

УДК 520.6.05, 523.9-739, 535-34

ДИНАМИКА МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА В ПЕРИОД ТЕКУЩЕГО МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ПРИБОРА SphinX

© 2011 г. С. Гбурек, М. Сиарковски, А. Кемпа, Я. Сильвестер, М. Ковалински, Я. Бакала, П. Подгорски, З. Кордылевски, С. Плосиеньяк, Б. Сильвестер, В. Тржебински, С. Кузин*

Центр космических исследований, Польская академия наук, Польша

**Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

Поступила в редакцию 16.05.2010 г.

Солнечный рентгеновский фотометр SphinX разработан для наблюдения Солнца в рентгеновском диапазоне 0.85–15.00 кэВ. SphinX входит в состав российского комплекса аппаратуры ТЕСИС на борту ИСЗ КОРОНАС-ФОТОН, который был запущен 30 января 2009 г. в 16:30 (по МСК) с космодрома Плесецк. Начиная с февраля 2009 г., SphinX вел практически непрерывные наблюдения рентгеновского излучения Солнца. В статье обсуждаются принципы работы аппаратуры SphinX и приводится описание полученного архива данных. Обсуждаются вопросы, связанные с распространением калибровочных данных аппаратуры SphinX, месторасположением зеркал архива данных, типами данных. Изучается динамика рентгеновского излучения Солнца по данным наблюдений аппаратуры SphinX в течение всей миссии.

ВВЕДЕНИЕ

SphinX (Solar Photometer in X-rays) — это быстрый и чувствительный спектрофотометр, предназначенный для наблюдений мягкого рентгеновского (МР) излучения Солнца в номинальном диапазоне 0.85–15.00 кэВ с энергетическим разрешением ~0.4 кэВ и временным разрешением вплоть до долей секунды. Научная стадия наблюдений SphinX была начата 20 февраля 2009 г., примерно через три недели после запуска ИСЗ КОРОНАС-ФОТОН. С этого момента аппаратурой SphinX проводились практически непрерывные наблюдения рентгеновского излучения Солнца с объемом телеметрии ~150 Мбайт в сутки сжатых данных. Полученные данные позволяют исследовать рентгеновский поток спокойного Солнца и зарождающихся активных областей, слабых вспышек, а также энергетические и статистические характеристики солнечной активности.

В настоящей статье будет рассмотрена динамика рентгеновского потока Солнца по измерениям SphinX в период низкой солнечной активности с 20 февраля по 28 ноября 2009 г. Обсуждаются предполетные калибровки аппаратуры SphinX, типы данных и методы доступа к ним. Также в работе приводятся основные характеристики и принципы работы детекторов прибора. Полное описание прибора SphinX можно найти в статье Гбурек и др. (2011).

ДЕТЕКТОРЫ ПРИБОРА И ПРИНЦИПЫ ИХ РАБОТЫ

Для измерения рентгеновского потока в аппаратуре SphinX используются 4 детектора на основе

кристаллов беспримесного кремния толщиной 500 мкм и датчиков XR-100CR, разработанных компанией US Amptek. Каждый детектор имеет входное окно из бериллия толщиной в 12.5 мкм. 3 детектора (названные D1, D2 и D3) составляют основной измерительный блок SphinX и служат для непосредственного измерения солнечного рентгеