потоков с геомагнитными микропульсациями. Получены первые результаты моделирования, демонстрирующие возможность возникновения локальных, живущих в течение нескольких часов ловушек, в которых дрейфовые траектории энергичных частиц не окружают Землю.

- На основе анализа экспериментальных данных с ИСЗ «Метеор» впервые показано, что во время коллапса области захваченной радиации на главной фазе супербури ночная граница области захваченной радиации, экваториальная граница потоков высыпающихся авроральных электронов и центр западной электроструи совпали в пределах $\sim 1^\circ$ инвариантной широты, сместившись до $L \sim 3$. В условиях быстро развивающейся главной фазы сильной магнитной бури (со скоростью нарастания амплитуды $Dst > 100$ нТл/ч) известные эмпирические зависимости, определяющие положение ночной границы аврорального овала, центра западной электроструи от амплитуды Dst -вариации, показывают сильное отклонение от экспериментальных данных. Зависимость же положения максимума пояса инжектированных во время магнитных бурь релятивистских электронов от амплитуды бури $|Dst|_{\max}$ дает хорошее согласие для всех рассматриваемых структур и может быть использована для предсказания экстремального их широтного положения за время бури.

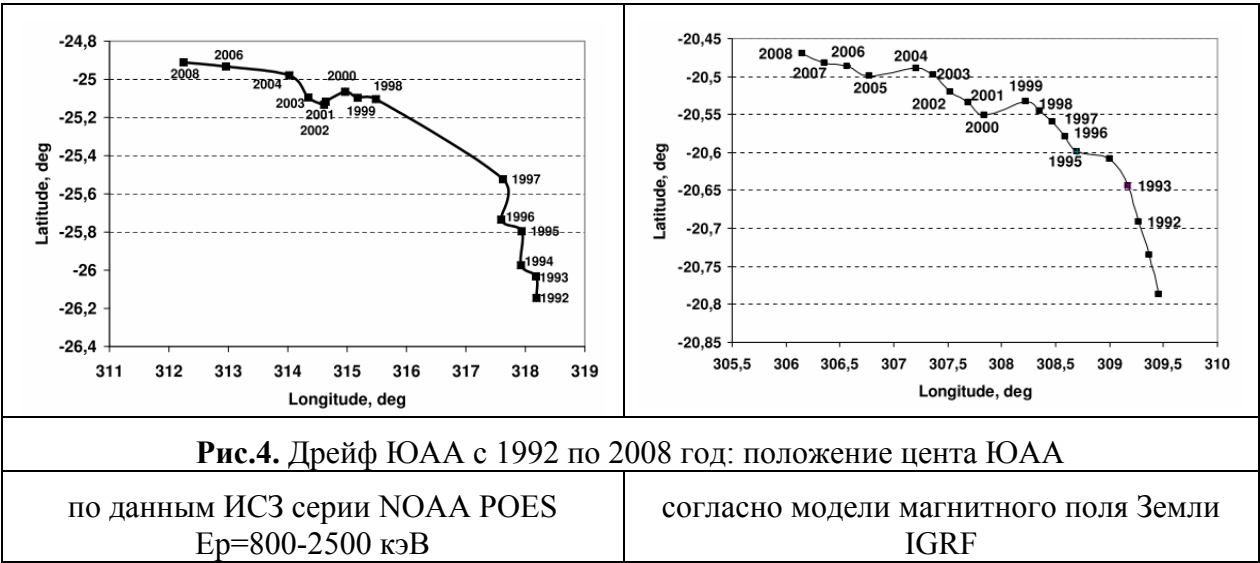
- Проведено исследование динамики внешнего радиационного пояса Земли в периоды максимума, спада и минимума солнечного цикла и при различных уровнях геомагнитной активности по данным измерений потоков протонов и электронов в экспериментах на спутниках КОРОНАС-Ф и КОРОНАС-ФОТОН. В 2001-2003 гг. наблюдался значительный рост потоков релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе Земли, вариации потоков электронов на L -оболочках от 3 до 5 достаточно близки, что может быть связано с ростом средней скорости солнечного ветра в данный период. Показано, что даже слабые геомагнитные возмущения в сочетании с волновой активностью могут оказать существенное влияние на радиационную обстановку в околоземном космическом пространстве.

- Исследованы всплески потока электронов вблизи геомагнитного экватора ($L < 1.2$). По данным спутника «Университетский-Татьяна» и других показано, что спектр электронов имеет излом вблизи 1 МэВ. До 1 МэВ спектр имеет вид тепловой (Максвелловской)

функции, на больших энергиях он переходит в степенной. Это может свидетельствовать о наличии двух источников электронов в указанной области.



- Исследованы долговременные вариации потока протонов с энергией 800-2500 кэВ в области Южно-Атлантической Аномалии (ЮАА). Подтверждено наличие дрейфа аномалии в северо-западном направлении. Развита метод «центра масс» для определения положения центра аномалии. Применение этого метода к данным спутников серии NOAA с 1992 по 2008 год показало, что скорость дрейфа аномалии в западном направлении составляет около 0.3 градуса в год, а в северном направлении не превышает 0.1 градуса в год. Показано, что положения центра аномалии по данным по потокам частиц и по напряженности геомагнитного поля не совпадают. Предложено объяснение этому явлению с применением модельных расчетов.



- Проведены исследования всплесков потоков протонов с энергией от десятков кэВ до нескольких МэВ вблизи геомагнитного экватора ($L<1.15$) по данным спутников серии NOAA (высота 900 км). Показано, что заброс частиц в приэкваториальную область происходит с момента начала главной фазы бури (экстремально сильная буря 12.05.1992 с

Dst=-300 нТл и средняя буря 23.03.2007 с Dst=-70 нТл), что подтверждает теорию о механизме двойной перезарядки протонов кольцевого тока. На примере 70 геомагнитных бурь за период 1992-2008 гг. показано, что коэффициент возрастания потока пропорционален силе бури (значению индекса Dst). Исследование долговременных вариаций потоков квазизахваченных электронов в диапазоне энергий от нескольких десятков кэВ до 1 МэВ на $L < 2$ показало, что существует сезонная вариация: величина потока максимальна зимой и летом, в то время как поток высыпавшихся частиц возрастает весной и осенью. В 23 солнечном цикле наблюдается устойчивая сезонная вариация анизотропии потоков электронов под РП.

- Проведены исследования долговременных вариаций потоков захваченных протонов радиационных поясов Земли. В результате обработки и анализа баз данных низкоорбитальных спутников (NPOES, Коронас-Ф, Университетский-Татьяна) показано, что в отсутствие солнечных событий и геомагнитных возмущений:

- экспериментальные потоки захваченных протонов с энергией менее 10 МэВ превышают данные модели AP8 и SALAMMBO на дрейфовых оболочках $L < 1.6$ (в области ЮАА), но согласуются с моделью LOWPRO.
- существует удовлетворительное согласие экспериментальных потоков захваченных протонов с энергией более 10 МэВ с данными модели AP8 на дрейфовых оболочках $L < 2$ (в области ЮАА),

В результате исследования вариации потока захваченных протонов в 23 цикле солнечной активности на дрейфовых оболочках $L=1.14-1.20$ и сравнения с данными предыдущих циклов найдено:

- временная задержка изменения потока протонов по отношению к изменению уровня солнечной активности (СА) зависит от четности цикла СА и растет с увеличением высоты дрейфовой оболочки;
- причиной вариаций потока протонов является вариация плотности атмосферы с изменением СА;
- изменение указанных потоков протонов во времени коррелируют с изменением СА с учетом временной задержки;
- временная задержка различается для разных L-оболочек, а при $L > 1.14$ зависит еще от четности цикла СА: в четном 22-м цикле она ниже, чем в нечетных 21-м и 23-м циклах СА.

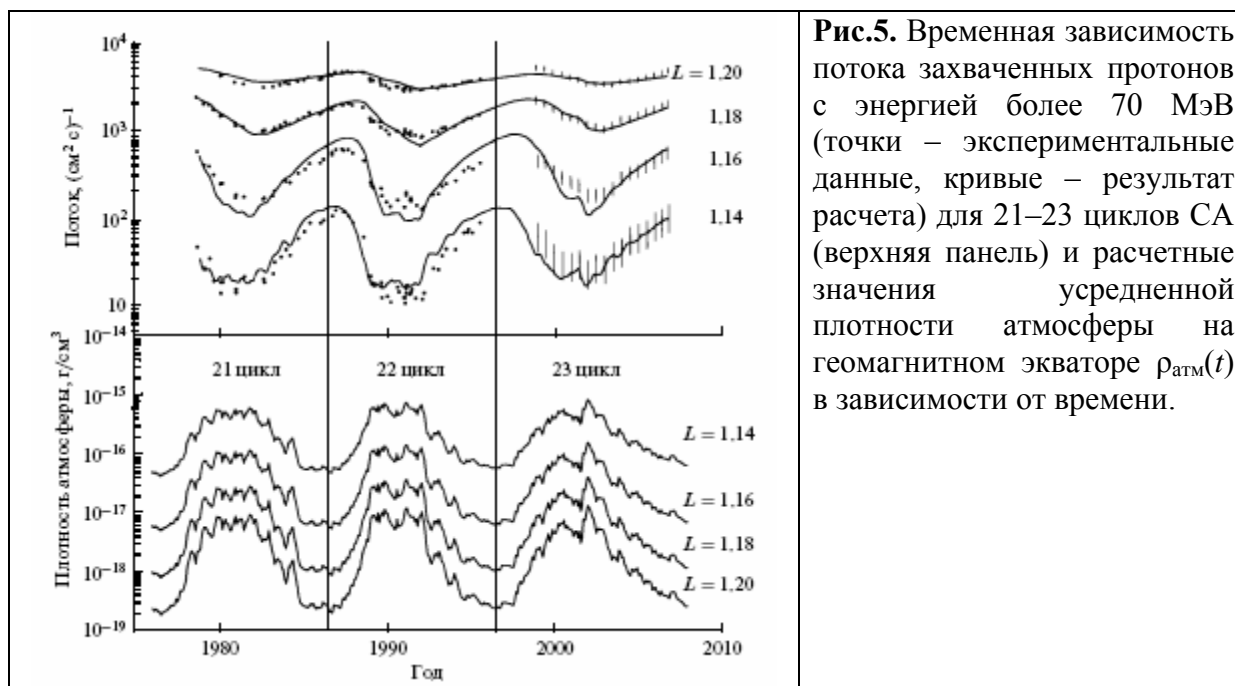


Рис.5. Временная зависимость потока захваченных протонов с энергией более 70 МэВ (точки – экспериментальные данные, кривые – результат расчета) для 21–23 циклов СА (верхняя панель) и расчетные значения усредненной плотности атмосферы на геомагнитном экваторе $\rho_{\text{атм}}(t)$ в зависимости от времени.

- С использованием параболоидной модели магнитосферы исследованы соотношения между вкладами в Dst кольцевого тока и тока хвоста магнитосферы на основе статистической обработки 70 магнитных бурь разной интенсивности, произошедших в период 1998–2003 гг. Вариации магнитного поля на поверхности Земли во время исследуемых возмущений и в соответствующий магнитно-спокойный день месяца были рассчитаны с учетом эффекта внутриверхних теллурических токов. Для каждой бури, в соответствии с процедурой, разработанный в МЦД Киото, были рассчитаны Dst и вклады в Dst, созданные магнитосферными токовыми системами. Вычислены соотношения между вкладами кольцевого тока и токового слоя хвоста в максимуме бури в зависимости от величины "скорректированного" на давление солнечного ветра Dst. Получены зависимости амплитуды инжекции плазмы из хвоста магнитосферы в зависимости от мощности бури.

- Предложена методика оценки величины частичного кольцевого тока с использованием вариаций геомагнитного индекса ASY-H. Для магнитной бури 20–22 ноября 2003 года изучен эффект асимметрии кольцевого тока. На основе разработанной модели вычислены величина частичного кольцевого тока в максимуме бури и его вклад в Dst. Изучены временные характеристики развития и распада частичного кольцевого тока во время магнитной бури.

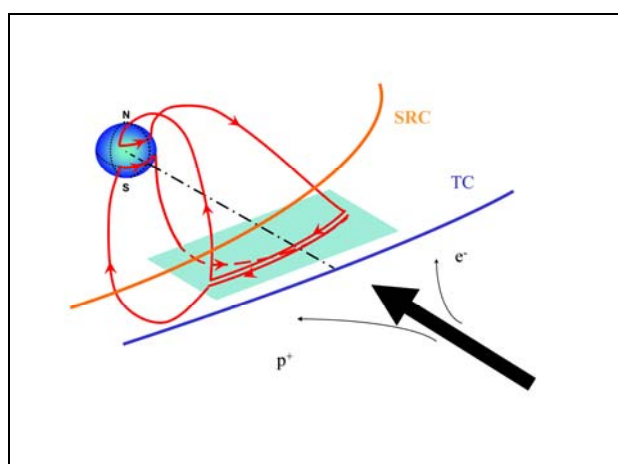


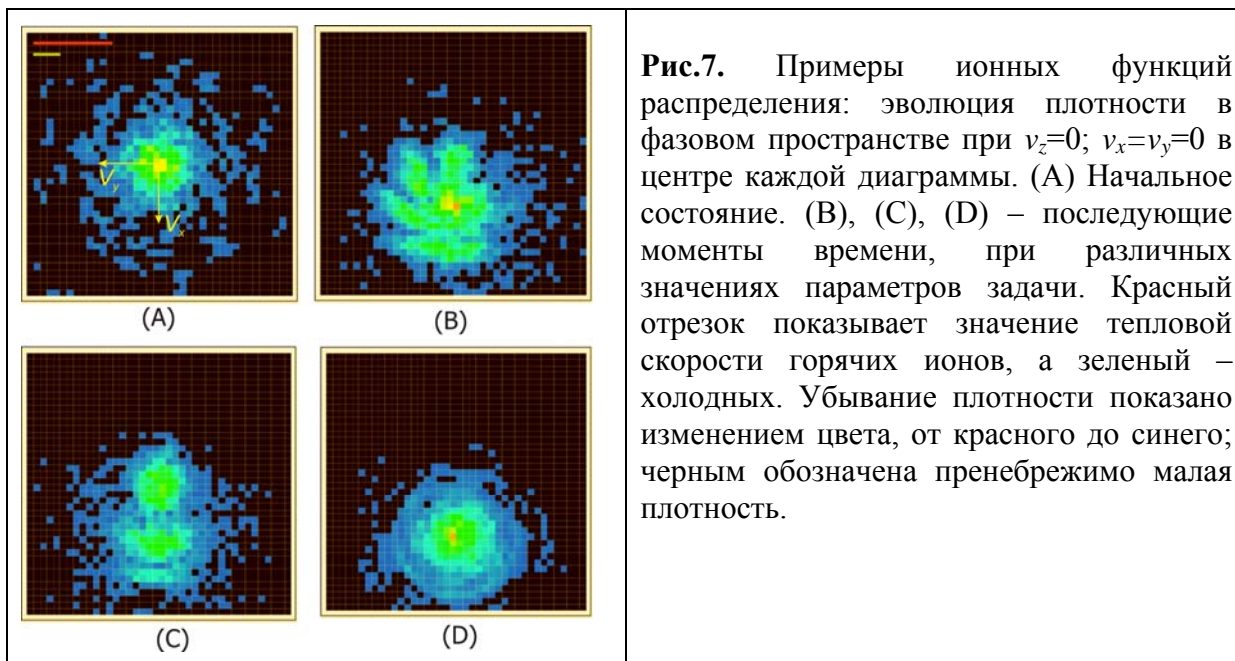
Рис.6. Схематическое изображение элементарного контура системы частичного кольцевого тока в ночной части магнитосферы Земли. Большой стрелкой показано направление течения крупномасштабной магнитосферной конвекции. SRC и TC – элементы крупномасштабных токовых систем (симметричного кольцевого тока и тока хвоста), примыкающие к экваториальному фрагменту частичного кольцевого тока.

- По данным ИСЗ, полученным вблизи экваториальной плоскости во время 12 магнитных бурь с амплитудой от -61 до -422 нТл, показано, что эффект значительного увеличения крутизны внешней кромки кольцевого тока при переходе от главной фазы к фазе восстановления типичных бурь можно связать с различием в асимметрии кольцевого тока.

- Определены плотность магнитостатически равновесного поперечного тока в дневной части магнитосферы. Так как интегральный ток на дневных силовых линиях соответствует интегральному току на ночных силовых линиях на тех же геоцентрических расстояниях, традиционный кольцевой ток имеет высокоширотное продолжение до геоцентрических расстояний $\sim 10 R$. Экспериментально доказано, что изолированная магнитосферная суббуря начинается на геоцентрических расстояниях $\sim 7-8R$ в области кольцевого тока. Разработана модель высокоширотного продолжения кольцевого тока, позволившая оценить величину магнитного возмущения, производимого данным током во время магнитной бури.

- Исследование баланса давлений на магнитопаузе по результатам измерений в международном проекте TEMIS показало, что даже в исключительно спокойных геомагнитных условиях при спокойном солнечном ветре чрезвычайно велик уровень флуктуаций в магнитослое. При этом баланс давлений на магнитопаузе может соблюдаться с точностью до 3%.

- Выяснена ключевая роль кинетических тонких токовых слоев в быстрых перестройках геомагнитного хвоста: формирование токового слоя находится в тесной связи со среднемасштабной турбулентной динамикой в хвосте. Иницируемое локализованным всплеском магнитного пересоединения возмущение, появляющееся в геомагнитном хвосте на меньшем временном масштабе, порождает потерю равновесия на участках плазменного слоя, имеющих промежуточные пространственные масштабы. Теоретические соображения и численное моделирование показывают, что процесс релаксации, который затем происходит на большем временном масштабе, приводит к появлению предельно тонких вложенных токовых слоев, со сложной анизотропией ионных распределений, а также к генерации быстрых плазменных потоков. Этот процесс дает эффективный механизм трансформации магнитной энергии, запасенной в геомагнитном хвосте, в кинетическую энергию плазменных потоков.



– Для планет Солнечной системы, обладающих собственным магнитным полем (Меркурий, Земля, Юпитер, Сатурн), построены модели их магнитосфер. Параболоидная модель магнитосферы Земли была принята как основа международного стандарта, утвержденного в 2009 году Международной организацией по стандартизации (Женева, Швейцария) - ISO 22009. Получено экспериментальное подтверждение гипотезы о совпадении приполярной границы полярных сияний Сатурна с границей на уровне ионосферы между открытыми и замкнутыми силовыми линиями. При этом были использованы самые современные данные по магнитному полю, полученные на КА Кассини, и снимки космического телескопа Хаббл (2008-2009 гг.) полярных областей Сатурна в УФ диапазоне. Построена новая параболоидная модель магнитосферы Меркурия, которая дала возможность определить параметры планетарного диполя по измерениям Маринер 10 и МЕССЕНДЖЕР. При помощи этой модели удалось описать все имеющиеся в настоящее время наблюдения магнитного поля в магнитосфере Меркурия (выполненные на КА Маринер 10 и МЕССЕНДЖЕР) и определить как параметры дипольного поля Меркурия, так и параметры магнитосферных токовых систем.

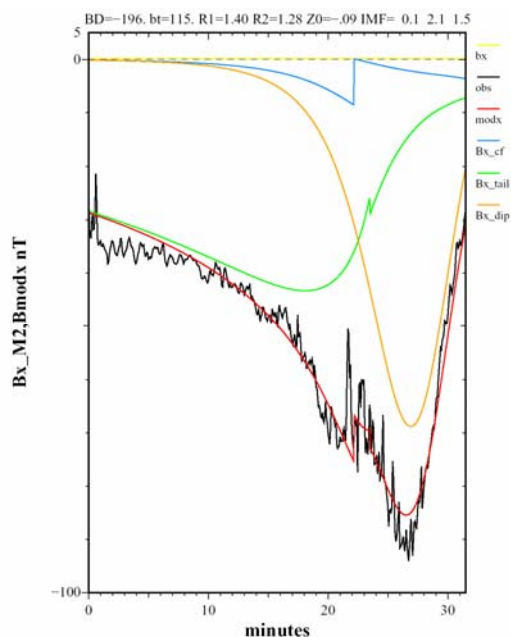


Рис.8. Меркурий. MESSENGER облет 2, 6 окт. 2008, $\sigma = 8.8$ nT

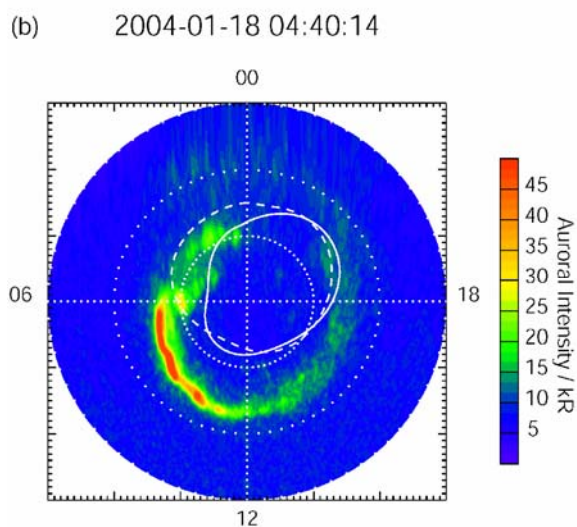


Рис.9. Сатурн. Полярный овал (Хаббл) и пучок открытых линий (модель).

2.1.5.6. Исследование галактических и экстрагалактических космических лучей

- В эксперименте ATIC обнаружено различие энергетических спектров протонов и ядер гелия космических лучей. Все первичные ядра должны иметь одинаковые степенные спектры по жесткости. Баллонный эксперимент ATIC получил новые точные данные в области энергий 30 ГэВ -30 ТэВ и показал, что:

- спектры протонов и гелия не одинаковы,
- спектры протонов и ядер гелия имеют существенно не степенной вид.

Это означает, что некоторые положения существующего представления должны быть пересмотрены, чтобы описать новые экспериментальные данные.

Результаты эксперимента ATIC недавно были полностью подтверждены в эксперименте CREAM.

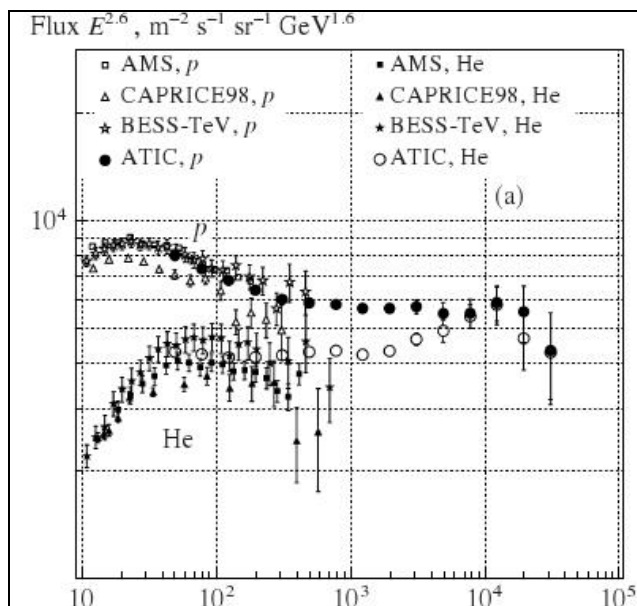


Рис.10. Спектры протонов и ядер гелия, измеренные в эксперименте ATIC, вместе с результатами других экспериментов.

- На основании анализа экспериментальных данных установки ШАЛ МГУ по спектру широких атмосферных ливней по числу частиц сделан вывод о существовании дополнительной компоненты в первичном космическом излучении, проявляющейся при энергиях выше 10^{17} эВ и не связанной с основной массой Галактических космических лучей, генерируемых ударными волнами в оболочках сверхновых.

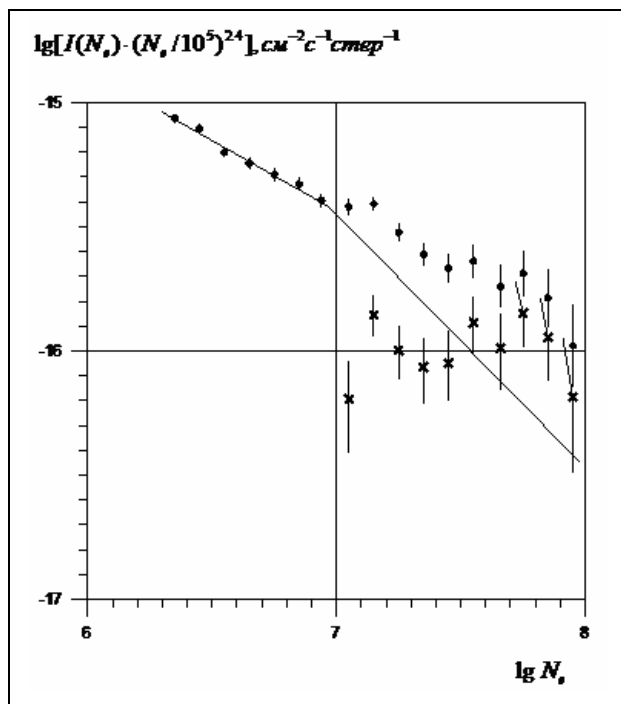
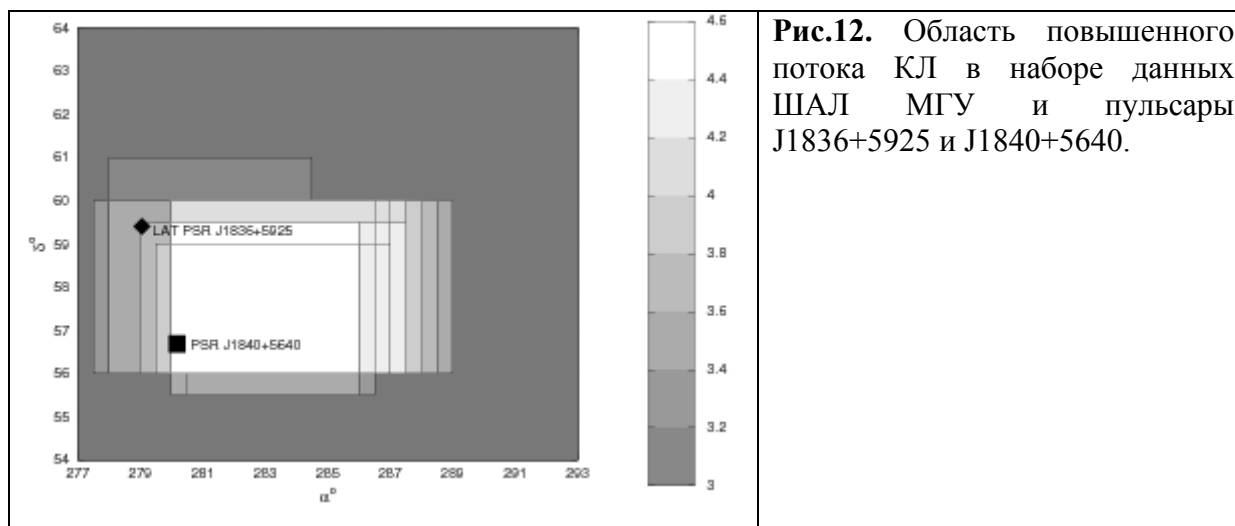


Рис.11. Спектр ШАЛ по числу частиц. Черные точки – экспериментальные данные установки ШАЛ МГУ, линия – расчетный спектр ШАЛ, крестики – спектр ШАЛ, генерированный дополнительной компонентой.

- На основании цикла работ по изучению среднемасштабной анизотропии (или: направлений прихода) широких атмосферных ливней, зарегистрированных на установка ШАЛ МГУ и прототипе установки ШАЛ-1000, сделан вывод о том, что вклад одиночных пульсаров в формирование потока галактических космических лучей с энергией порядка ПЭВ, возможно, является более существенным, чем это принято считать.



2.1.5.7. Исследования УФ излучения верхней атмосферы:

- Обработаны данные спутника МГУ «Университетский-Татьяна-1» об ультрафиолетовом свечении атмосферы на разных широтах и долготах затененной (ночной) стороны Земли. На спутнике «Университетский-Татьяна-1» были выявлены новые связи между параметрами атмосферы, ионосферы и магнитосферы в стационарном режиме (масштаб времени – время обращения спутника вокруг Земли).

Результаты одновременного измерения ультрафиолетового излучения и потока электронов с энергиями выше 70 кэВ на ИСЗ «Университетский-Татьяна» позволяют сделать вывод, что имеется определенная корреляция между возрастаниями потоков электронов в полярной области и интенсивности УФ излучения. Показано, что широтный разрез интенсивности УФ излучения ночной атмосферы, измеряемого со спутника в направлении надир, повторяет разрез интенсивности потока электронов на орбите спутника. Данные спутника «Университетский-Татьяна-1» указывают на существование на средних и малых широтах УФ свечения с интенсивностью на порядок меньше интенсивности полярных сияний. Сдвиг по широте (около 10 град.) появления пика интенсивности УФ (длины волн 300-400 нм) по сравнению с пиком интенсивности электронов (от 70 кэВ до 1 МэВ) связан с различной высотой измерения потока электронов на орбите спутника (950 км) и высотой излучения УФ (~200 км), на которой происходят интенсивные потери энергии электронов. Электроны, генерирующие УФ в атмосфере, двигаются вдоль магнитной силовой линии и достигают высот в атмосфере, где они теряют энергию, на более высоких широтах.

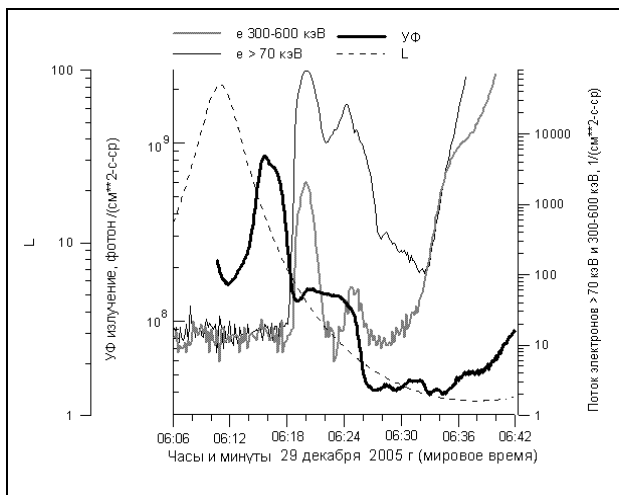


Рис.13. Интенсивность УФ излучения (толстая линия) и поток электронов с энергией >70 кэВ (тонкая черная линия), 300-600 кэВ (тонкая серая линия), параметр Мак-Илвайна - L (пунктирная линия) по данным ИСЗ «Университетский–Татьяна», полученным 29.12.2005.

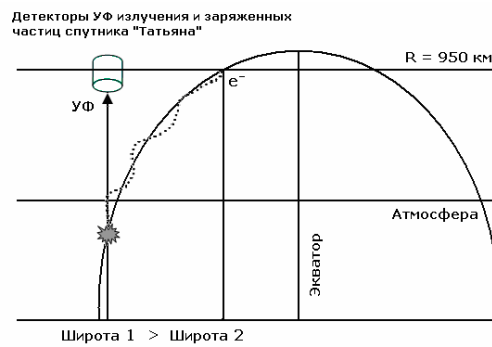


Рис.14. Иллюстрация разницы во времени регистрации УФ-излучения и потоков электронов приборами, установленными на ИСЗ с высотой орбиты 950 км (датчик УФ излучения смотрит в надир).

2.1.5.8. Исследования по космической дозиметрии:

- На основе анализа данных по мощностям доз, зарегистрированных системой СРК российского сегмента МКС в течение 2005 - 2009 гг., произведено разделение суточной мощности дозы на составляющие, полученные от ГКЛ и от РПЗ. Выявлена зависимость мощности дозы от высоты прохождения станцией области южно-атлантической аномалии за период с июля по октябрь 2008 г.

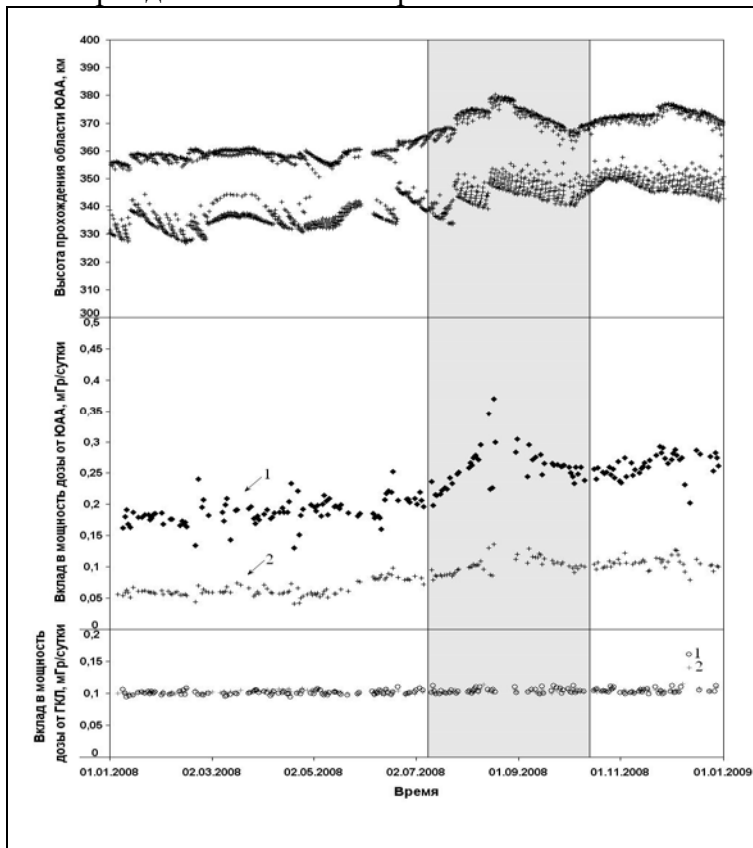


Рис.15. На верхней панели представлены значения высоты, на которой МКС проходит через область южно-атлантической аномалии. Наличие двух "ветвей" на графике обусловлено тем, что высота прохождения этой области на восходящем и нисходящем участках траектории различна.

На средней панели представлены значения вклада в среднесуточную мощность дозы от РПЗ, зарегистрированные на Служебном модуле МКС полупроводниковыми дозиметрами системы радиационного контроля, расположенными в точках станции с различной защищенностью от космического излучения оборудованием МКС. Зависимость 1 соответствует показаниям наименее защищенного детектора; зависимость 2 соответствует показаниям наиболее защищенного детектора.

	На нижней панели представлены значения вклада в среднесуточную мощность дозы от ГКЛ. Обозначения 1 и 2 такие же, как на средней панели.
--	---

2.1.5.9. Центр радиационного космического мониторинга:

Важнейшим аспектом научного исследования космического пространства является сохранение полученной информации и обеспечение эффективного доступа к ней. Поэтому, создание информационно-вычислительных систем, включающих в себя средства хранения и интеллектуальные средства доступа к данным, является необходимым элементом любых космических экспериментов. Особое значение это имеет при проведении прикладных исследований, связанных с прогнозированием радиационной обстановки, поскольку энергичные заряженные частицы, а также другие факторы космического происхождения оказывают воздействие на материалы и оборудование космических аппаратов, наземные системы, и, в некоторых случаях, на жизнь и здоровье членов экипажей.

- Для управления и приема служебной телеметрической и научной информации с борта ИСЗ *Университетский-Татьяна* в НИИЯФ МГУ была создана наземная станция, которая обеспечивает прием научной информации с малых ИСЗ и с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. Скорость приема 9600 *бит/с* в диапазоне 70 *см* и передачи управляющей информации на борт КА 2400 *бит/с* в диапазоне 2 *м*. В состав антенного поста входят: две антенны типа волновой канал с круговой поляризацией, поворотное устройство и маломощные антенные усилители. Управляющее программное обеспечение производит баллистические расчеты траектории КА, управление приемопередатчиком с учетом доплеровского сдвига частоты, передачу полетного задания, прием и хранение научной и служебной телеметрии, а также отображение текущего положения КА.

- Создан прототип тематического информационно-аналитического центра для хранения, обработки, отображения и анализа данных измерения проникающих излучений, получаемых с борта космических аппаратов. Под управлением СУБД Oracle созданы базы данных космофизической информации о радиационном состоянии космической среды, полученной в течение последних 15 лет с отечественных космических аппаратов: Коронас-И, Коронас-Ф, Метеор-ЗМ, Университетский-Татьяна, орбитальной станции Мир, КОРОНАС-ФОТОН, Университетский-Татьяна-2 и др. (<http://smdc.sinp.msu.ru>) Разработаны информационные сервисы для доступа к данным и их представления, как в табличной, так и в графической форме. На главной странице портала размещены элементы мониторинга космической погоды. Первый такой элемент в режиме реального времени строит и выводит на экран текущие значения расстояния до подсолнечной точки магнитосферы Земли, получаемые на основе модели положения магнитопаузы, разработанной в НИИЯФ, и данных мониторинга солнечного ветра космическим аппаратом ACE. Второй элемент служит проекцией монитора NOAA N3KL, и регистрирует состояние магнитосферы и солнечную активность.

- Создана уникальная, полностью автоматизированная система обработки и хранения данных измерений потоков заряженных частиц, выполненных на спутнике КОРОНАС-ФОТОН, и свечений атмосферы, регистрируемых на спутнике «Университетский-Татьяна-2». Созданы информационные ресурсы, реализующие открытый доступ к получаемой информации через Интернет-портал Центра данных оперативного космического мониторинга НИИЯФ <http://smdc.sinp.msu.ru>.

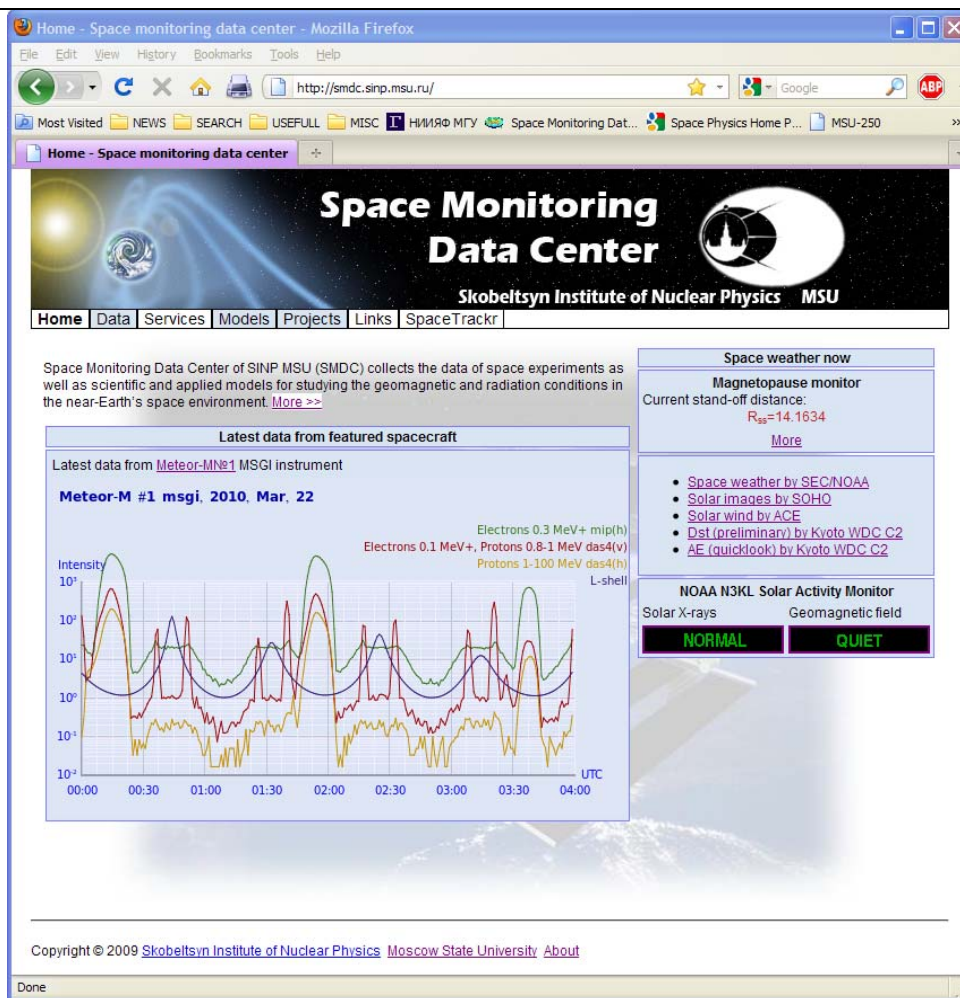


Рис.16. На главной странице портала в режиме реального времени размещаются изображения, построенные на основе последних полученных данных.

- Проведена работа по оптимизации базы данных по потокам межпланетных энергичных протонов и предложено ее применение для моделирования радиационных условий. Показано, что экспериментальные данные по измерениям потоков протонов космических лучей, полученные с помощью различных космических аппаратов, весьма разнородны и имеют различные погрешности. Предложено для оптимизации базы данных по межпланетным протонам использовать статистический анализ флюенсов протонов, рассчитанных за различные длительные интервалы времени от полугода до 10 лет. Проведён анализ различных баз данных по протонам космических лучей, в частности критериев определения солнечного протонного события (СПС). Предложен собственный объективный метод отделения потоков в СПС от фоновых (ГКЛ). Показано, что характер вклада различных источников в потоки протонов космических лучей с энергиями < 4 МэВ отличается от такового для протонов больших энергий.

- На основе системы управления данными и теоретических моделей магнитосферного магнитного поля и радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве велась разработка новых инженерных версий моделей и прототипов вычислительных Интернет-сервисов. Такие операционные модели, функционирующие на основе данных космического мониторинга и средств распределенной обработки и доступа к данным, являются необходимым аппаратом для оперативного анализа состояния космической среды. Для информационного портала разработаны веб-версии модели COSRAD (космическая радиация) (<http://cosrad.sinp.msu.ru>) и модели магнитосферного магнитного поля, размещены интерфейсы для доступа к моделям, подготовлены руководства

пользователя и физические описания моделей, имеется возможность сравнения экспериментальных и модельных потоков протонов и электронов в околоземном пространстве и методика расчета дозы радиации в модели «кубического» чувствительного слоя.

- Разработан программный комплекс для анализа космофизических данных. Предложен и реализован четырёхступенчатый алгоритм на основе комитета нейронных сетей для прогнозирования и поиска предвестников в многомерных временных рядах. Алгоритм позволяет повысить эффективность прогнозирования и выделить предвестник - комбинацию наиболее существенных входных признаков задачи, определяемых в координатах «входной временной ряд – задержка». Предложенный алгоритм применен для прогнозирования Dst-индекса по значениям компонент межпланетного магнитного поля (ММП) в двух разных системах координат B_x , B_y_GSE , B_y_GSM , B_z_GSE , B_z_GSM , модуль ММП B_magn , плотность протонов в СВ n , скорость СВ v и температура T . Помимо этого, использовались переменные, осуществляющие привязку по времени: год (year), месяц года (month), день месяца (day), час суток (hour), синус и косинус от часа года, приведённого к годовому периоду (\sin_t , \cos_t). К полученному набору из 15 переменных были добавлены три временных ряда той же длины из совершенно других задач, без какой-либо привязки по времени, а также две псевдослучайные последовательности чисел. Из всех входных переменных в список отобранных признаков, от которых сильнее всего зависит прогноз Dst-индекса вошли: B_z_GSM с задержками 2, 3, 6, 9, 11 и 15 часов до момента прогнозирования; B_magn с задержками 2, 8 и 14 часов; n с задержкой 1 час; v с задержкой 14 часов и \sin_t с задержкой 7 часов. В целом выбранные переменные согласуются с физическими представлениями о рассматриваемой задаче.



- Создано программное обеспечение для анализа изображений Солнца, полученных с космического аппарата SOHO. Результаты работы ПО использовались для изучения динамики корональных дыр и для прогнозирования параметров квазистационарных потоков солнечного ветра в минимуме солнечной активности.

2.1.5.10. Образовательная деятельность

Студенты, аспиранты и молодые ученые принимали активное участие в проведении теоретических и экспериментальных научных исследований, а также в создании коммуникационно-вычислительной инфраструктуры центра данных космических экспериментов. При непосредственном участии студентов и аспирантов физического факультета МГУ, создается научная аппаратура для проведения научных экспериментов в космическом пространстве. Молодые ученые, студенты и аспиранты привлекаются к обработке и научному анализу получаемых космофизических данных.

Популяризация основ космофизики и профориентация школьников включает подготовку популярных материалов и проведение отдельных мероприятий. С 2008 г. распространяется учебный мультимедийный слайд-фильм «А что в космосе?» («О космических лучах и галактиках, о звёздах и планетах, о Солнце и Земле»). Целевая аудитория – школьники и студенты младших курсов непрофильных университетов, а также все интересующиеся космосом. В слайд-фильме популярно рассказано о явлениях в космосе и методах их изучения. В 2009 г. вышла вторая версия этого слайд-фильма.

Готовится 3-е, переработанное, издание электронного мультимедийного курса «Жизнь Земли в атмосфере Солнца». Первые два издания (2005 и 2008 гг.) были ориентированны, в первую очередь, на преподавателей университетов и школ, и уже полностью распространены. Подготовка нового издания обусловлена необходимостью создания версии курса для самостоятельного изучения студентами и школьниками. Мультимедийный курс «Жизнь Земли в атмосфере Солнца» (~1500 кадров) состоит из разделов: Солнце, Земля, Солнечно-земные связи, которые дополнены небольшим словарем терминов. Каждый раздел состоит из подразделов.

Для привлечения студентов к современным космическим исследованиям и внедрения знаний о космосе в университетское образование создан «Космический практикум», ориентированный на студентов 4-5 курсов классических и технических университетов. Все задачи практикума построены на реальных данных, в т.ч. на полученных с борта космических аппаратов «Университетский-Татьяна» и «Университетский-Татьяна-2». В НИИЯФ МГУ были выпущены два издания «Космического практикума», ряд задач вошел в созданный совместно с Ульяновским государственным университетом электронный космический практикум «Космофизика», предназначенный для дистанционного образования и переданный во многие университеты.

Ежегодно, начиная с 2004 г., совместно с различными российскими университетами проводятся молодежные научные школы, направленные не только на знакомство участников с последними достижениями современной космофизики, практикой и возможностями космических исследований и их внедрению в высшее образование, но и наглядно демонстрирующие доступность серьезных космических исследований для современных российских университетов. В каждой из таких школ участвуют около ста студентов и преподавателей различных университетов, ранее не занимавшихся космическими исследованиями. Многие доклады студентов и аспирантов демонстрируют высокий научный уровень, явившийся результатом кропотливой работы, накопленного опыта и, конечно, знаний, полученных на предыдущих школах. Одним из результатов проведения школ стала практическая реализация возможности для студентов российских вузов создавать и защищать дипломные работы под руководством ведущих учёных МГУ, используя научные данные, полученные на университетских научно-образовательных спутниках. В результате образовавшегося сотрудничества университетов, участвовавших в работе школ, с НИИЯФ МГУ, были защищены около 30 дипломных работ по космической тематике. Большинство таких работ было выполнено студентами различных российских университетов под руководством ученых из НИИЯФ МГУ.

НИИЯФ МГУ регулярно участвует в ряде популярных мероприятий и выставок, создан и поддерживается сайт Космического научно-образовательного проекта МГУ space.msu.ru, содержащий актуальную информацию о космических проектах МГУ и образовательных материалах. Студенты различных российских университетов проходят производственную и преддипломную практику в НИИЯФ МГУ.



Рис.17. Мультимедийный курс «Жизнь Земли в атмосфере Солнца»

Рис.18. Занятия в космическом практикуме в НИИЯФ МГУ

2.1.6. МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ). ИНСТИТУТ АСТРОФИЗИКИ

2.1.6.1. Проект «КОРОНАС - ФОТОН»

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА И ЗАДАЧИ ПРОЕКТА «КОРОНАС-ФОТОН»

КОРОНАС (Комплексные **ОР**битальные **О**колоземные **Н**аблюдения **А**ктивности **С**олнца) — Российская программа исследования физики Солнца и солнечно-земных связей с помощью серии космических аппаратов, которая предусматривает запуск на околоземную орбиту трех солнечно-ориентированных спутников.

«КОРОНАС-ФОТОН» — третий аппарат в этой серии. Двумя другими спутниками программы являются «КОРОНАС-И» (запущен 2 марта 1994г.) и «КОРОНАС-Ф» (запущен 31 июля 2001г.).

Космический аппарат «КОРОНАС-ФОТОН» запущен 30 января 2009г. с космодрома Плесецк.

Главная организация по комплексу научной аппаратуры проекта «КОРОНАС-ФОТОН»
Московский инженерно-физический институт (государственный университет) — **МИФИ**.

Главная организация по космическому аппарату «КОРОНАС-ФОТОН»
Всероссийский научно-исследовательский институт электромеханики — **ВНИИЭМ** (г. Москва).

Научный руководитель проекта

Директор Института астрофизики МИФИ (ИАФ МИФИ) **Котов Юрий Дмитриевич**.

Технический руководитель проекта – главный конструктор космического комплекса

Заместитель главного конструктора НИИЭМ **Салихов Рашид Салихович**.

Технический руководитель – главный конструктор комплекса научной аппаратуры

Заместитель директора Института астрофизики МИФИ **Юров Виталий Николаевич**.

Контакты:

- 115409, Москва, Каширское шоссе, 31, Институт астрофизики МИФИ
- Тел.: (+007-495) 324-9193, (+007-495) 323-9546
- Тел./факс: (+007-495) 324-0616
- E-mail: kotov@mephi.ru
- WWW: <http://iaf.mephi.ru/>, <http://www.astro.mephi.ru/>

Основная задача проекта: исследование процессов накопления энергии и ее трансформации в энергию ускоренных частиц во время солнечных вспышек, изучение механизмов ускорения, распространения и взаимодействия энергичных частиц в атмосфере Солнца, исследование корреляции солнечной активности с физико-химическими процессами в верхней атмосфере Земли.

Цели научных экспериментов:

Физика Солнца и солнечно-земных связей

- Проведение систематических исследований деталей процессов, вызывающих возникновение солнечных вспышек, определяющих их периодичность и интенсивность с целью совершенствования моделей краткосрочного и долгосрочного прогноза солнечной активности;
- Получение наблюдательных данных об энергиях и временном поведении излучения Солнца в спокойное время и во вспышках в различных диапазонах длин волн, от ультрафиолетового диапазона до диапазона высокоэнергичного гамма-излучения;
- Наблюдение выбросов корональной массы и эруптивных протуберанцев, а также определение физического состояния плазмы в этих процессах: её температуры, электронной и ионной плотности, а также дифференциальной меры эмиссии. Измерения физического состояния плазмы необходимы для расчёта энергобаланса активных корональных процессов;
- Исследование динамики распространения ускоренных частиц в солнечной атмосфере, их утечки в околосолнечное пространство (тонкая или толстая мишень взаимодействия) и углового распределения в мишени;
- Получение гамма-спектроскопических данных о составе ускоренных частиц и составе среды, в которой происходят их взаимодействия;
- Измерение величины линейной поляризации вспышечного жесткого рентгеновского излучения;
- Определение соотношения механизмов ускорения и нагрева;
- Исследование природы электронно-доминированных вспышек;
- Получение данных о рождении во вспышках редких элементов при взаимодействии протонов и легких ядер.
- Мониторинг верхних слоев атмосферы Земли по поглощению жесткого ультрафиолета спокойного Солнца;

Астрофизика

- Исследование рентгеновского и гамма-излучения космических гамма-всплесков;

- Исследование рентгеновских источников, расположенных в плоскости эклиптики.
Космические лучи
- Исследование на околоземной орбите химического и изотопного составов частиц, захваченными радиационными поясами Земли, и их динамики в спокойной и возмущенной магнитосфере;
- Исследование химического и элементного состава солнечных космических лучей и их pitch - углового распределения в магнитосфере Земли.

Астрофизика

- исследование рентгеновского и гамма-излучения космических гамма-всплесков;
- галактических и внегалактических рентгеновских источников, ядер активных галактик, жесткого рентгеновского диффузного фона.
-

Космический аппарат "КОРОНАС-ФОТОН"

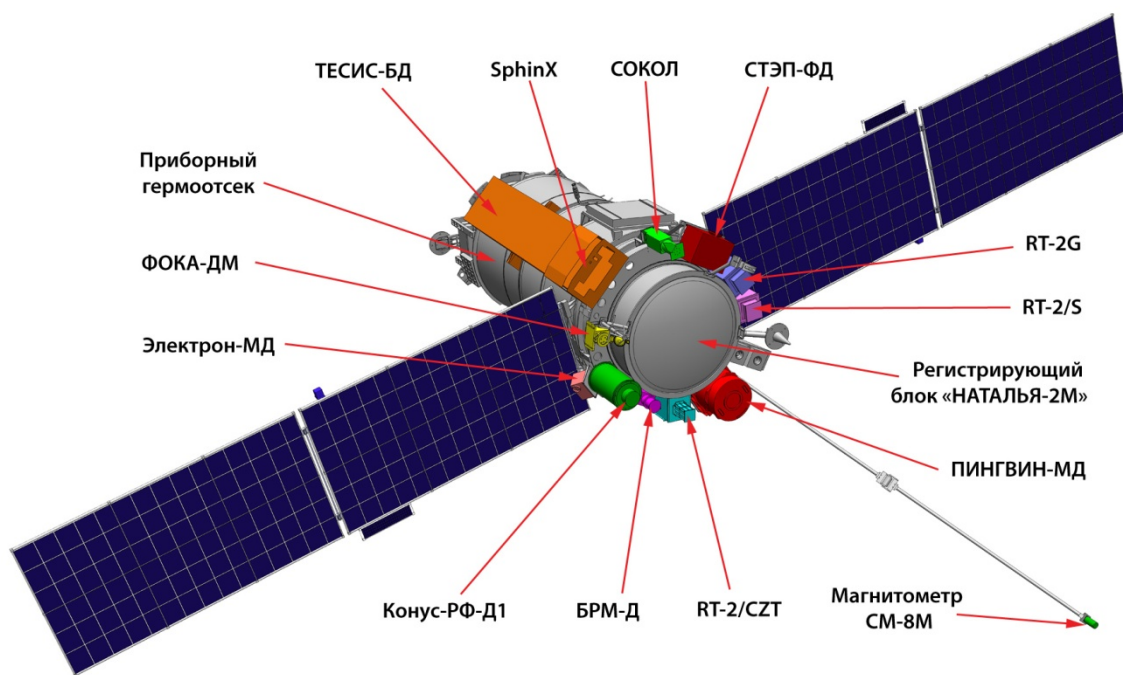


Рис.1 Расположение научных приборов на спутнике «КОРОНАС-ФОТОН»

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА (КА)

Вес КА, кг	1900
Вес комплекса научной аппаратуры, кг	540
Параметры орбиты:	
• тип	круговая
• высота, км	500
• наклонение, град.	82,5
Точность ориентации продольной оси КА на Солнце, угл. мин.	лучше 5
Точность определения ориентации продольной оси КА на Солнце, угл. мин.	3

Стабилизация угловых скоростей КА, град./с	не более 0,005
Точность определения местоположения КА на орбите:	
♦ вдоль орбиты, м	±1000
♦ по высоте и в боковом направлении, м	±500
Объем запоминаемой научной информации за сутки, Гбит	8,2
Объем информации, передаваемой за один сеанс связи, Мбит	2048

Состав научной аппаратуры

Наименование аппаратуры	Характеристики, регистрируемое излучение	Организация-разработчик
Гамма-излучение и нейтроны		
Спектрометр высоко-энергичных излучений «НАТАЛЬЯ-2М»	- Гамма-гамма-спектроскопия 0,2 – 2000 МэВ; - Нейтроны 20 – 300 МэВ	<i>МИФИ, г. Москва, Россия</i> Евгений Э. Лупарь [EELupar@mephi.ru]
Телескоп низкоэнергичного гамма-излучения RT-2	- Жесткое рентгеновское излучение 10 – 150 кэВ в фосвич-моде; - Гамма-излучение 0,10 – 1 МэВ в спектрометрической моде. - Построение изображения вспышки в диапазоне жесткого рентгена.	<i>ТИФР, г.Мумбай, Индия</i> А. Раяу Рао [arrao@mailhost.tifr.res.in] <i>Индийский центр космической физики, Калькутта, Индия</i> Сандип К. Чакрабарты [chakraba@bose.res.in] <i>МИФИ, г.Москва, Россия</i> Андрей И. Архангельский [angel1966@list.ru]
Поляриметр-спектрометр жесткого рентгеновского излучения «ПИНГВИН-М»	- Мониторинг мягкого рентгеновского излучения 2 – 20 кэВ - Рентгеновское излучение 20–150 кэВ, измерение линейной поляризации; - Рентген и гамма-спектрометрия 0,015 – 5 МэВ;	<i>МИФИ, г.Москва, Россия;</i> Александр С. Гляненько [asgl2005@rambler.ru] <i>ФТИ РАН им. А.Ф. Иоффе, г.Санкт-Петербург, Россия</i> Михаил В. Савченко [mikhail.savchenko@pop.ioffe.rssi.ru]
Рентгеновский и гамма-спектрометр «КОНУС-РФ»	Электромагнитное излучение солнечных вспышек и космических гамма-всплесков с энергией 10 кэВ – 12 МэВ с высоким временным разрешением	<i>ФТИ РАН, Ст.-Петербург, Россия</i> Рафаил Л. Аптекарь [aptekar@mail.ioffe.ru] Евгений П. Мазец [mazets@mail.ioffe.ru]
Рентгеновское излучение		
Быстрый рентгеновский монитор БРМ	Жесткое рентгеновское излучение 20 – 600кэВ в шести каналах с временным разрешением до 2–3мс	<i>МИФИ, Москва, Россия</i> Юрий А. Трофимов [yutrofimov@gmail.com]
Быстрый рентгеновский фотометр SphinX	Измерения с высоким временным разрешением (0,01с) солнечного спектра спокойной и возмущенной солнечной короны в диапазоне 0,5 – 15кэВ	<i>Центр космических исследований ПАН, Вроцлав, Польша,</i> Януш Сильвестер [js@cbk.pan.wroc.pl]
Многоканальный монитор ультрафиолетового излучения ФОКА	- Жесткое ультрафиолетовое излучение 1 – 130 нм в 6-ти спектральных окнах; - Оккультационные измерения поглощения УФ-излучения в атмосфере Земли на высотах 150–500 км	<i>МИФИ, Москва, Россия;</i> Алексей В. Кочемасов [kochemasov@rambler.ru]
Телескоп солнечный/изображающий спектрометр	Телескоп в линии MgXII (8,42А) Спектрогелиометр 280-330А	<i>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), г. Москва, Россия</i>

ТЕСИС	Телескопы 130-136А и 290-320А Коронаграф 29-32 нм, изображение короны до 4-х радиусов Солнца Спектр в мягком рентгене 0,5-15кэВ	Сергей В. Кузин [kuzin@sci.lebedev.ru]
Многоканальный фотометр СОКОЛ	Флуктуации интенсивности оптического излучения Солнца одновременно в 7-ми спектраль- ных каналах в диапазоне 280 - 1500 нм; поле зрения 2°	<i>ИЗМИРАН, Троицк, Москва, Россия</i> Николай И. Лебедев [lebedev@izmiran.rssi.ru]
Космические лучи		
Анализатор заряженных частиц «ЭЛЕКТРОН-М- ПЕСКА»	Регистрация потоков и энергетических спектров: - протоны 1 – 20 МэВ; - электроны 0,2 – 2 МэВ; - ядра ($Z < 26$) 2 - 50 МэВ/нуклон	<i>НИИЯФ МГУ, Москва, Россия;</i> Владимир В. Коллегаев [klg@dec1.sinp.msu.ru]
Телескоп электронов и протонов СТЭП-Ф	Регистрация потоков и спектров: - электроны 0,4 – 14,3 МэВ; - протоны 9,8 – 61,0 МэВ - α -частицы 37,0 – 246,0 МэВ с измерением направлений прихода частиц с точностью 8° – 10°	<i>Харьковский национальный университет (ХНУ) им. В.Н. Каразина, Украина</i> [Oleksiy.V.Dudnik@univer.kharko v.ua]
Вспомогательные инструменты		
Магнетометр СМ-8М	Измерение на орбите спутника трех компонент постоянного магнитного поля в диапазоне от -55μТ до +55 μТ.	<i>МИФИ г.Москва, Россия</i> В.Н.Юров [VNYurov@mephi.ru] <i>Геологоразведка, г. Ст- Петербург, Россия</i>



Рис.2
Комплекс детекторов научной
аппаратуры на
тепловакуумных испытаниях в
НИИЭМ под экранно-
вакуумной теплоизоляцией.

Спектрометр высокоэнергичных излучений «НАТАЛЬЯ-2М»

Ю.Д.Котов¹, В.Н.Юров¹, В.Т.Самойленко¹, А.С.Гляненко¹, А.И.Архангельский¹,
Е.Э.Лупарь¹, И.В.Рубцов¹, В.Г.Тышкевич¹, В.В.Кадилин¹, К.Ф.Власик¹, П.Ю.Чистяков²

¹Московский инженерно-физический институт, Россия

²ООО «Скинер», Москва, Россия

Научные задачи эксперимента:

- исследование физических механизмов и условий ускорения электронов, протонов и ядер на различных фазах развития солнечных вспышек, а также определение физических параметров областей удержания (распространения) ускоренных частиц.

Цели эксперимента:

- изучение эволюции во времени энергетических спектров жесткого электромагнитного излучения в широком энергетическом диапазоне от 0,3 МэВ до 2 ГэВ;
- регистрация нейтронов солнечного происхождения с энергиями 20 – 300 МэВ.

Основные характеристики

Канал	Энергетический диапазон, МэВ	Эффективная площадь, см ²	Энергетическое разрешение, $\Delta E/E$	Временное разрешение
<i>Рентген и гамма-излучение</i>				
R (Roentgen)	0,2 – 2,5	920	10% (662 кэВ) изм.	1 мс
L (low gamma)	1 – 20	900	5% (2,5 МэВ) изм.	1 с
M (medium gamma)	7 – 200	800	6% (10 МэВ) расч.	1 с
H (high gamma)	50 – 2000	750	32% (500 МэВ) расч.	1 с
<i>Нейтроны</i>				
N (neutrons)	20 – 300	37 – 120	–	32 с

Прибор «НАТАЛЬЯ-2М» состоит из регистрирующего блока, систем обработки и вывода информации и высоковольтного блока питания.

В регистрирующий блок прибора «НАТАЛЬЯ-2М» входят два спектрометра, содержащие по восемь сцинтилляционных модулей с кристаллами CsI(Tl), и защитные сцинтилляционные детекторы из полистирола (см. рис.3). Верхний спектрометр окружен антисовпадательной защитой, состоящей из колпака и плоского счетчика толщиной 1,5см. Все сцинтилляционные модули спектрометров одинаковы и представляют собой блоки на основе кристаллов CsI(Tl) размером 4,5×8×36 см. Блоки образуют два слоя (по четыре штуки в каждом), соседние слои повернуты относительно друг друга на 90°

Каждый блок просматривается двумя фотоумножителями с противоположных сторон. Все измерительные каналы спектрометров при эксплуатации стабилизируются подачей сигналов от эталонного светового источника через волоконные световоды. Выходные сигналы с противоположных предусилителей каждого блока суммируются. В лабораторных условиях система стабилизации обеспечивает поддержание заданного усиления канала ФЭУ/электроника не хуже 1,5% в широких диапазонах изменения температуры, напряжения питания, величины магнитного поля и загрузки спектрометра.

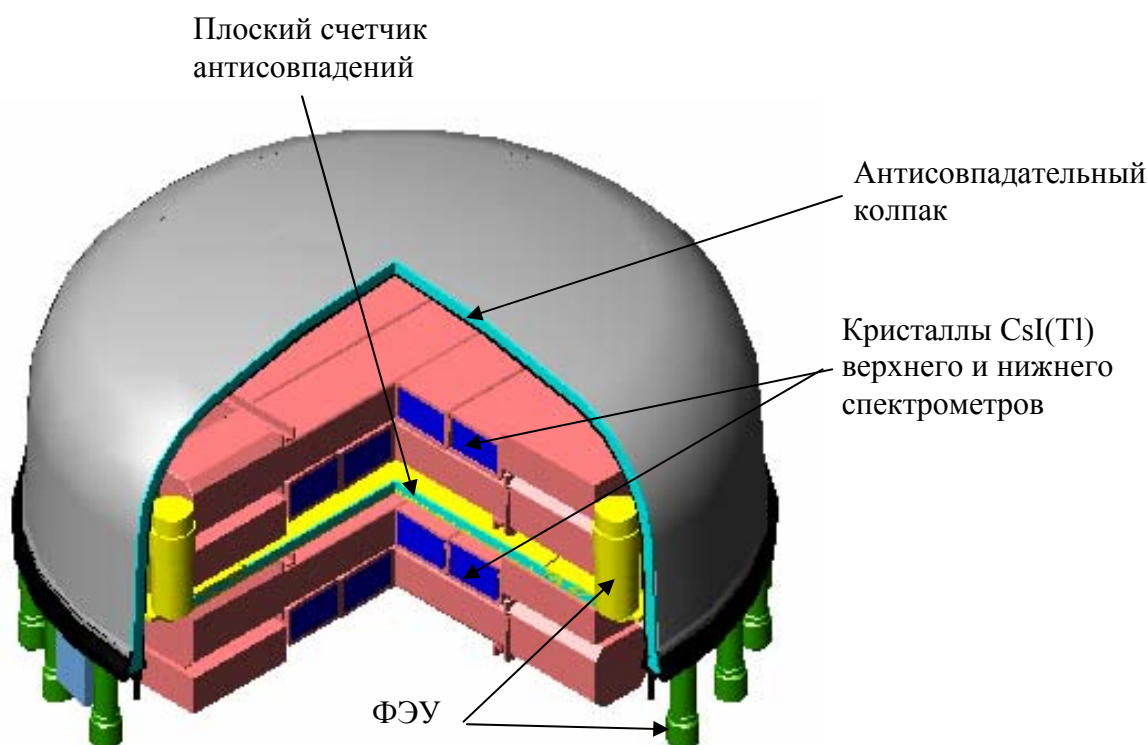


Рис3. Блок схема регистрирующего блока спектрометра высокоэнергичных излучений «НАТАЛЬЯ-2М»

Неоднородность величины сигнала для различных положений р/а источника составляет около 2%. Измеренное на р/а источниках и оцененное моделированием энергетическое разрешение для широкого параллельного пучка гамма-квантов составляет 10,0% (при $E = 0,662$ МэВ); 6,0% (10 МэВ) и 32% (500 МэВ).

Разделение "гамма" и "нейтронных" событий осуществляется в верхнем спектрометре на основе анализа сцинтилляционного сигнала. Коэффициент n/γ -разделения около 10^3 .

Прибор работает в трех режимах: фоновый, «вспышка», «всплеск».

Общий вес прибора «НАТАЛЬЯ-2М» примерно 260 кг.

Телескоп низкоэнергичного гамма-излучения RT-2

А.Р.Рао¹, С.К.Чакрабати⁴, Дж.П.Малкар¹, С.Срикумар², М.К.Хингар¹, А.Нанди⁴, Ю.Д.Котов⁵, А.И.Архангельский⁵, В.Н.Юров⁵, Р.Ф.Зятьков⁵

¹ ТАТА институт фундаментальных исследований (TIFR), Мумбай (Бомбей), Индия

² Индийская организация по космическим исследованиям, Индия

³ Центр космической физики, Калькутта, Индия

⁴ Национальный центр фундаментальной науки им. С.Р. Бозе

⁵ Московский инженерно-физический институт, Россия

Научные задачи эксперимента:

- исследование рентгеновского и гамма-излучения Солнца и других космических источников: галактических и внегалактических рентгеновских источников, ядер активных галактик, гамма-всплесков, жесткого рентгеновского диффузного фона.

Цели эксперимента:

- регистрация временных профилей солнечного рентгеновского излучения в энергетическом диапазоне 15кэВ – 1,0МэВ с временным разрешением 0,1сек;
- спектрометрия солнечного рентгеновского и гамма-излучения в энергетическом диапазоне 10кэВ – 1МэВ;
- получение изображений солнечных вспышек в жестком рентгеновском диапазоне с использованием полупроводникового детектора на основе CdZnTe и CMOS матрицы с нанесенным на неё сцинтиллятором GdOS.

Принцип работы детекторов:

RT-2 включает в себя три детекторных блока RT-2/S, RT-2/G, RT-2/CZT и блок электроники RT-2/E. Детекторные блоки располагаются вне гермоотсека спутника. Блок электроники располагается в гермоотсеке.

В блоках RT-2/S и RT-2/G используются одинаковые составные сцинтилляционные детекторы (фосвич-детекторы). Солнечное излучение через коллиматор попадает на композицию сцинтилляторов 3мм NaI(Tl)/25мм CsI(Na) с одинаковым диаметром 11,7см, просматриваемых одним ФЭУ (фосвич-детектор). Рентгеновские фотоны поглощаются в основном в NaI(Tl), гамма-кванты могут взаимодействовать в любом из них, а также выделить энергию одновременно в обоих. Сигналы с ФЭУ поступают в блок электроники, где по анализу формы сигнала выделяются события с энерговыделением только в NaI(Tl). Фоновое излучение в фосвич-модуле может быть идентифицировано по взаимодействию излучения с кристаллом CsI(Na).

Сцинтилляционные детекторы работают параллельно в двух энергетических диапазонах: 15–150кэВ (в фосвич-модуле) и 0,27–1МэВ (в спектрометрическом модуле по измерению полного сигнала от обоих сцинтилляторов). Фосвич-детекторы окружены пассивной защитой. Углы зрения определяются коллиматорами из тантала толщиной 0.2мм. Для коллимированного излучения детекторы RT-2/S и RT-2/G имеют углы зрения: 4×4 и 6×6 градусов соответственно.

Калибровки детекторов проводятся на орбите с использованием маломощного радиоактивного источника ^{57}Co .

В блоке RT-2/CZT расположено два детектора жесткого рентгеновского излучения. В одном из них использован полупроводник кадмий - цинк - теллур (CdZnTe или, иначе, CZT), который обладает высокой тормозной способностью, низким тепловым шумом, работоспособностью при температуре, близкой к комнатной (-10 + 10°C), а также высокой эффективностью регистрации для жесткого рентгеновского диапазона. Эффективная площадь детектора CZT равна 48см², что достигается использованием трех модулей CZT размером 40×40мм. Каждый модуль CZT представляет собой матрицу элементов размером 2.5х2.5мм (5мм толщиной) каждый.

Над CZT-детектором на расстоянии 40см расположен коллиматор в виде кодированной апертурной маски со случайным расположением поглощающих элементов (КАМ). Размер КАМ 24см², толщина 0,5мм, материал – тантал. Размер каждого элемента 2.5х2.5мм.

Оцененное угловое разрешение композиции CZT для слабых вспышек составляет 30 угловых минут, для мощных вспышек может быть улучшено обработкой вплоть до 2 угловых минут.

Другой детектор блока RT-2/CZT выполнен из сцинтиллятора GdOS размером 25х50мм и толщиной 3мм, находящемся в оптическом контакте с CMOS матрицей с эффективным размером пикселей 100х100мкм. Над GdOS/CMOS детектором на расстоянии 40 см установлен коллиматор в виде двух пластин Френеля, которые изготовлены из вольфрама толщиной 1мм, обеспечивающие модуляцию излучения вплоть до 100кэВ. Для наиболее мощных вспышек при их простой пространственной структуре угловое разрешение может достигать 5 угловых секунд.

Основные характеристики

Параметр	Сцинтилляционный детектор		ППД CdZnTe	GdOS/CMOS
	Режим			
	фосвич	Мониторинг CsI(Tl)		
Энергетический диапазон	15 – 150 кэВ	0,27 – 1 МэВ	10 – 100 кэВ	15-200 кэВ
Эффективная площадь, см ²	100	100	48	4,5
Энергетическое разрешение	<25% (60кэВ)	<25% (662 кэВ)	8% (60 кэВ)	Пороговый режим работы

Время накопления данных детекторами во вспышечной и мониторинжной модах			
	Фосвич	CZT	GdOS/CMOS
Время накопления (мониторинг)	1с временной ход 100с спектры	1с временной ход 100с спектры	100с изображение
Время накопления (вспышечная мода)	0.1с временной ход 10с спектры	1с временной ход 100с спектры	100с изображение
Примечание: Энергетические спектры в 512 каналах; В диапазоне 0,27–1МэВ используется 256 каналов			
Временной ход и изображения в CZT детекторе измеряется в четырех каналах (<40кэВ; 40–60кэВ; 60–100кэВ; >100кэВ); границы каналов могут изменяться командами.			

Бортовая память прибора составляет 10 Мбит при одной или двух передачах телеметрических данных на Землю.

Общий вес прибора RT-2 – 44кг, потребление 20вт.

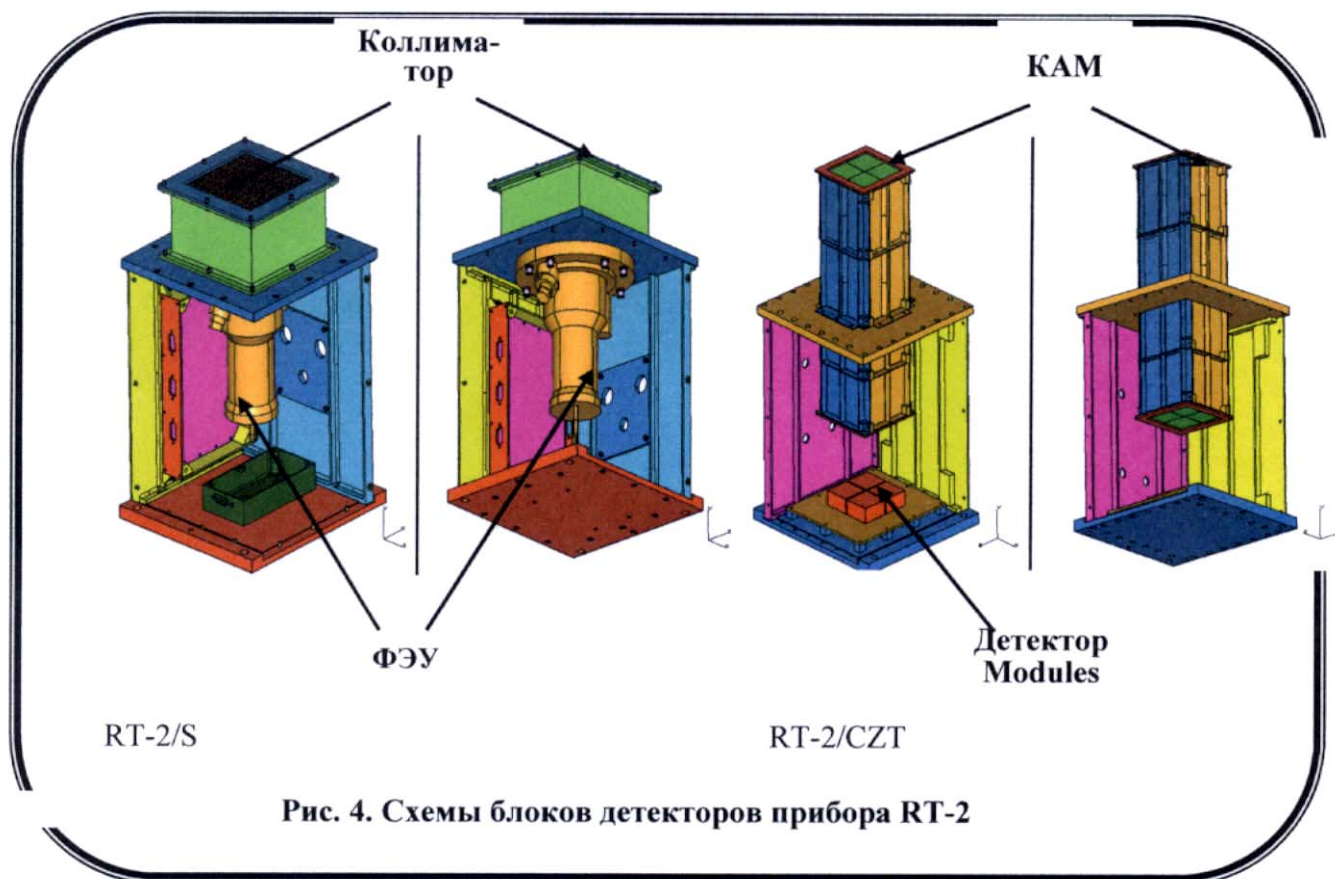


Рис. 4. Схемы блоков детекторов прибора RT-2

Поляриметр жесткого рентгеновского излучения «ПИНГВИН-М»

Ю.Д. Котов¹, В.А. Дергачев², В.Н. Юров¹, А.С. Глянченко¹, А.И. Архангельский¹, Е.М. Круглов², В.П. Лазутков², Г.А. Матвеев², Г.А. Пятигорский², М.И. Савченко², В.В. Хмылко², Д.В. Скородумов², Ю.А. Чичикалюк², И.И. Шишов²

¹Московский инженерно-физический институт, Россия

²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Научные задачи эксперимента:

- исследование процессов накопления магнитной энергии и ее трансформации в энергию ускоренных частиц и излучений во время солнечных вспышек;
- изучение динамики процессов энерговыделения в слабых вспышках.

Цели эксперимента:

- измерение параметров линейной поляризации жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек в энергетическом диапазоне 20 – 150 кэВ;
- рентгеновская и гамма-спектроскопия солнечных вспышек в энергетическом диапазоне 15 – 500 кэВ;
- мониторинг мягкого рентгеновского излучения Солнца в диапазоне 2 – 20 кэВ.

Основные характеристики:

Прибор «ПИНГВИН-М» позволяет измерять:

- 1) степень линейной поляризации рентгеновского излучения в диапазоне 20 – 150 кэВ;

- 2) спектры излучения солнечных вспышек в диапазоне 15 – 500 кэВ (96 энергетических каналов);
 - 3) спектры мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 2 – 20 кэВ (12 каналов), в т.ч. в слабых ("тепловых") вспышках и на предвспышечной стадии.
- Прибор работает в двух режимах: «ПАТРУЛЬ» и «ВСПЛЕСК».

Состав и принцип работы:

Блок детекторов «ПИНГВИН-МД» (разрабатывается ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН) совместно с блоком электроники «ПИНГВИН-МЭ» (разрабатывается МИФИ) составляют научную аппаратуру «ПИНГВИН-М».

Блок «ПИНГВИН-МД» создан на основе сцинтилляционных и пропорциональных счетчиков. Связь блока «ПИНГВИН-МД» с бортовыми системами КА и ССРНИ осуществляется через блок «ПИНГВИН-МЭ».

В состав блока детекторов входят пять основных элементов (см. схему).

1) Детектор-рассеиватель жесткого рентгеновского излучения – сборка в виде диска из 4-х секторов – кристаллов паратерфенила с приклеенными ФЭУ, включающими делители напряжения, предусилители и источники высоковольтного питания (ИВП).

2) Шесть детекторов рассеянного и прямого рентгеновского и гамма-излучения, собранных в правильный шестигранник вокруг рассеивателя. Каждый детектор содержит кристалл NaI(Tl), защиту от фона заряженных частиц по схеме "фосвич" и сборку ФЭУ.

3) Верхний антиэкраный детектор – диск из пластического сцинтиллятора с ФЭУ.

4) Нижний антиэкраный детектор в виде стакана из пластического сцинтиллятора с двумя ФЭУ, охватывающий детектор-рассеиватель снизу и по боковой поверхности.

5) Две сборки детекторов мягкого рентгеновского излучения – пропорциональные счетчики, предусилители, ИВП и блок аналого-цифровой обработки сигналов.

Степень линейной поляризации и позиционный угол плоскости поляризации жесткого рентгеновского излучения измеряются по асимметрии комптоновского рассеяния в случае поляризации падающего потока. Для этого используются детекторы-рассеиватели на основе паратерфенила, регистрирующие электроны отдачи при комптоновском рассеянии (методом совпадений), и детекторы из NaI(Tl) для регистрации рассеянного излучения.

В диапазоне энергий 20 – 500 кэВ регистрируется излучение, падающее на торцевые поверхности детекторов рассеянного излучения (в антисовпадении с импульсами от детектора-рассеивателя). В диапазоне 20 – 150 кэВ излучение регистрируется детектором-рассеивателем (в антисовпадении с импульсами от детекторов рассеянного излучения).

Спектры мягкого рентгеновского излучения в интервале 2 – 20 кэВ регистрируются двумя взаимозаменяемыми пропорциональными счетчиками с бериллиевыми входными окнами и наполнением чистым ксеноном. Ширина энергетических каналов меняется от 0,2 кэВ до ~ 2 кэВ с ростом энергии квантов.

Для защиты от фона заряженных частиц и повышения стабильности работы используются верхний и нижний антисовпадательные детекторы (антиэкраны). Эффективность регистрации фона всеми антиэкранами – не хуже 0,999.

Системы стабилизации энергетической шкалы детекторов и контроля симметрии поляриметра позволяют поддерживать стабильность на уровне 1%.

Общий вес прибора «ПИНГВИН-М» составляет 43 кг, вес блока детекторов – 35 кг.

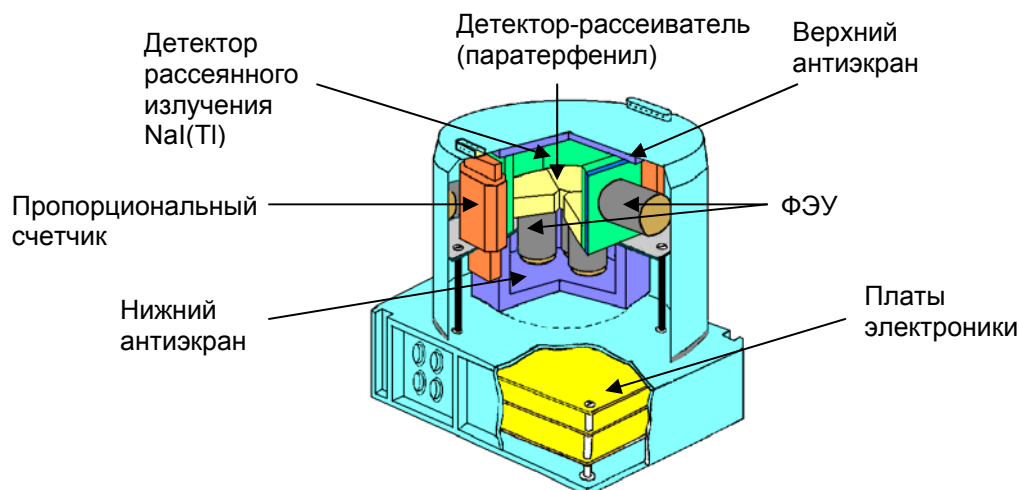


Рис. 5. Конструкция блока детекторов «ПИНГВИН-МД»

Спектрометр рентгеновского и гамма-излучения «КОНУС-РФ»

Е.П. Мазец, Р.Л. Аптекарь, С.В. Голенецкий, В.Н. Ильинский, Ф.П. Олейник, Д.Д. Фредерикс, А.А. Кокомов, М.В. Уланов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Научные задачи эксперимента:

- исследование рентгеновского и гамма-излучения Солнца;
- исследование космических гамма-всплесков.

Цели эксперимента:

- постоянный мониторинг вспышек жесткого рентгеновского излучения Солнца и космических гамма-всплесков, а также поиск необычных транзиентных явлений в рентгеновских и гамма-лучах по данным непрерывного обзора небесной сферы;
- исследование временной истории и спектральной эволюции солнечных рентгеновских вспышек с высоким временным разрешением от 2мс;
- поиск и исследование гамма-излучения солнечных вспышек, включая эмиссию в ядерных линиях;
- изучение временной структуры гамма-всплесков, их энергетических спектров и закономерностей быстрой спектральной эволюции;
- детальное изучение радиационной фоновой обстановки на орбитах КА и ее вариаций с целью обнаружения других космических транзиентов, а также постоянных дискретных источников при их покрытии Землей.

В целях локализации источников космических гамма-всплесков предполагается включить КА «КОРОНАС-ФОТОН» в международную межпланетную сеть IPN зарубежных и отечественных космических аппаратов, осуществляющих такую локализацию триангуляционным методом.

Основные характеристики

В научной аппаратуре «КОНУС-РФ» используется сцинтилляционный метод регистрации излучений в сочетании с микропроцессорной обработкой спектральной и временной информации, поступающей от детектора. Измерения ведутся в широкой энергетической области от 10кэВ до 12МэВ. Временное разрешение при измерениях автоматически адаптируется к текущему уровню интенсивности излучения в зависимости от задачи наблюдений и охватываемой области энергий. Оно может меняться в пределах от 2мс до минут, что обеспечивает достаточную статистическую точность информации, накапливаемой за эти интервалы времени.

Прибор содержит два детекторных блока и отдельный электронный блок, в котором размещены источник питания и интерфейс связи со служебными системами космического аппарата.

Ось поля зрения первого детектора «КОНУС-РФ-Д1» направлена на Солнце. Второй детектор «КОНУС-РФ-Д2» ориентирован в антисолнечном направлении. Поле зрения каждого детектора – 2π стерадиан. В детекторах используются идентичные кристаллы NaI(Tl) диаметром 127 мм и высотой 76,2 мм. Сцинтиллятор помещен в тонкостенный алюминиевый контейнер с входным торцевым окном из бериллия. Кристалл просматривается фотоумножителем через толстое свинцовое стекло высокой прозрачности, что позволяет снизить интенсивность фона излучения, поступающего со стороны КА. Энергетическое разрешение детекторов на линии 662 кэВ составляет 8%.

Функции отклика для обоих детекторов в интервале энергий 10кэВ – 10МэВ для углов падения 0–90° рассчитаны методом численного моделирования с использованием программы GEANT и подтверждены для ряда монохроматических линий лабораторными калибровками.

Программа работы прибора предусматривает два основных режима наблюдений.

1. Непрерывный фоновый режим.
2. Режим вспышки.

В фоновом режиме непрерывно ведутся измерения интенсивности излучения в ряде энергетических окон (8 – 12), на которые разбит энергетический диапазон 10кэВ – 12МэВ. Временное разрешение составляет 1 – 2с. Это позволяет контролировать, хотя и с низким спектральным разрешением, общую картину и вариации рентгеновского и гамма-излучения на околоземной орбите и выяснить причины их появления. С помощью ориентированного на Солнце детектора также проводятся измерения многоканальных энергетических спектров в области 200кэВ – 8МэВ со временем накопления от одной до нескольких минут.

При обнаружении солнечной вспышки или гамма-всплеска прибор переходит в режим их подробного изучения с предельным спектральным и адаптированным к уровню интенсивности временным разрешением. Продолжительность такого режима измерений может достигать 8-ми минут для солнечных вспышек и 4-х минут для гамма-всплесков.

Два детектора образуют два независимых цифровых источника. Непосредственные программы измерений (число и границы энергетических окон, число каналов в спектрах, уровни адаптации) содержатся в ПЗУ прибора.

Информативность прибора при полной реализации его возможностей составляет 10 – 12Мбайт в сутки. Суммарная потребляемая мощность ~ 10 Вт. Вес прибора «КОНУС-РФ» около 32 кг.

Быстрый рентгеновский монитор БРМ

Е.В. Федоровых, Ю.Д. Котов, В.Н. Юров, А.И.Архангельский, А.С. Гляненько, М.Ю.Запорожцев

Московский инженерно-физический институт (государственный университет), Россия

Научные задачи эксперимента:

- исследование процессов накопления магнитной энергии и ее трансформации в энергию ускоренных частиц и излучений во время солнечных вспышек;
- изучение динамики процессов энерговыделения в слабых вспышках.

Цели эксперимента:

- быстрый мониторинг жесткого рентгеновского излучения Солнца в энергетическом диапазоне 20 – 600 кэВ с временным разрешением до 2 – 3 мс;
- определение временного профиля вспышек рентгеновского излучения на Солнце в шести поддиапазонах энергии.

Основные характеристики

В основе прибора используется быстрый сцинтилляционный детектор на основе алюмоиттриевого перовскита, активированного церием $\text{YAlO}_3(\text{Ce})$. Основные параметры: время высвечивания – 28нс; плотность – 5,35г/см³; максимальная длина волны в испускаемом спектре – 347нм. Кристалл имеет форму цилиндра с размерами: высота 10мм, диаметр 70мм. БРМ регистрирует излучение в шести дифференциальных и двух интегральных каналах в диапазоне энергий 20 – 600 кэВ.

Номер канала	Диапазон, кэВ	Эффективная площадь, см ²	Временное разрешение
1	20 – 30	20	до 2 – 3 мс
2	30 – 40	20	
3	40 – 50	20	
4	50 – 70	20	
5	70 – 130	20	
6	130 – 600	15	
7	20 – 600	15	
8	> 600	20	

Прибор состоит из блока детекторов БРМ-Д, который устанавливается вне гермоотсека и блока электроники БРМ-ЭМ, расположенного в гермоотсеке.

Принцип работы

Для уменьшения фона перед кристаллом установлен коллиматор с углом зрения 6° . Измерительный канал стабилизируется с помощью импульсов от прецизионного светового источника (светодиода), установленного в коллиматоре перед кристаллом. Время реакции системы стабилизации 1с. Система стабилизации регулирует напряжение питания ФЭУ, что позволяет устранить, в частности, влияние выходных характеристик ФЭУ во время больших нагрузок детектора. Сигналы с ФЭУ разделяются по амплитуде на шесть каналов, соответствующих энергетическим диапазонам, указанным в таблице, и поступают в блок электроники БРМ-ЭМ для дальнейшей обработки. В блоке БРМ-Д предусмотрены также два интегральных канала для гамма-излучения.

Масса всего прибора БРМ 19,5 кг, масса блока детектора БРМ-Д 5,5 кг.

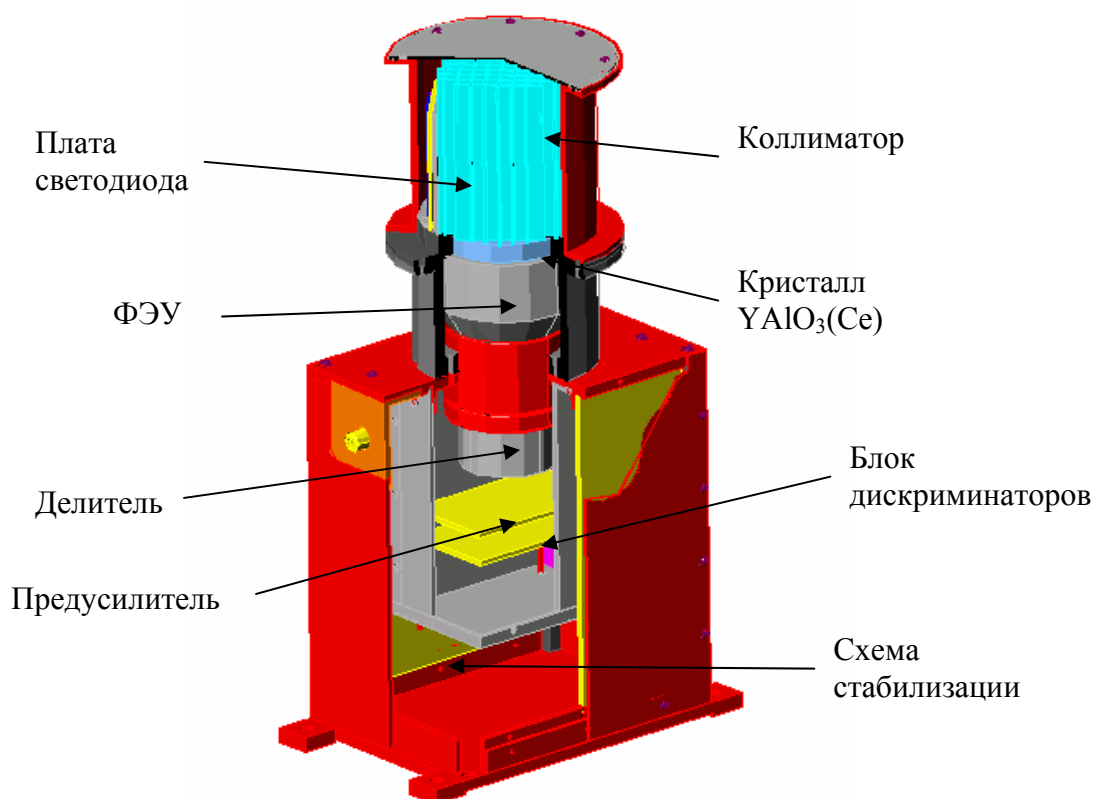


Рис. 6. Блок детекторов БРМ-Д

Многоканальный монитор ультрафиолетового излучения ФОКА

Ю.Д. Котов, А.В. Кочемасов, В.Н. Юров
Московский инженерно-физический институт, Россия

Научные задачи эксперимента:

- изучение механизмов возникновения и развития солнечных вспышек и вариаций солнечного излучения;
- изучение состояния верхних слоев атмосферы Земли.

Цели эксперимента:

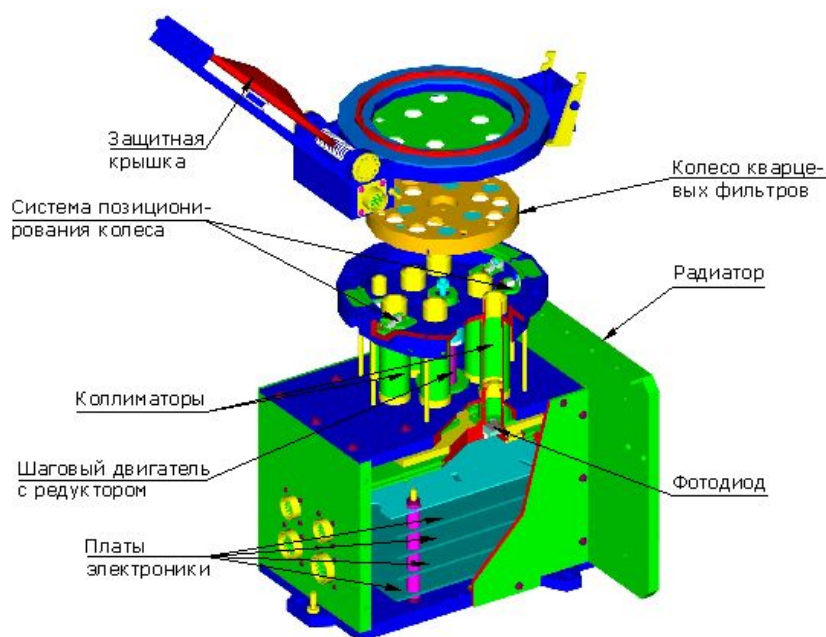
- мониторинг ультрафиолетового излучения Солнца в диапазонах длин волн: (1 – 11) нм; (27 – 37) нм; 121,6 нм;
- определение корреляции между потоками излучения в XUV/EUV-диапазоне и потоками излучения в других энергетических диапазонах;
- оккультационные измерения поглощения ультрафиолетового излучения Солнца в слоях атмосферы Земли с высотами от 150 до 500 км.

Основные характеристики:

Монитор ФОКА предназначен для измерения абсолютной интенсивности мягкого рентгеновского и вакуумного ультрафиолетового излучений диска Солнца с временным разрешением до 0,1с в трех парах спектральных окон в XUV/EUV-диапазоне и в одном – оптическом.

Во время оккультационной моды – наблюдения диска Солнца через земную атмосферу – сканирование верхних слоев атмосферы Земли позволит получить распределение температуры и плотности, уточнить теоретические и эмпирические модели термосферы и ионосферы.

Прибор ФОКА ориентирован на Солнце.



Основными частями прибора являются

- блок детекторов ФОКА-ДМ, расположенный на платформе научной аппаратуры спутника, ориентированной на Солнце (рис.7);
- блок электроники, находящийся в гермоотсеке спутника.

В детекторе имеется семь каналов регистрации излучения. Каждый канал содержит кремниевый фотодиод AXUV фирмы в сборке с коллиматором, предусилитель и

Рис. 7. Структурная схема прибора ФОКА преобразователь «напряжение-частота-код».

Спектральные диапазоны каналов №1, №4 №2, №5 определяются фильтрами, нанесенными непосредственно на поверхность диодов. Каналы №3 и №6 имеют внешние интерференционные фильтры. В канале №7 фильтр отсутствует.

Номер канала	Ширина спектрального диапазона, нм	Основные эмиссионные линии	Области возникновения
1	< 11		Корона
2	27 – 37	30,4 нм – HeII	Переходная область
3	121,6	Ly- α	Хромосфера
4	< 11		Корона

5	27 – 37	30,4 нм – HeII	Переходная область
6	121,6	Ly- α	Хромосфера
7	< 1100		Фотосфера

Точность измерения абсолютной интенсивности порядка нескольких процентов от полного потока. Для измерения вклада фонов каналы могут перекрываться полностью поглощающими или кварцевыми фильтрами. В каждой паре эквивалентных каналов один, основной, используется для постоянных измерений и один, резервный, для периодической калибровки основного. Подавляющую часть времени резервные каналы закрыты поглощающим корпусом детектора, что уменьшает деградацию этих каналов.

Масса блока детекторов ФОКА-ДМ составляет 3,3 кг.

Телескоп-спектрометр для изображающей рентгеновской спектроскопии Солнца **ТЕСИС**

С.В. Кузин, И.А. Житник, О.И. Бугаенко, А.П. Игнатьев, А.В. Митрофанов, С.А. Богачев,
А.А. Перцов, Ю.С. Иванов, С.В. Шестов, Н.К. Суходрев

Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия

- Исследование структуры и динамики солнечной короны и переходного слоя солнечной атмосферы в диапазоне температур 0.05-20 млн $^{\circ}\text{K}$.
- Мониторинг и регистрация исследования структуры и динамики солнечной короны и переходного слоя солнечной атмосферы в диапазоне температур 0.05-20 млн $^{\circ}\text{K}$.
- Мониторинг и регистрация солнечных вспышек. Исследование механизмов их возникновения и особенностей развития по анализу временных профилей и спектров вспышечного излучения и изменению структуры магнитных полей в области вспышек.
- Спектральная диагностика (определение плотности и температурного состава) горячей плазмы активных областей и областей вспышек.
- Исследование нестационарных явлений (выбросов корональной плазмы, эруптивных протуберанцев, транзиентных феноменов) в атмосфере Солнца и изучение их геомагнитной эффективности.
- Разработка методов раннего прогнозирования магнитных бурь и возмущений в земной магнитосфере.

Цели эксперимента:

- мониторинг солнечной активности с высоким временным (до секунды) и пространственным разрешением (1 – 2 угл. с);
- исследование рентгеновски-активных областей на Солнце и их эволюции (активные области, корональные дыры, яркие точки, вспышки, транзиенты и др.);
- наблюдение солнечной EUV-короны на расстоянии от 0,7 до 4 радиусов Солнца с высоким пространственным разрешением;

- диагностика солнечной плазмы по рентгеновским изображениям Солнца, получаемым одновременно в нескольких спектральных каналах;
- исследование влияния солнечной активности на верхнюю атмосферу Земли.

Основные характеристики:

ТЕСИС - это комплекс космических телескопов, разрабатываемый в Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца Физического института Российской Академии наук (ФИАН) для исследования структуры и динамики солнечной короны с пространственным разрешением до 2 угловых секунд и временным разрешением менее 30 секунд.

Прибор ТЕСИС состоит из блока датчиков ТЕСИС-БД, блока электроники ТЕСИС-БЭ и оптического датчика ТЕСИС-ОД, предназначенного для контроля по звездам текущей трехосной ориентации с точностью до 1'.

Габариты прибора: блок датчиков – 2200×500×300мм, блок электроники – 300×250×236мм, блок оптического датчика 450×200×150мм. Масса прибора ТЕСИС – не более 76кг.

Инструментальный состав:

Комплекс аппаратуры ТЕСИС включает 5 научных инструментов:

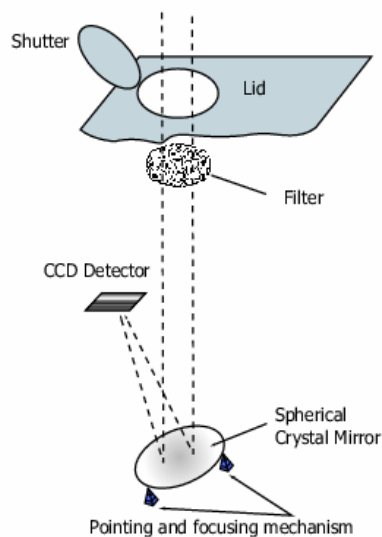
- Изображающий спектрогелиометр в линии MgXII 8.42 Å (MISH - MgXII Imaging Spectroheliometer)
- Спектрогелиометр крайнего ультрафиолетового диапазона (EUSH - EUV Spectroheliometer)
- Два телескопа крайнего ультрафиолетового диапазона (FET - the Full-disk EUV Telescopes)
- Корonoграф крайнего ультрафиолетового диапазона (SEC - the Solar EUV Coronagraph)
- Рентгеновский фотометр-спектрогелиометр СФИНКС (SphinX)

ИНСТРУМЕНТ	ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	ОПИСАНИЕ ИНСТРУМЕНТА	ДИАПАЗОН ДЛИН ВОЛН	ПОЛЕ ЗРЕНИЯ	УГЛОВОЕ РАЗРЕШЕНИЕ
MISH	Исследование пространственного распределения и динамики горячей солнечной плазмы в области температур около 10^7 К	Спектрогелиометр Брэгга со сферическим изогнутым кристаллическим зеркалом	Дублет линий водородоподобного иона MgXII 8.418 Å и 8.423 Å	1,15° (полный диск Солнца)	2" на пиксель
EUSH	Спектральная диагностика физических параметров (плотности и температуры) солнечной плазмы в области температур (0.05-20)· 10^6 К	Спектрогелиометр крайнего ультрафиолетового диапазона с дифракционной решеткой наклонного падения и фокусирующим многослойным	280-330 Å	1,24° (Полный диск Солнца сжатый вдоль оси дисперсии)	4.4" (перпендикулярно оси дисперсии) 1.5'(вдоль оси дисперсии)

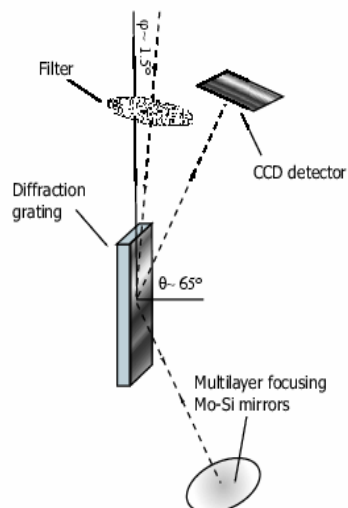
		параболическим зеркалом			
FET (телескоп 1)	Получение изображений Солнца с высоким пространственным и угловым разрешением в области температур около $15 \cdot 10^6$ °K	Телескоп системы Гершеля с многослойным параболическим фокусирующим зеркалом	130-136 Å	1,0° (полный диск Солнца)	1.7" на пиксель
FET (телескоп 2)	Получение изображений Солнца с высоким пространственным и угловым разрешением в области температур около $50 \cdot 10^6$ °K	Телескоп системы Гершеля с многослойным параболическим фокусирующим зеркалом	290-320 Å	1,0° (полный диск Солнца)	1.7" на пиксель
SEC	Исследование структуры и динамики корональных выбросов вещества на расстояниях до 4 солнечных радиусов	Корonoграф системы Ричи- Кретьена	290-320 Å	2,5° (внутренняя и внешняя корона на расстоянии от 0.7 до 4 солнечных радиусов)	5" на пиксель

Каждый из телескопов является автономным инструментом и способен работать независимо от других научных приборов, а также в комплексе с ними.

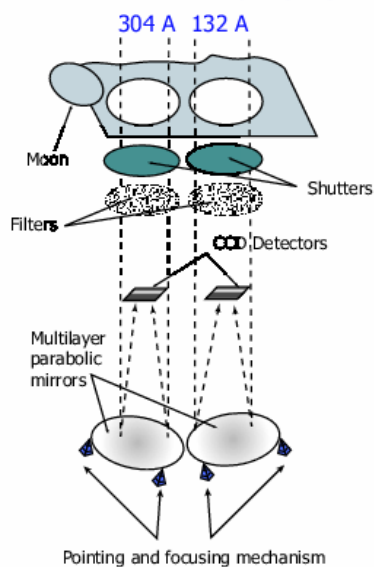
MgXII Imaging Spectroheliometer (MISH)



EUV Spectroheliometer (EUSH)



Full-disk EUV Telescopes (FET)



Solar EUV Coronagraph (SEC)

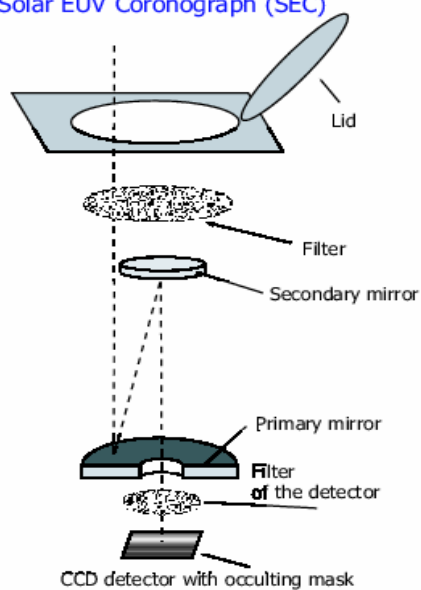


Рис. 8. Оптические схемы измерительных каналов телескопа ТЕСИС

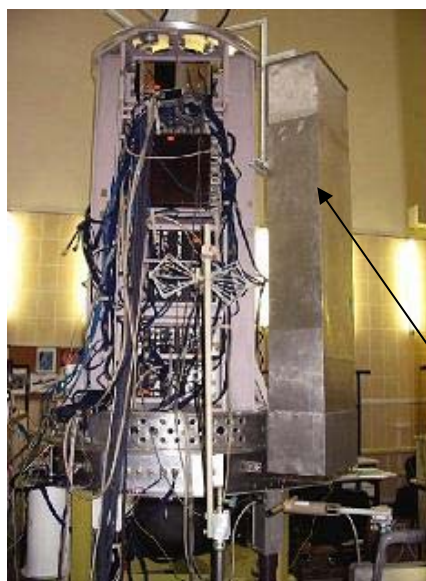


Рис. 9 Вид приборной фермы спутника с технологическими приборами во время комплексных испытаний в МИФИ

ТЕСИС

Многоканальный солнечный фотометр СОКОЛ

В.Д. Кузнецов, Ю.Д. Жугжда, Н.И. Лебедев, С.И. Болдырев, И.М. Копаев

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова
Российской академии наук, Троицк, Россия

Научные задачи эксперимента:

- изучение внутреннего строения Солнца методами гелиосейсмологии.

Цели эксперимента:

- долговременные непрерывные наблюдения вариаций интенсивности солнечного излучения в диапазоне длин волн 280 – 1500 нм;
- изучение на основе полученных из наблюдений спектров глобальных солнечных колебаний характеристик внутренних слоев Солнца;
- изучение зависимости параметров солнечных колебаний от уровня солнечной активности.

Основные характеристики

Солнечный фотометр СОКОЛ предназначен для измерения вариаций интенсивности излучения Солнца в семи оптических диапазонах от ближней ультрафиолетовой до инфракрасной областей спектра с целью определения характеристик глобальных солнечных колебаний.

Прибор состоит из одного блока, который устанавливается вне гермоотсека и ориентируется оптической осью на центр Солнца.

Номер диапазона	Центральная длина волны спектрального диапазона, нм	Ширина спектрального диапазона, нм
1	280	30
2	350	35
3	500	50
4	650	65
5	850	85
6	1100	110
7	1500	150

Принцип работы

Солнечное излучение, попадающее через оптическую схему на фотоприемники, создает в них фототоки, пропорциональные величине освещенности входных окон фотометра.



После преобразования фототоков в частоту сигнал, накопленный за время отдельного измерения, поступает в систему обработки информации прибора и затем в телеметрическую систему спутника. Время накопления сигнала составляет 1 секунду.

Фотометр наблюдает Солнце как звезду, что позволяет регистрировать солнечные колебания низких степеней ($l < 3$).

Относительная разрешающая способность по интенсивности составляет 10^{-6} от полной интенсивности излучения Солнца на временном интервале 30с. Поле зрения фотометра - 2° . Разрешающая способность датчика ориентации фотометра в направление на Солнце - 5 угловых секунд.

Габаритные размеры - 130x130x510 мм.

Масса - 5,2 кг. Энергопотребление – не более 10 Вт.

Рис. 10. Солнечный фотометр СОКОЛ

Анализатор заряженных частиц «ЭЛЕКТРОН-М-ПЕСКА»

М.И. Панасюк, Ю.И. Денисов

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына,
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Россия

Научные задачи эксперимента:

- исследование динамики области проникновения солнечных космических лучей (СКЛ) в магнитосферу Земли во время геомагнитных возмущений;
- исследование динамики потоков релятивистских электронов в магнитосфере Земли;
- изучение поведения электронов в области внутреннего радиационного пояса Земли.

Цели эксперимента:

- изучение энергетических спектров и потоков протонов, альфа-частиц и ядер группы C, N, O, ускоренных во время солнечных вспышек;
- регистрация потоков и построение спектров солнечных электронов в энергетическом диапазоне 0,2 – 4,0 МэВ;

- регистрация потоков и энергетических спектров протонов и ядер на орбите спутника.

Основные характеристики и состав

Регистрируемые характеристики	Энергетический диапазон
Спектры и потоки протонов	4 – 80 МэВ
Спектры и потоки электронов	0,2 – 4,0 МэВ
Потоки α -частиц	5 – 24 МэВ/нуклон
Потоки ядер C, N, O	6 – 15 МэВ/нуклон

Прибор рассчитан на регистрацию потоков до 5×10^7 частиц/см²·с·стер.

Прибор состоит из двух блоков: блок детекторов «ЭЛЕКТРОН-МД-ПЕСКА», блок электроники «ЭЛЕКТРОН-МЭ-ПЕСКА».

Основным элементом блока детекторов является телескоп – система из четырех полупроводниковых кремниевых детекторов, площадью $\sim 6\text{см}^2$ и толщиной 375мкм, расположенных друг за другом. (Вторая половина всех четырех детекторов составляет резервный телескоп). Для расширения энергетического диапазона регистрируемых частиц между детекторами расположены поглощающие фильтры.

Принцип работы:

Прибор «ЭЛЕКТРОН-М-ПЕСКА» представляет собой четырехэлементный полупроводниковый телескоп, предназначенный для регистрации электронов, протонов, альфа-частиц и ядер группы CNO в околоземном космическом пространстве методом «пробег – энерговыделение».

Прибор содержит два параллельных телескопа, состоящих из детекторов площадью $\sim 6\text{см}^2$. Все детекторы имеют толщину рабочей части 0,375мм и подложки 0,6мм. Первый детектор защищен алюминиевым фильтром толщиной 0,1мм. Второй детектор расположен непосредственно под первым. Между вторым и третьим детекторами расположен алюминиевый фильтр толщиной 4,5мм. Между третьим и четвертым детекторами расположен латунный фильтр толщиной 7мм.

Электроны регистрируются в первых трех детекторах в диапазоне энерговыделений 0,1 – 0,8 МэВ. Электроны регистрируются на фоне протонов с энергией $>80\text{МэВ}$. В первых двух детекторах протоны идентифицируются как частицы, выделяющие энергию $>2\text{МэВ}$. В третьем детекторе для регистрации протонов задан порог 1,5МэВ. В четвертом детекторе установлен порог для регистрации релятивистских частиц $\sim 0,1\text{МэВ}$. Вкладом потока электронов с энергией $>14\text{МэВ}$ в радиационных поясах и солнечных космических лучах по сравнению с потоком протонов с энергией $>80\text{МэВ}$ можно пренебречь. Потоки альфа-частиц регистрируются в первом и втором детекторах при энерговыделении $>12\text{МэВ}$. Потоки ядер группы CNO регистрируются в первом детекторе при энерговыделениях $>40\text{МэВ}$.

В зависимости от величины сигналов с детекторов использованная логика отбора позволяет выводить интенсивности счета в следующих каналах:

№ п/п	Регистрируемые частицы, МэВ	№ п/п	Регистрируемые частицы, МэВ
П1	$e - 0, 2 - 1,0$ МэВ	П6	$p - 16 - 28$ МэВ
П2	$p - 4 - 16$ МэВ	П7	$\alpha - 16 - 24$ МэВ/нуклон
П3	$\alpha - 5 - 16$ МэВ/нуклон	П8	$e - > 4,0$ МэВ
П4	Ядра группы CNO $6 - 15$ МэВ/нук	П9	$p - 41 - 55$ МэВ
П5	$e - 1,0 - 4,0$ МэВ	П10	$p - > 80$ МэВ

Размеры блоков прибора: «ЭЛЕКТРОН-МД-ПЕСКА» – $200 \times 186 \times 140$ мм, «ЭЛЕКТРОН-МЭ-ПЕСКА» – $258 \times 150 \times 150$ мм.

Массы блоков прибора: «ЭЛЕКТРОН-МД-ПЕСКА» - $2,2 \pm 0,2$ кг, «ЭЛЕКТРОН-МЭ-ПЕСКА» - $2,3 \pm 0,2$ кг.

Спутниковый телескоп электронов и протонов СТЭП-Ф

А.В. Дудник, В.К. Персиков

Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина, Украина

Научные задачи эксперимента:

- исследование динамики энергетических спектров и питч-угловых распределений высокоэнергичных электронов и протонов радиационных поясов Земли во время магнитосферных бурь и суббурь, в результате воздействия высокоскоростных потоков солнечного ветра на магнитосферу Земли;
- исследование волновых процессов и динамики высокоэнергетических частиц в магнитосфере Земли.

Цели эксперимента:

- определение высот преимущественного влияния электрической и магнитной компонент флуктуаций магнитного поля Земли на процесс радиальной диффузии частиц радиационных поясов;
- определение зависимости показателя степенного спектра в питч-угловых распределениях высыпавшихся электронов от величин D_{st} , K_p и AU -индексов, характеризующих магнитуду магнитосферной бури на различных широтах;
- поиск корреляционных взаимосвязей между радиовсплесками на разных частотах, регистрируемых на уровне поверхности Земли на средних широтах, и солнечной, магнито- и ионосферной активностью;
- исследование природы микровсплесков энергичных электронов под внешним радиационным поясом Земли;
- изучение взаимосвязи потоков захваченных и высыпавшихся частиц магнитосферного происхождения с протонными вспышками на Солнце и солнечными космическими лучами;

- проверка гипотезы о генетической связи потоков высыпавшихся энергичных электронов из радиационных поясов Земли и механизма генерации ВЧ радиовсплесков.

Основные характеристики и состав:

Прибор позволяет регистрировать потоки:

- электронов в диапазоне энергий 0,4 – 14,3 МэВ;
- протонов в диапазоне энергий 9,8 – 61,0 МэВ;
- альфа-частиц в диапазоне энергий 37,0 – 246,0 МэВ.

Прибор состоит из блока детекторов СТЭП-ФД, устанавливаемого вне гермоотсека космического аппарата, и блока обработки цифровой информации СТЭП-ФЭ. Блок детекторов содержит в себе два идентичных кремниевых позиционно-чувствительных матричных детектора, каждый размером 45×45мм и толщиной 350мкм, и два сцинтилляционных детектора на базе кристаллов CsI(Tl), просматриваемых фотодиодами большой площади. Поле зрения телескопа составляет 97×97°. Размер каждого из 36 квадратных элементов матрицы на полупроводниковом детекторе составляет 7,3×7,3 мм, что позволяет получить среднее угловое разрешение в общем поле зрения телескопа около 8°. Эффективные площади каждого из полупроводниковых детекторов – 20см², сцинтилляционных кристаллических детекторов – 36 и 49см². Геометрический фактор прибора составляет 20 см²·стер.

Масса прибора СТЭП-Ф составляет около 16 кг.

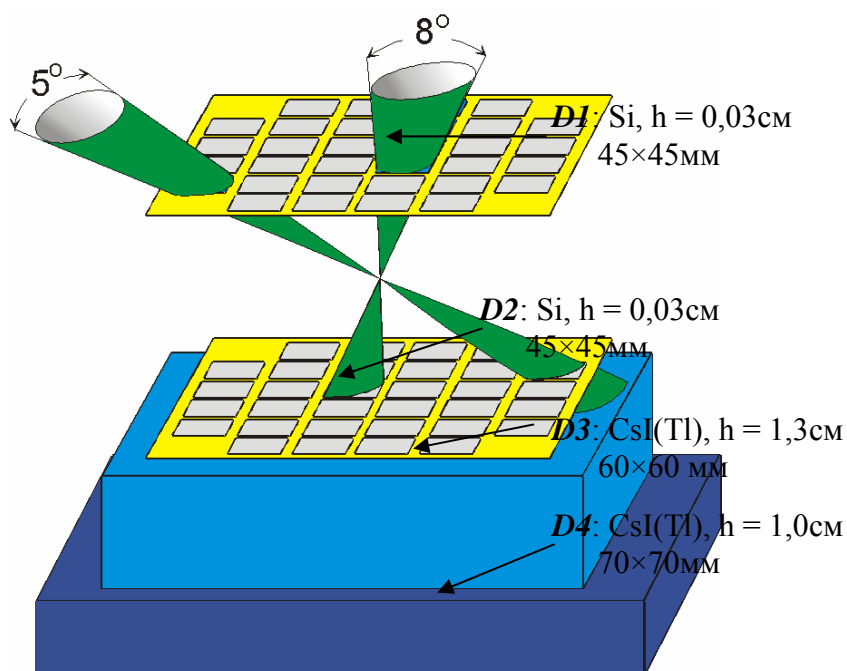


Рис.11. Схема блока детекторов СТЭП-ФД

D1, D2 – кремниевые позиционно-чувствительные полностью обедненные pin-детекторы;
D3, D4 – сцинтилляционные детекторы.

Магнитометр CM-8M

В.Ф. Боцкалев¹, В.А. Легков¹, К.Е. Чавчанидзе¹, В.Н. Юров²

¹ ФГУ НПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, Россия

² Московский инженерно-физический институт, Россия

Научные задачи эксперимента:

- Исследование корреляций потоков заряженных частиц на орбите спутника с возмущениями геомагнитного поля

Цели эксперимента:

- Мониторинг магнитного поля Земли
- Определение ориентации поперечных осей космического аппарата по магнитному полю Земли

Основные характеристики:

Параметр	Значение
Динамический диапазон измерений, нТл	-55000 ... +55000
Тип преобразователя	Феррозондовый, три ортогональных датчика
Разрешающая способность, нТл	150 – 300
Точность определения положения осей КА, угл. град.	2 – 3(в невозмущенном поле)
Калибровочное поле, нТл	10000 – 13000
Погрешность калибровочного сигнала по входу	$< \pm 1\%$ (± 100 нТл)
Вид выходного сигнала	Аналоговый
Потребляемая мощность, Вт	$< 2,0$
Конструкция	Датчики на штанге длиной 4м

Магнитное поле, создаваемое системами спутниками в месте нахождения датчиков, не более 250 нТл при включенной системе ориентации и 60 нТл при выключенной системе ориентации КА.

Блок управления и соединений БУС-ФМ

И.В. Козлов¹, А.Д. Новиков², А.Д. Рябова¹, Т.Л. Шпагина¹, Б.Т. Каримов¹, М.Н. Пустовалов², И.Е. Громкова²

¹Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия

²Открытое акционерное общество «Особое конструкторское бюро ААЛАМ», Бишкек, Кыргызстан

Назначение блока

Блок БУС-ФМ осуществляет связь научных приборов КНА «ФОТОН» со служебными системами космического аппарата (БАТС, СЭС и БКУ) и предназначен для:

- 1) приема от бортового управляющего комплекса (БКУ) функциональных команд управления режимами работы комплекса научной аппаратуры «ФОТОН», размножения, развязки и последующей выдачи их на научные приборы;
- 2) приема от системы энергоснабжения (СЭС) бортового питания, формирования разрешения (запрета) на выдачу напряжения питания в научные приборы;

- 3) формирования и выдачи в научные приборы специальных признаков (СВЕТ/ТЕНЬ, ВШИР/СШИР), характеризующих условия нахождения космического аппарата в данной точке орбиты;
- 4) формирования и выдачи ТМ-параметров в телеметрическую систему (БАТС) о режимах работы научной аппаратуры;
- 5) формирования и выдачи контрольных параметров на контрольно-испытательную аппаратуру (УХВИ) при наземных комплексных испытаниях во всех режимах работы КНА «ФОТОН».

Технические характеристики

- Максимальное количество функциональных команд, выдаваемых потребителям: 160;
- Напряжение питания и выдачи функциональных команд: $+27_{-3,5}^{+7}$ В (шины ШНА, ШУ);
- Длительность командного импульса: 0,1 – 0,3 с;
- Максимальный ток нагрузки в цепи команд: 0,7 А;
- ТМ-параметры и признаки СВЕТ/ТЕНЬ (ВШИР/СШИР) выдаются потребителям в виде «сухих контактов»;
- Масса блока БУС-ФМ – не более 11 кг.

Система сбора и регистрации научной информации ССРНИ

И.В. Чулков, К.В. Ануфрейчик, Д.Г.Тимонин, А.В.Семенов, А.А.Коновалов, А.В. Никифоров, М.В. Бунтов

Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия

Назначение системы

1. ССРНИ осуществляет сбор информации от комплекса научной аппаратуры и хранение ее в долговременной памяти.

Данные представляют собой информационные цифровые массивы объемом по 960 бит. Скорость передачи каждого массива составляет 62,5 или 125 Кбит/с. Число источников информации – 19. Распределение памяти между источниками цифровых массивов (ИЦМ) устанавливается в соответствии с квотами и может изменяться по командам. Объем информации от КНА – до 1 Гбайт в сутки.

2. ССРНИ осуществляет прием служебной информации от системы БАТС (бортовой аппаратуры телесигнализации) и сохранение ее в долговременной памяти.

Объем информации от БАТС – до 44 Мбайт в сутки.

3. ССРНИ осуществляет выдачу в научные приборы команд управления, кода бортового времени и сигнала синхронизации 1 Гц. Число обслуживаемых устройств (приборов) – 19.

4. ССРНИ осуществляет передачу информации в радиоканал.

Во время сеансов связи информация, накопленная в ССРНИ, передается со скоростью до 15,36 Мбит/с на наземный приемный пункт по радиолинии на двух частотах диапазона 8,2 ГГц.

Информация, сохраняемая в долговременной памяти ССРНИ, защищена кодами Хемминга.

Информация, сохраненная в памяти ССРНИ в сеансах связи, передается на Землю. Время каждого сеанса составляет 6-8 минут. Передача на Землю может осуществляться как с применением помехозащищенного кодирования по алгоритму Рида-Соломона (223,255), так и без него.

Система ССРНИ сохраняет в памяти и передает на Землю собственную информацию, извещающую об исправности секторов (блоков) долговременной памяти ССРНИ, о количестве информации полученной от каждого прибора и периодичности ее поступления.

Для повышения надежности работы в течение длительного периода времени система ССРНИ имеет в своем составе запасной комплект электроники и источник питания находящиеся в «холодном» резерве. Выбор рабочего комплекта аппаратуры ССРНИ осуществляется по командам с Земли.

Технические характеристики

Общая емкость долговременной памяти ССРНИ для хранения информации составляет 1,5 Гбайт.

Масса ССРНИ – 6,25 кг, Мощность потребления – не более 5,5 Вт.

Наземный сегмент системы приема и распространения научной информации

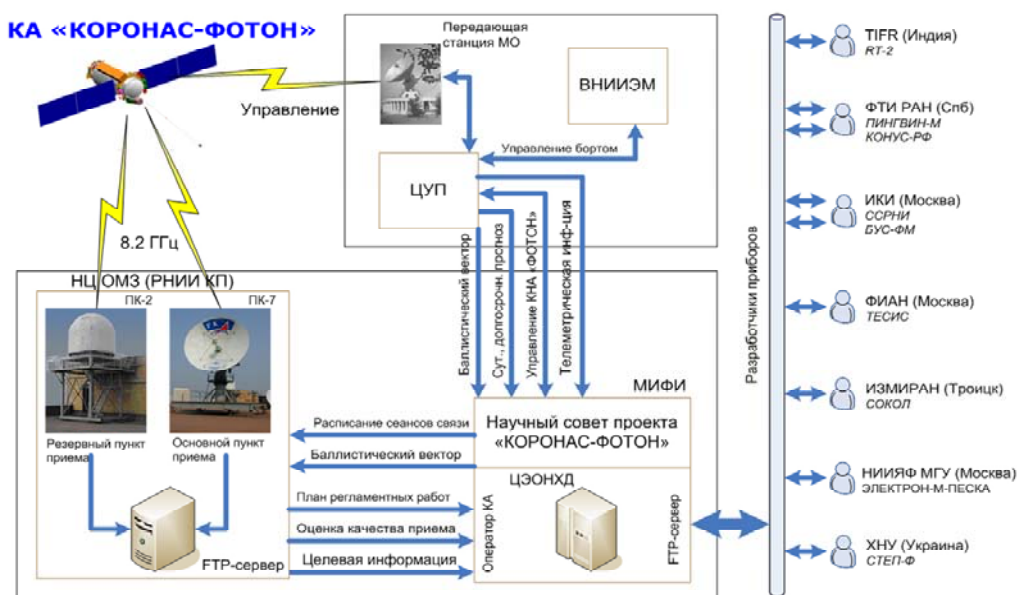


Рис. 12. Структура наземного комплекса по приему, накоплению, экспресс-обработке, распространению телеметрических научных данных и организации управления работой научной аппаратурой представлена на схеме.

Оператором космического комплекса в части получения научной информации являлся МИФИ.

Предварительные данные, полученные в период с февраля по ноябрь 2009 г.

Научная аппаратура была включена в феврале месяце по графику, учитывающему время отгаживания различных детекторов. В феврале –марте проведена настройка и полетная калибровка приборов. Вся научная аппаратура работала в соответствии с Техническими требованиями. В конце ноября 2009г. вследствие нарушения работы бортового электропитания информационное взаимодействие со спутником «КОРОНАС-ФОТОН» прекратилось. Несмотря на все предпринятые попытки восстановить работоспособность спутника не удалось. Таким образом, научные наблюдения аппаратурой КА «КОРОНАС-ФОТОН» проводились с февраля по ноябрь 2009г.

В период выполненных наблюдений Солнце находилось в экстремально спокойной фазе с почти полным отсутствием вспышек. За период полёта прибором ПИНГВИН-М, имеющим детектор мягкого рентгеновского излучения с нижним энергетическим порогом 2 кэВ, было зарегистрировано около 200 солнечных вспышки, в том числе 101 вспышка класса В и 13 вспышек класса С. Большое число вспышек класса А и более слабых в большом количестве было зарегистрировано прибором SphinX, чувствительном в интервале энергий 1,0–10 кэВ.

В течение обсуждаемого уникального спокойного периода солнечной активности было возможно исследовать простейшие, “элементарные” динамические процессы в короне Солнца в простейших конфигурациях магнитных структур.

За указанный период авторы эксперимента ТЕСИС на борту КОРОНАС-ФОТОН получили следующие результаты:

- получены первые в мире изображения промежуточной (на расстояниях от 0,5 до 1,5 солнечных радиусов) короны Солнца в коротковолновом диапазоне;
- совместно с обсерваторией ХИНОДЕ (Япония) обнаружен новый тип “горячих” корональных выбросов массы с температурой плазмы порядка 1×10^6 °К;
- впервые в мире детально зафиксирован процесс “отделения” выброса корональной массы от магнитного поля Солнца;
- впервые в мире измерена динамика горячих корональных рентгеновских точек и хромосферных спикул с временным разрешением порядка 1 с. Лучшие предыдущие измерения, полученные спутником SOHO (Европа), имели точность около 60 с;
- впервые зарегистрирован новый тип событий – всплески солнечного излучения в ярких корональных точках и активных областях продолжительностью менее 1 мин. Ранее такая быстрая активность Солнца была неизвестна из-за отсутствия возможности получения изображения Солнца с разрешением лучше 1 мин;
- впервые спектроскопическими методами (по ширине спектральных линий излучения) измерены точные температуры горячих (с температурой выше 5×10^6 °К) микроструктур солнечной короны. Получены характерные значения распределения мгновенных и средних температур по ансамблю структур.
-

Непрерывный мониторинг потока вакуумного ультрафиолетового излучения на борту КОРОНАС-ФОТОН осуществлялся радиометром ФОКА в диапазонах 0,5-11нм, 27-37нм и 116-125нм каждые 0,4 сек. Результаты оккультационных (затменных для спутника)

измерений, показанные на рисунке для случая выхода из тени Земли, позволяют оценить вклад видимого света в измеряемые потоки, а также осуществлять измерения поглощающей способности верхней атмосферы Земли при каждом заходе спутника в тень и при выходе из нее.

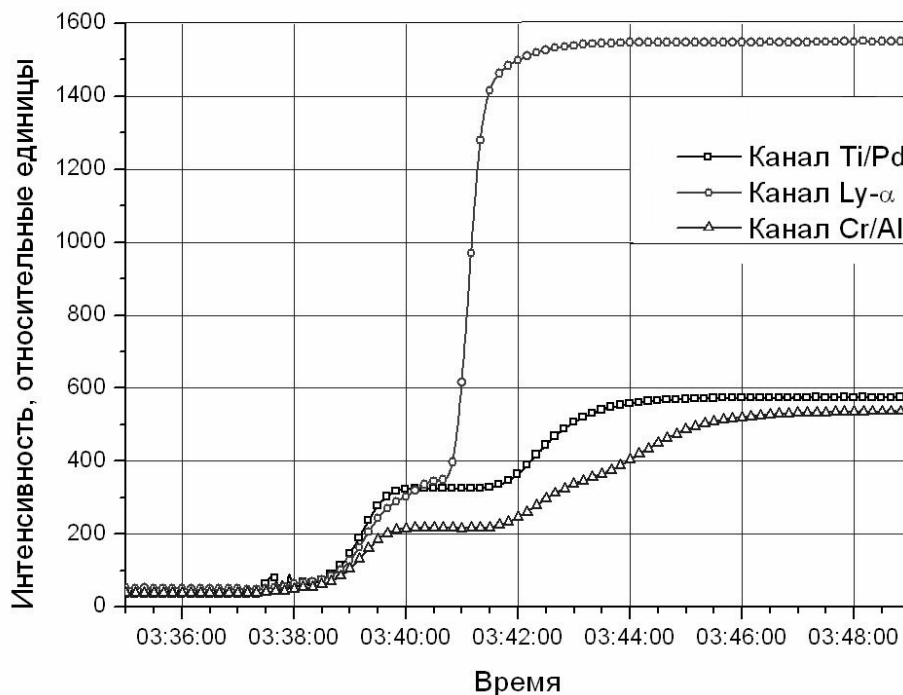


Рис. 13. Временное поведение интенсивности ВУФ-излучения, регистрируемое прибором ФОКА при выходе спутника из тени Земли в период спокойного Солнца

Пересчитанное ослабление потока в зависимости от высоты оккультации (минимальной высоты просвечиваемой области атмосферы) представлено на рисунке 14.

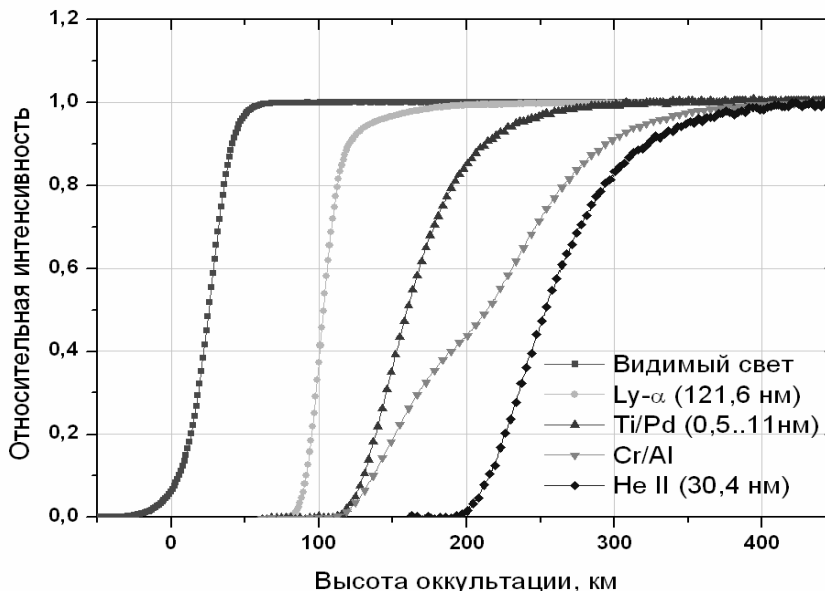


Рис. 14. Зависимость относительной интенсивности потоков ВУФ от высоты оккультации (минимальной высоты над Землей луча зрения от прибора к центру диска Солнца).

Измеренный 28.02.2009г. радиометром ФОКА поток в диапазоне 0,5-7нм равен $6,0 \cdot 10^{-5}$ Вт/м². При вычислении абсолютных величин потока из наблюдательных данных

необходимо знать детальную форму спектра. Указанный поток получен при использовании в качестве базового (reference) спектра, рекомендованного лабораторией LASP (Laboratory for Atmospheric and Space Physics, USA) для периода минимума солнечной активности в отсутствии вспышек. Для этой же даты прибор XPS (X ray photoelectron spectrometer) той же лаборатории LASP, установленный на американском спутнике SORCE (Solar Radiation and Climate Experiment), для того же диапазона даёт $7,1 \cdot 10^{-5}$ Вт/м² (с оцененной методической погрешностью экспериментов 12-30%).

Поток солнечного излучения в линии Лайман-альфа, измеренный 28.02.2009 радиометром ФОКА, составил $5,7 \cdot 10^{-3}$ Вт/м² с точностью не хуже 15%. Данное значение хорошо согласуется со значением $5,77 \cdot 10^{-3}$ Вт/м², измеренным прибором SOLSTICE (SOLar STellar Irradiance Comparison Experiment) спутника SORCE в тот же день.

Во время вспышек класса В и выше вклад вспышечного ВУФ излучения составляет 10% и более от светимости всего диска Солнца в этих же диапазонах.

Детектор SphinX (Solar Photometer in X-rays), работающий совместно с прибором ТЕСИС, является высокочувствительным и быстрым спектрофотометром для регистрации солнечного мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 0,85 – 15,00 кэВ. Энергетическое разрешение 0,1кэВ, временное разрешение до 1 сек. SphinX способен выявлять вариацию мягкого рентгена в 100 раз меньшую чем радиометры спутников GOES. В качестве примера возможностей детектора на рис.10 приведена усредненная по пятиминутным интервалам переменность потока мягкого рентгена за четыре месяца наблюдения.

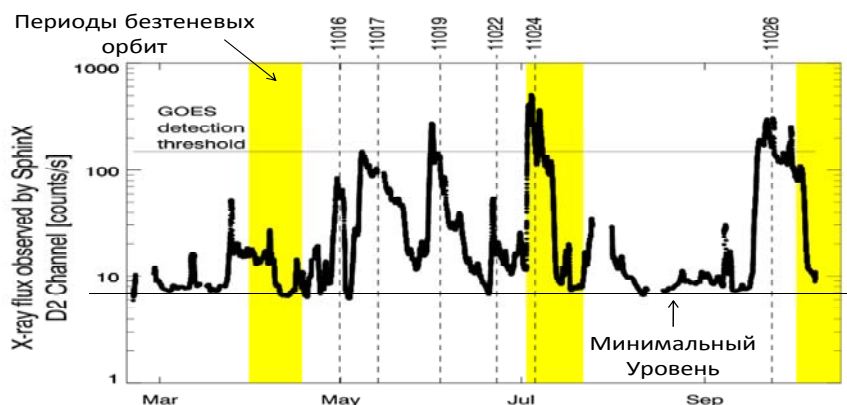


Рис. 15. Пример поведения кэВ-ного излучения в период спокойного Солнца по данным детектора SphinX.

Минимальные регистрируемые значения потока, которые в 20 раз меньше порога радиометра GOES, соответствуют, по всей видимости, излучению полностью спокойной солнечной короны. Величина потока и его переменность увеличиваются во время существования активных областей на диске Солнца, номера которых указаны на рисунке 15. Регистрируемое повышение в 10 и более раз соответствует минимальному уровню активности короны Солнца в отсутствии вспышек в общепринятом их понимании.

Наибольший наблюдательный материал по мягкому и жёсткому излучению получен несколькими приборами миссии для двух вспышек: 5 июля 2009 г. (класс C2.7) и 26

октября 2009 г. (класс C1.3). Временные зависимости скоростей счета, зарегистрированных различными детекторами, представлены на рис.16.

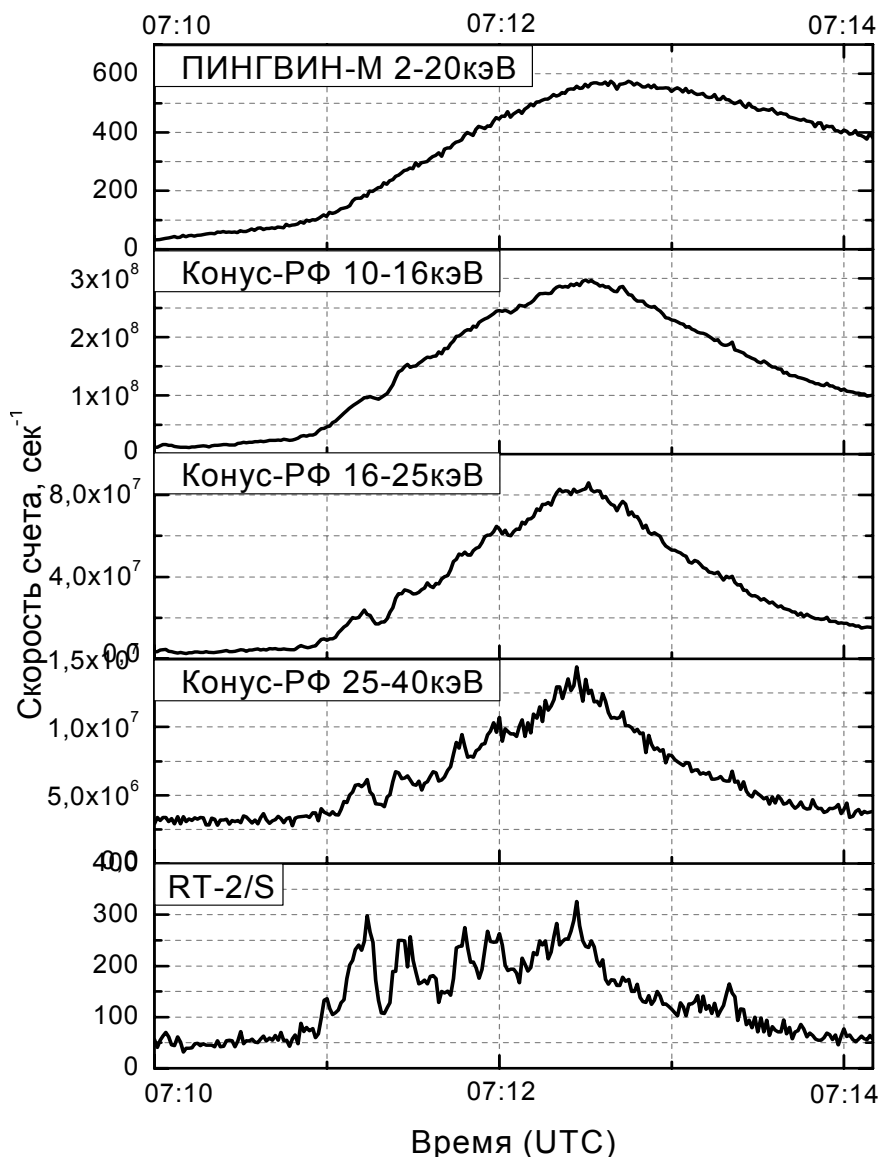


Рис. 16. Временное поведение в солнечной вспышке 5 июля 2009 г. мягкого рентгеновского излучения, зарегистрированного в жестких рентгеновских диапазонах приборами ПИНГВИН-М, КОНУС-РФ и RT-2/S.

Хорошо видно, что с ростом энергии излучения проявляется временная структура, наиболее значимо представленная в данных прибора RT-2, который имеет меньший вклад фона в жестком рентгене благодаря использованию фосвич-детектора и пассивного коллиматора. В результате проведенного анализа подтверждено существование КПП с периодами 12 и 16 сек [29].

Вспышка 26 октября 2009 г. начала развиваться согласно данным GOES в 22:38. в области диска с координатами N19W35. Развитие этой вспышки в ВУФ (каналы приборы ФОКА и мягких рентгеновских каналах прибора ПИНГВИН-М представлено на рис.17. и рис 18.

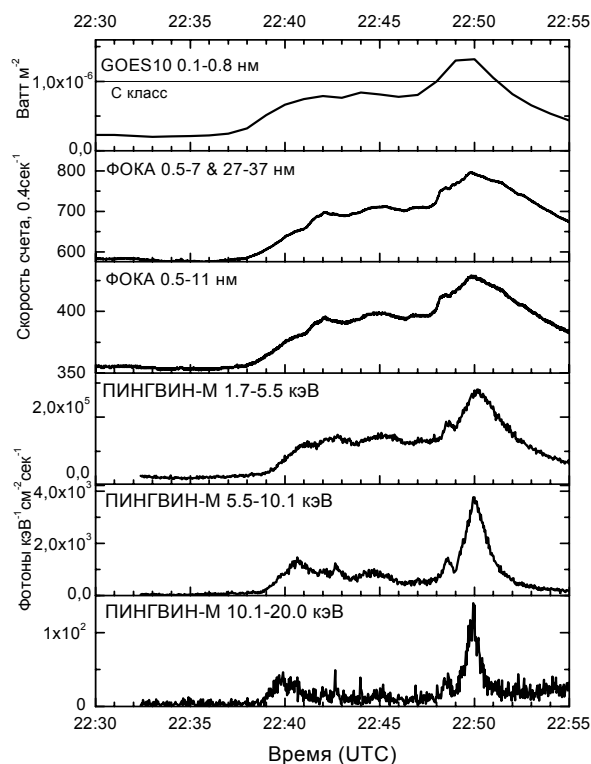


Рис. 17. Временное поведение в солнечной вспышке 26 октября 2009 г. (класс C1.3) мягкого рентгеновского излучения, зарегистрированного спутником GOES и приборами ФОКА и ПИНГВИН-М спутника КОРОНАС-ФОТОН

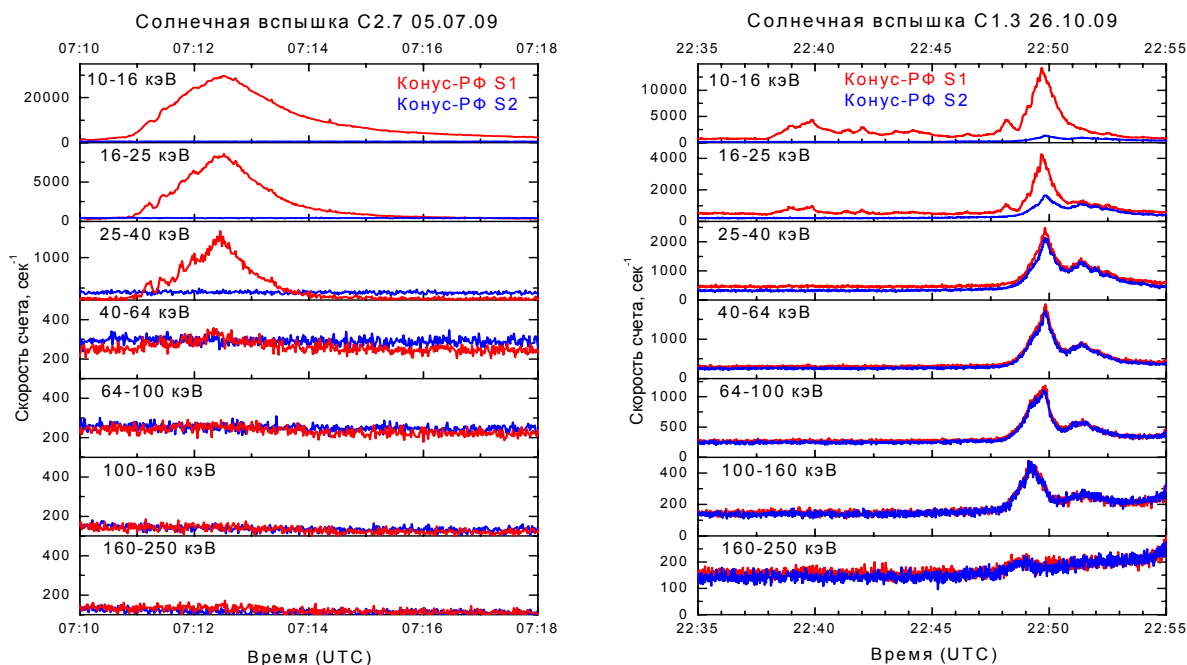


Рис. 18. Сопоставление временного поведения в двух солнечных вспышках – 5 июля 2009 г. и 26 октября 2009 г. – интенсивности излучения, зарегистрированного солнечным (S1) и антисолнечным (S2) детекторами прибора КОНУС-РФ.

За время работы научной аппаратуры КОНУС-РФ на борту КОРОНАС-ФОТОН получены следующие результаты:

- получены данные об активности аномального рентгеновского пульсара AXP/SGR1E1547.0-5408
- открыт новый мягкий гамма-репитер SGR 0418+5729
- Зарегистрировано 3 солнечных вспышки
- зарегистрировано 82 космических гамма-всплеска, включая исключительно интенсивный всплеск 8 апреля 2009г
- 5 июня 2009 года был открыт мягкий гамма-репитер SGR 0418+5729 (рис. 16)
- Результаты совместного наблюдения нового репитера приборами КОНУС-РФ, Fermi/GBM и Swift/BAT опубликованы в статье Van der Horst A Jetal. *Astrophys. J. Lett.* 711 L1 (2010).

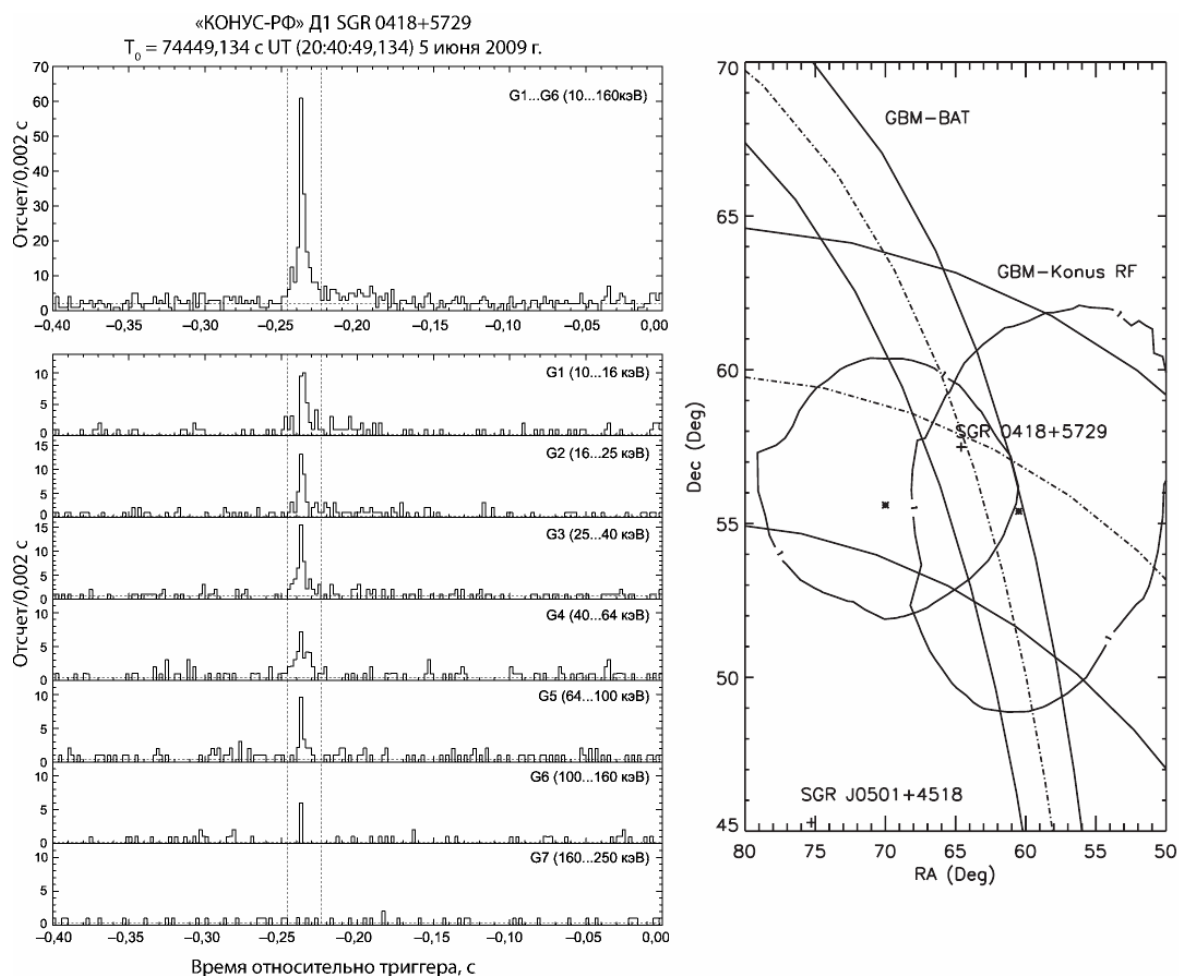


Рис. 19. Мягкий гамма-репитер SGR 0418+5729. Кривые блеска и восстановленное положение на небе.

Эксперимент с прибором ЭЛЕКТРОН-М-ПЕСКА показал, что несмотря на отсутствие значимых геомагнитных возмущений в 2009 году, в минимуме цикла солнечной активности наблюдались значительные (более, чем на порядок) возрастания потоков электронов во внешнем РПЗ, связанные с приходом высокоскоростных потоков солнечного ветра (СВ).

Упомянутые возрастания наблюдались в марте, апреле и начале мая, а также в июле, августе и конце октября 2009.

Разработка, создание, запуск и эксплуатация спутника КОРОНАС-ФОТОН осуществлялись в соответствии с Федеральной космической программой России.

Участники проекта КОРОНАС-ФОТОН благодарны многим специалистам из государственных и ведомственных организаций, научных и промышленных организаций России и Украины за выполненную работу на различных этапах от разработки научной

аппаратуры и систем спутника до запуска и обеспечение его работы в период до декабря 2009 г.

2.1.7. ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

2.1.7.1. Исследование солнечной короны в космических экспериментах ТЕСИС (КОРОНАС-ФОТОН) и СПИРИТ (КОРОНАС-Ф)

І. Эксперимент ТЕСИС на борту спутника КОРОНАС-ФОТОН

Солнечная обсерватория ТЕСИС была выведена на орбиту 30 января 2009 г. на борту спутника КОРОНАС-ФОТОН (рис.1).

Основная цель эксперимента ТЕСИС – изучение природы солнечной активности и механизмов солнечных вспышек. Для этого были поставлены следующие задачи:

- ☐ Исследование процессов накопления, высвобождения и трансформации энергии.
- ☐ Определение физических условий и параметров плазмы солнечных структур и явления (вспышек, активных областей, выбросов массы и др.).
- ☐ Исследование мелкомасштабной и крупномасштабной структуры и динамики солнечной короны.



Рис.1. Спутник КОРОНАС-ФОТОН. Подготовка к запуску. Плесецк.

Аппаратура ТЕСИС

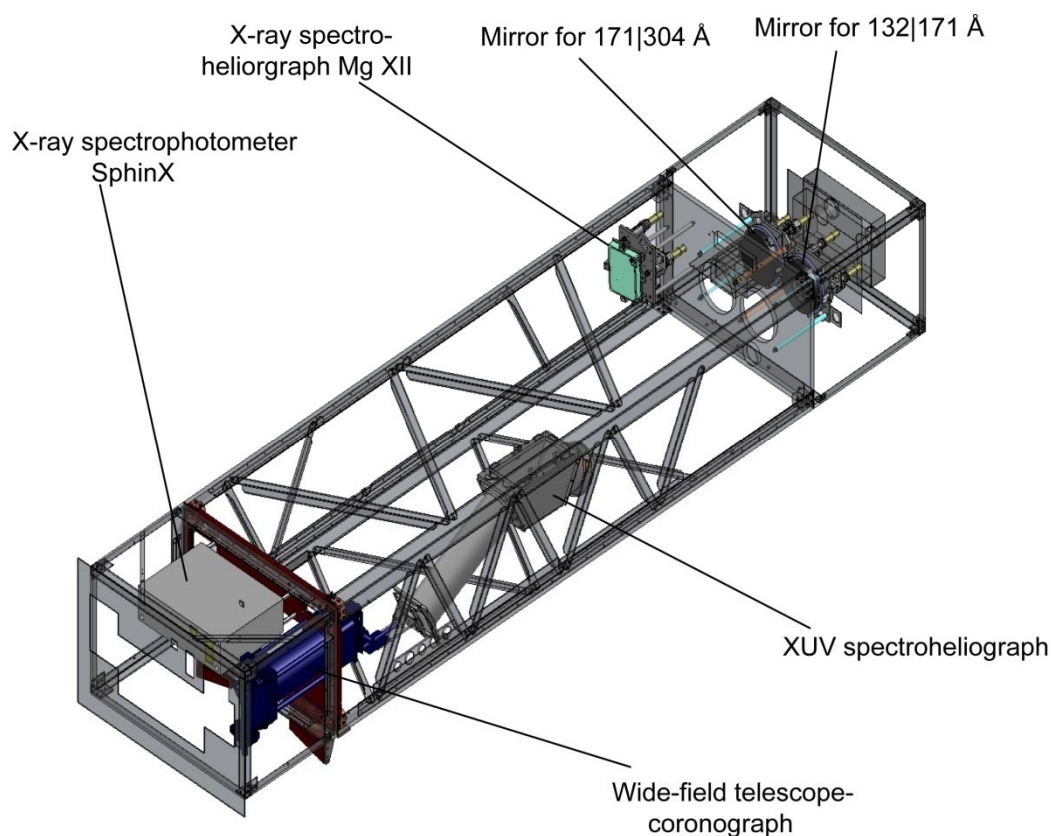


Рис. 2. Схема аппаратуры ТЕСИС

- ☐ 2 телескопа высокого разрешения на спектральные диапазоны 132|171 и 171/304 Å
- ☐ Телескоп-коронограф на 304 Å
- ☐ Рентгеновский спектрогелиограф MgXII на 8.42 Å
- ☐ ВУФ спектрогелиограф диапазона 280-330Å
- ☐ Рентгеновский спектрометр SphinX на диапазон 0.5–15 кэВ (Центр космических исследований Польской академии наук)

Аппаратура ТЕСИС обладает высоким угловым (1.7'') разрешением, временным (несколько секунд), узкими спектральными диапазонами (вблизи 132, 171 и 304 Å) и широким динамическим диапазоном, позволяющим наблюдать широкий диапазон явлений.

Сайт эксперимента ТЕСИС: www.tesis.lebedev.ru (Kuzin et al. 2010)

ТЕСИС. Изображения Солнца, полученные в минимум солнечной активности

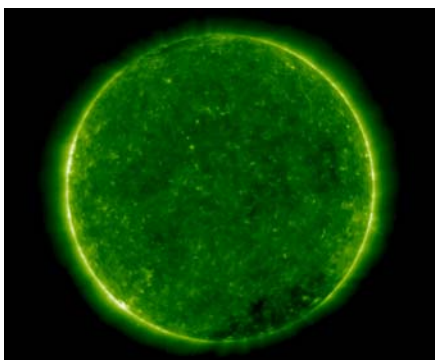
□ В феврале 2009 года были проведены отладочные работы аппаратуры, отработаны программы наблюдений

□ За 11 месяцев работы в 2009 году получено более 500 Гб изображений Солнца, содержащих уникальную информацию о солнечной активности в период глубокого минимума и начала 24-го солнечного цикла.

□ В период глубокого минимума солнечной активности были зарегистрированы уникальные явления:

- 4 гигантских взрывных протуберанца (16 апреля, 23 апреля, 14 июня, 26 сентября).
- Выброс корональной массы (12 мая).
- 14 солнечных вспышек рентгеновского класса С.

132 А



171 А



304 А

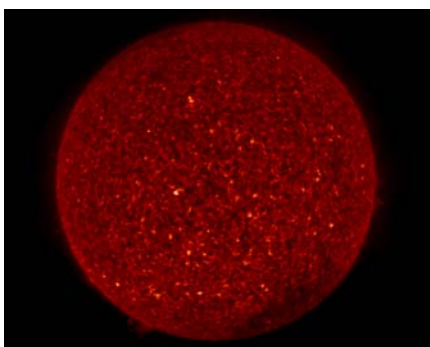


Рис. 3. Изображения Солнца, зарегистрированные ТЕСИС в спектральных каналах 132, 171 и 304 А

ТЕСИС. Наблюдения гигантских взрывных протуберанцев

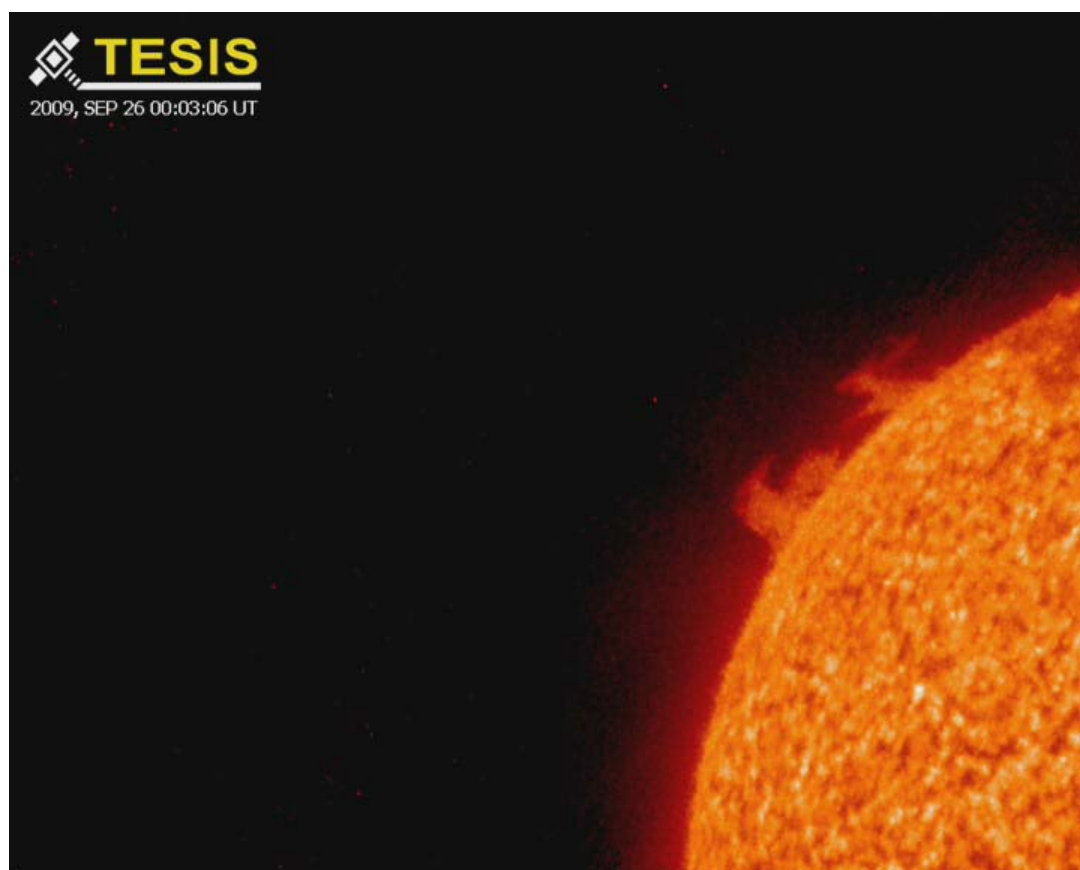
Взрывной протуберанец 23 апреля 2009 г. Не II 304 А



Взрывной протуберанец 14 июля 2009. Не II 304 А



Взрывной протуберанец 26 сентября 2009 года. Не II 304 А



ТЕСИС. Наблюдения дальней короны

Благодаря высокой чувствительности, ТЕСИС способен наблюдать солнечную корону на больших высотах над лимбом. При наблюдениях спокойной короны в спектральной линии Fe IX 171 А ($T \sim 1$ МК) была обнаружена неожиданно богатая для минимума солнечной активности структура магнитных линий (рис. 4). Открытые магнитные структуры могут являться потенциальными источниками солнечного ветра.

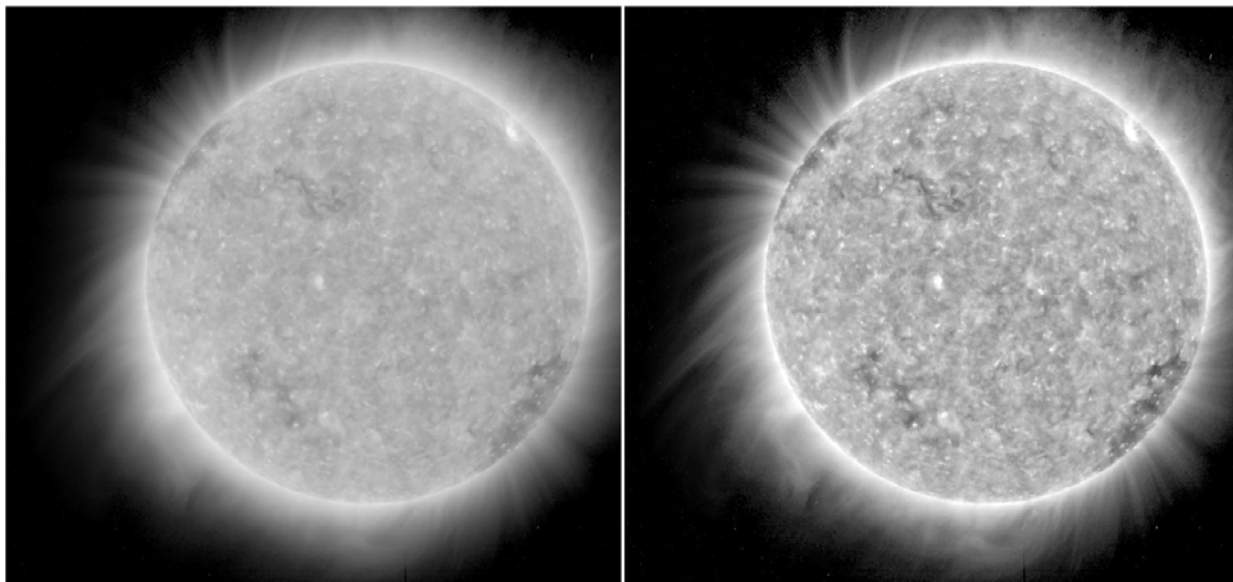


Рис. 4. Солнечная корона в ВУФ диапазоне в период глубокого минимума солнечной активности (ТЕСИС, 30 апреля 2009 года)

ТЕСИС. Выброс корональной массы с конфигурацией U-типа 12 мая 2009 г.

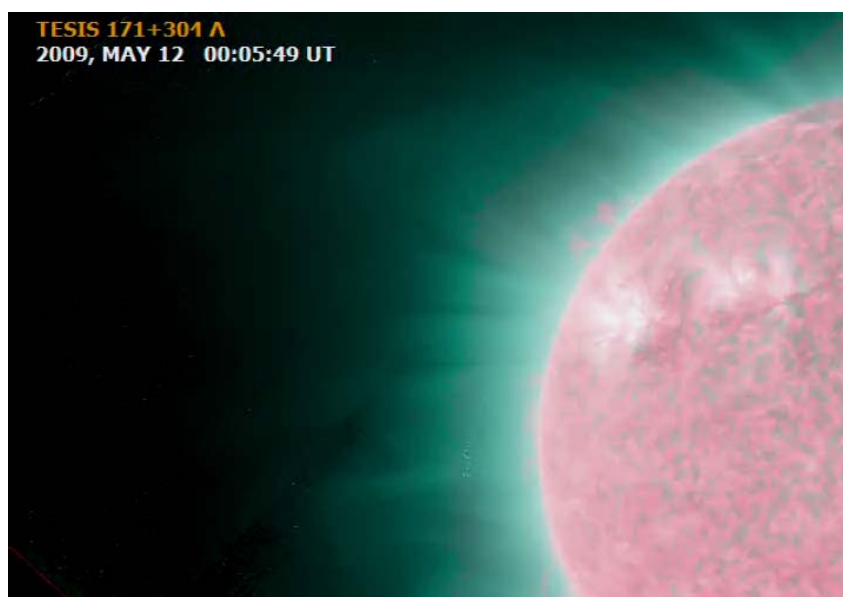
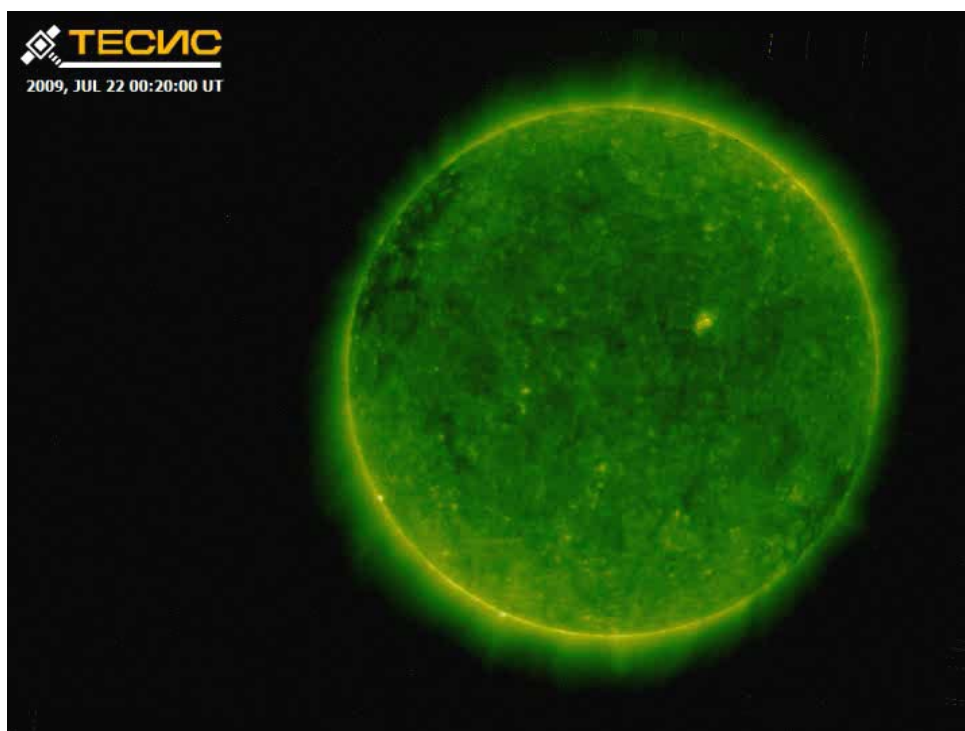


Рис. 5. Выброс корональной массы с магнитной конфигурацией U-типа, наблюдавшийся 12-14 мая 2009 года.

Выброс корональной массы с магнитной конфигурацией U-типа. Видеофрагмент составлен по данным канала He II 304 (красный цвет) и канала Fe IX 171 А (синий цвет). 12-14 мая 2009 г.

Обсерватория ТЕСИС запечатлела во всех деталях отрыв и выброс корональной массы с магнитной конфигурацией U-типа. Выброс произошел в результате взаимодействия закрытых магнитных линий ближней короны с открытыми линиями гелиосферного поля.

ТЕСИС. Наблюдение солнечного затмения 22 июля 2009 года



ТЕСИС. Наблюдение солнечных вспышек

Вспышка класса В1.8 наблюдалась аппаратурой ТЕСИС 26 марта 2009 года. Кроме телескопических изображений, получены данные о потоках излучения в диапазонах Fe IX 171 Å, Fe 132 Å, Mg XII 8.42 Å и рентгеновском диапазоне 0.5-15 кэВ (рис. 6).

Комплексный многотемпературный анализ события показал, что плазма в солнечной короне разогревается до температур выше 10 МК даже во периоды минимума солнечной активности.

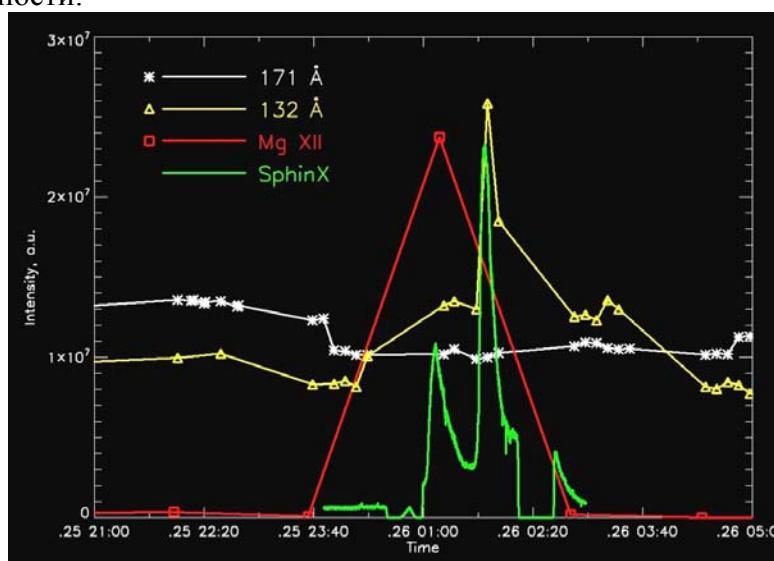


Рис. 6. Вспышка класса В1.8, наблюдавшаяся аппаратурой ТЕСИС 26 марта 2009 года в различных спектральных каналах регистрации

ТЕСИС. Наблюдение активных областей в безвспышечный период

Наблюдения ТЕСИС показывают, что горячая плазма с температурой ~ 10 МК может существовать в короне Солнца даже в отсутствие вспышек. На рис. 7 приведены изображения в линиях Mg XII 8.42 А ($T \sim 5-15$ МК) и Fe IX 171 А ($0.8-1.2$ МК).

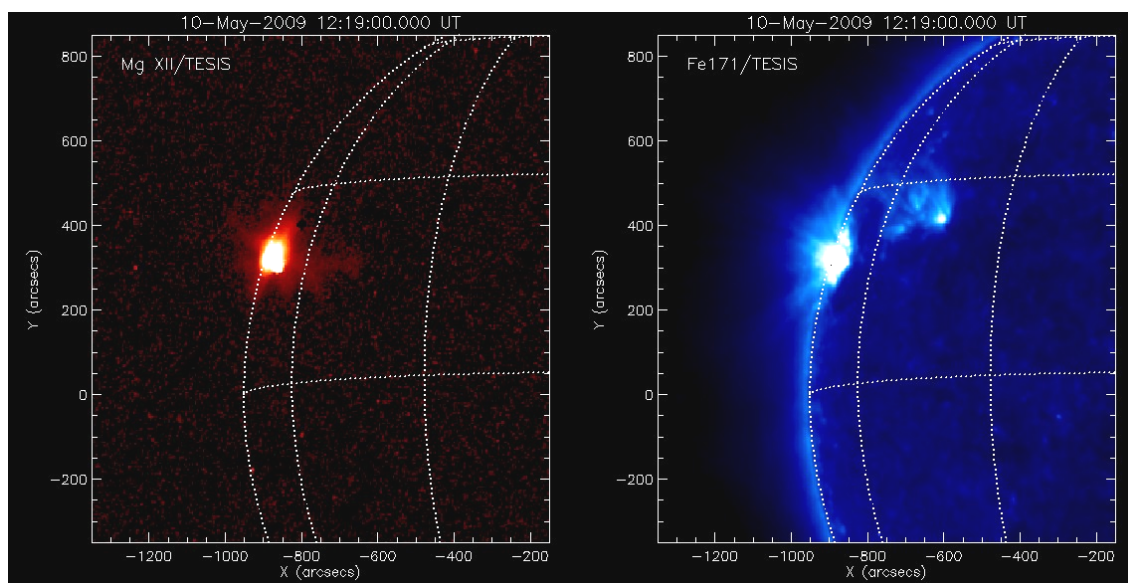


Рис. 7. Солнечная корона в линиях Mg XII 8.42 А $T \sim 10$ МК (слева) и Fe IX 171 А $T \sim 1$ МК (справа).

ТЕСИС. Наблюдения ярких рентгеновских точек

Проведены специальные серии наблюдений ярких рентгеновских точек с временным разрешением 4-10 с телескопом Fe IX 171 А. Обнаружены несколько различных типов осцилляций яркости с периодами порядка 1 минуты. Обнаружено несколько ярких рентгеновских точек, в которых проходили синхронные изменения яркости.

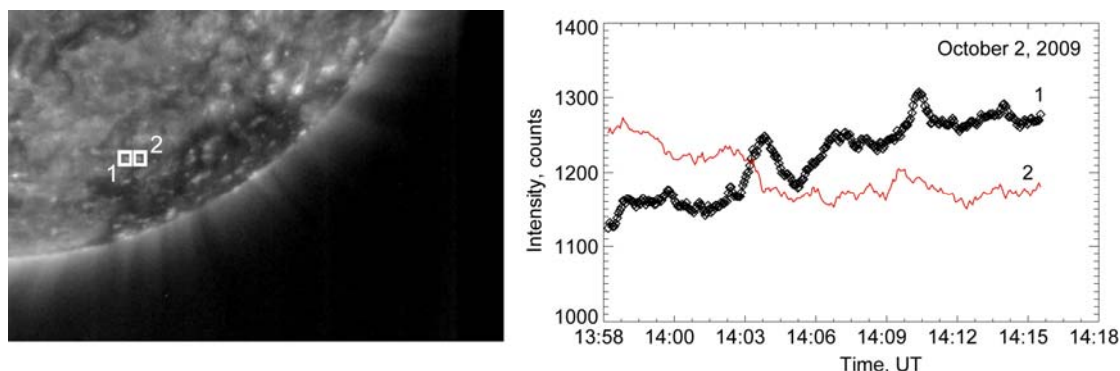


Рис. 8. Временной ход двух близкорасположенных ярких рентгеновских точек. По наблюдениям телескопа 171 А с временным разрешением 10 с.

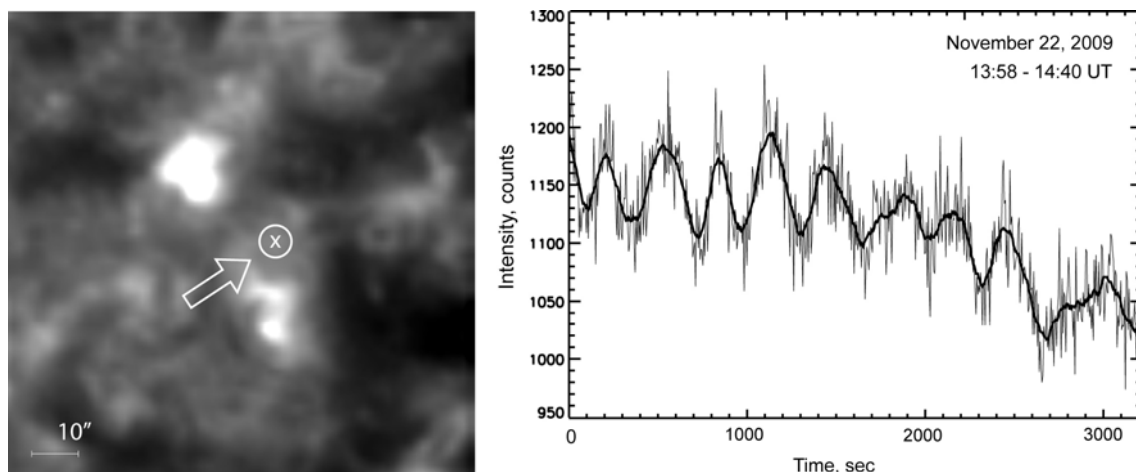


Рис. 9. Временной ход яркости компактной области, расположенной между двух ярких рентгеновских точек. Наблюдается осцилляция с периодом 250 с.
По наблюдениям телескопа 171 А с временным разрешением 4 с.

II. Исследование горячей короны Солнца в эксперименте СПИРИТ на спутнике КОРОНАС-Ф

1. Исследование горячих плазменных структур (5-20 МК) наблюдавшихся спектрогелиографом Mg XII 8.42 А аппаратуры СПИРИТ

СПИРИТ (2001-2005) обнаружил новый класс плазменных явлений в короне Солнца, наблюдающихся в рентгеновской линии Mg XII 8.42 А. Явления имеют размеры от 6 угл. сек. до 0.3RS, времена жизни от нескольких минут до нескольких дней: «пауки», горячие облака и горячие рентгеновские точки.

«Паук», ассоциированный с постэруптивным явлением, имеет квази-статическую магнитную конфигурацию, с большим градиентом температуры ($T=5-20$ МК), плотностью спокойной короны $2 \cdot 10^9 \text{ cm}^3$ и $B \sim 10$ G.

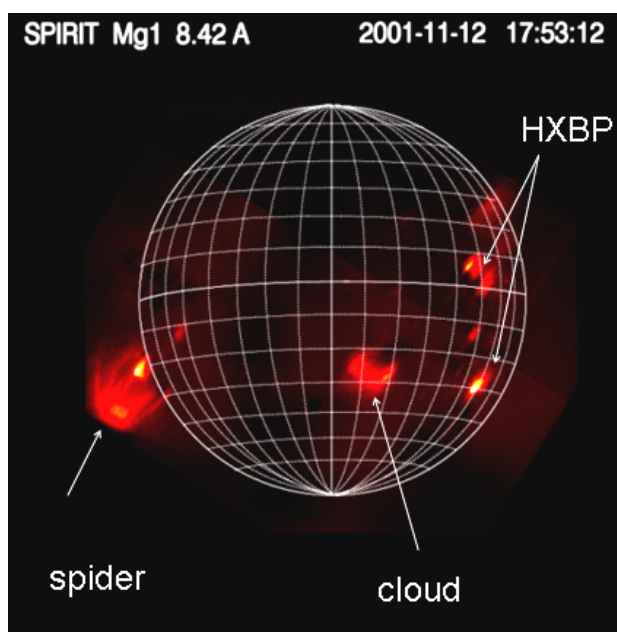


Рис.10. «Паук», горячее облако и горячая рентгеновская точка

2. Моделирование плазмы «пауков»

Предложена магнито-плазменная модель «паука». Модель основана на точном аналитическом обобщении известной модели Чандрасекара-Прендергастра.

Предложенная модель (рис. 11) является последовательностью магнитных тороидов, заключенных внутри сферического потенциального магнитного поля. Общее решение позволяет объяснить механизм длительных вспышечных процессов, их особенности, и, таким образом, является новой альтернативной моделью нагрева короны (по отношению к импульсным вспышкам)

(A. Solov'ev et al. 2010)

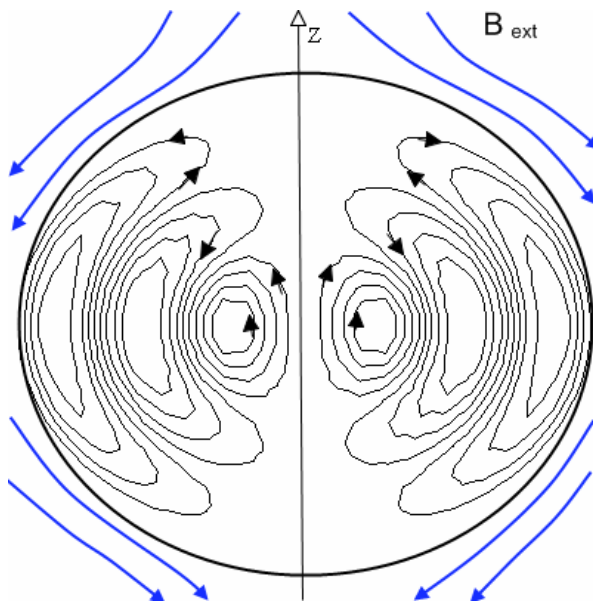


Fig.11

3. Определение ДМЭ в плазме активных областей и вспышек по данным ВУФ спектрогелиографов аппаратуры СПИРИТ

Разработан метод определения дифференциальной меры эмиссии (ДМЭ) по данным ВУФ спектрогелиографа аппаратуры СПИРИТ (рис. 12).

ДМЭ определяется по относительным интенсивностям спектральных линий, измеренным по спектрогелиограмме. Для решения обратной задачи спектроскопии - определения ДМЭ, используется метод, основанный на теореме Байеса. Точность метода лучше 20%.

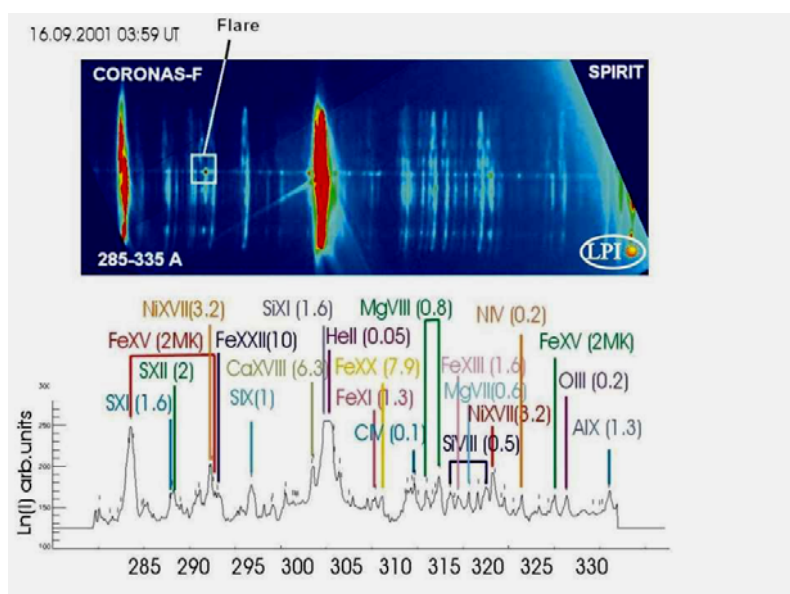


Fig. 12. SPIRIT spectroheliograms in the 280-330 Å band

Последний анализ ДМЭ плазмы активных областей показывает, что горячая плазма 8-15 МК может существовать в отсутствие вспышек (рис. 13). (Shestov et al. 2010)

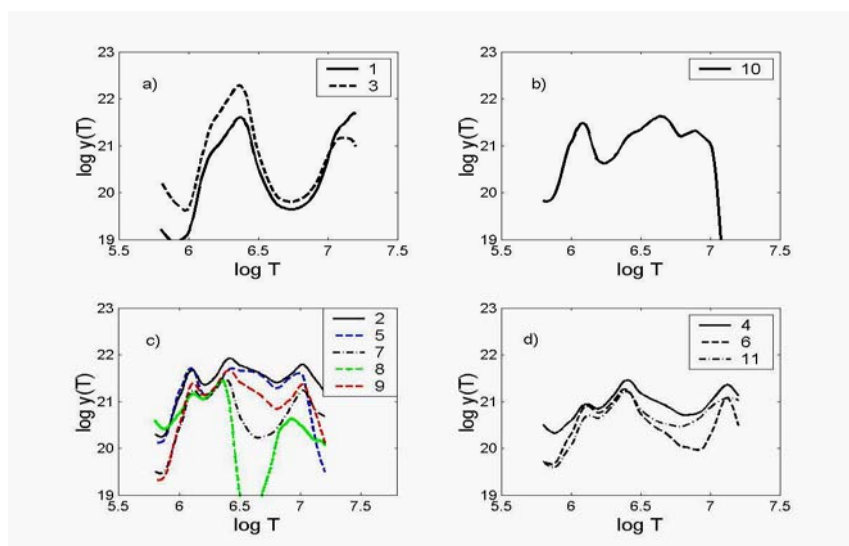


Fig. 13. DEM functions of non-flaring ARs

4. Исследование горячей плазмы

Наблюдения рентгеновского излучения горячей плазмы предоставляет информацию как о процессе накопления, так и высвобождения энергии. Так как нагрев происходит в результате циклических процессов, проходящих в одних и тех же местах, горячая плазма служит маркером точек, где происходит выделение энергии (точек пересоединения).

Рентгеновские источники, наблюдавшиеся в линии 8.42 Å, соответствуют фотосферным пятнам с квадрупольной и более сложной структурой. Корреляции возникновения рентгеновских источников с величиной индукции магнитного поля не обнаружено (рис. 14) (Bogachev et al. 2010)

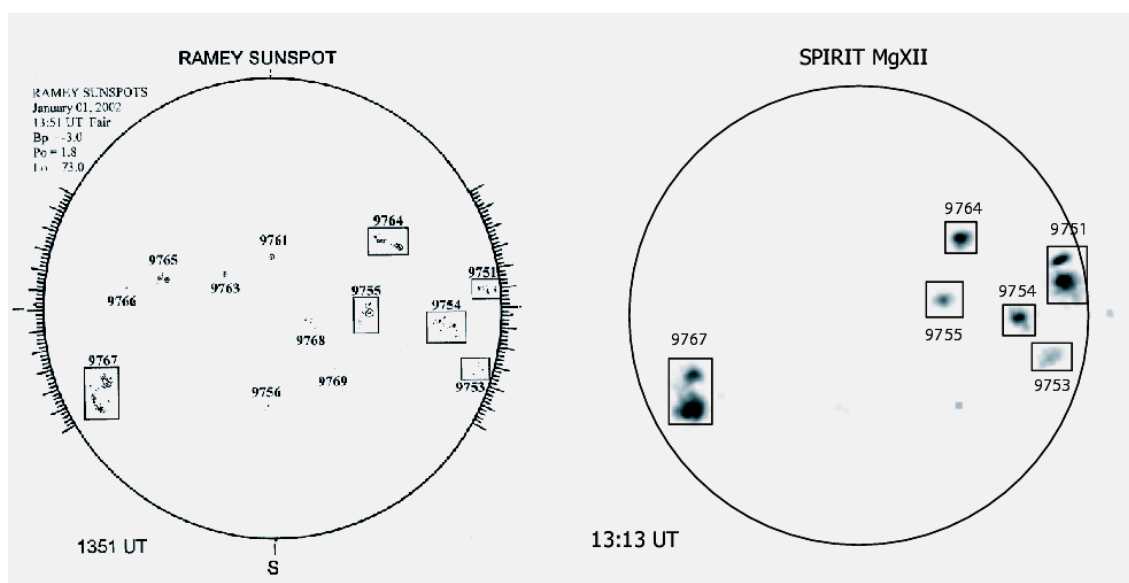


Fig. 14. Position of HXBPs with respect to active regions

5. Изучение дальней (1-3 R_{sun}) солнечной короны

Была изучена структура и динамика дальней короны (1-3 R_{sun}) по данным наблюдений в каналах 304 А и 175 А аппаратуры СПИРИТ в декабре 2002 года.

На высотах до 1.5 R_{sun} яркость короны в линии 175 А коррелирует с закрытыми магнитными структурами нижней короны. На больших высотах корона имеет форму лучей, соответствующих стримерам, наблюдаемым в белом свете (LASCO).

В линии He II 304 А пространственное распределение интенсивности излучения объясняется резонансным рассеянием света от нижележащих слоев атмосферы Солнца (рис. 15). (V. Slemzin, S. Kuzin et al. ANGIO, 26, 2008).

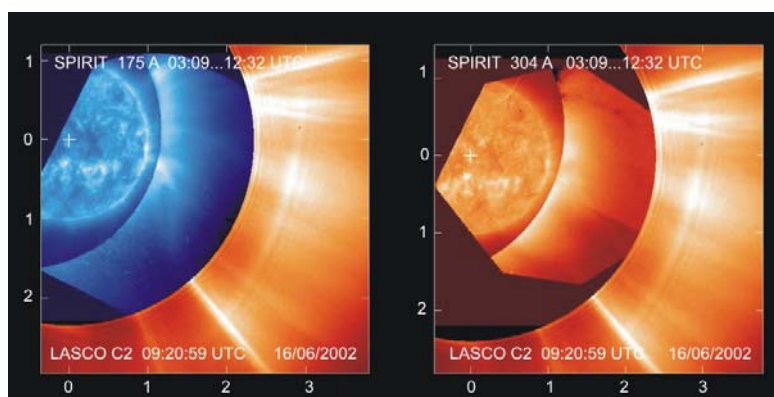
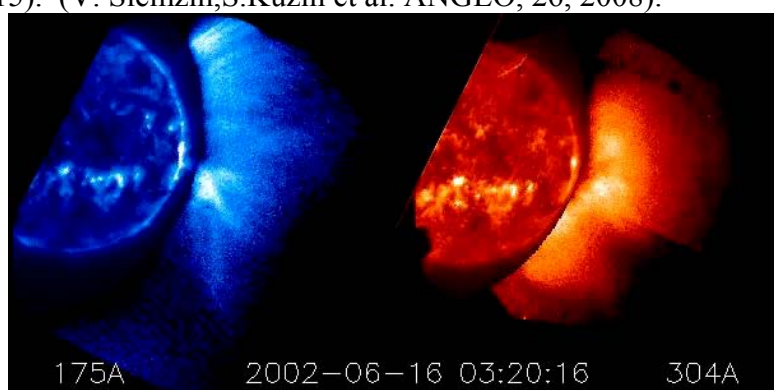


Fig. 15. Comparison of the corona in EUV (SPIRIT) and white light (LASCO) bands

Основные результаты

Основные результаты, полученные в Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца Физического института им. П. Н. Лебедева РАН:

- ❑ Новый комплекс телескопов/спектрогелиографов успешно выведен на орбиту Земли на борту спутника КОРОНАС-ФОТОН в январе 2009 года.
- ❑ За 11 месяцев работы в 2009 году получено более 500 Гб изображений Солнца, содержащих уникальную информацию о солнечной активности в период глубокого минимума и начала 24-го солнечного цикла.
- ❑ Благодаря улучшенному пространственному и временному разрешению аппаратуры ТЕСИС получена подробная информация о солнечной короне в период минимума солнечной активности. Удалось зарегистрировать с высоким временным разрешением развитие вспышек, гигантских взрывных протуберанцев, исследовать динамику ярких рентгеновских точек и других проявлений солнечной активности
- ❑ Показано, что горячая плазма в короне Солнца может существовать не только во время вспышек, но в активных областях, а также в горячих рентгеновских точках.
- ❑ Исследование дальней короны (1-3 R_{sun}) по наблюдениям каналов 175 А и 304 А аппаратуры СПИРИТ выявило структуру, коррелирующую с активными областями и стримерами, наблюдаемыми в белом свете
- ❑ Проведен многотемпературный анализ спектральных данных, полученных в эксперименте СПИРИТ на скутнике КОРОНАС-Ф. В частности, определен температурный состав плазмы «паука» ($T=5-20$ МК), наблюдавшегося рентгеновским спектрогелиографом Mg XII. Измерена плотность плазмы «паука», составившая $2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$, что на 2 порядка ниже плотности плазмы импульсных солнечных вспышек.
- ❑ Показано, что положение рентгеновских источников, наблюдаемых в рентгеновской линии Mg XII 8.42 А соответствует фотосферным пятнам с квадрупольной или более сложной магнитной конфигурацией
- ❑ Предложена магнито-плазменная модель горячих плазменных образований – «пауков», наблюдаемых в рентгеновской линии Mg XII 8.42 А. Магнитная структура пауков является серией тороидов, заключенных в потенциальном магнитном поле. Модель позволяет описать основные особенности наблюдаемых явлений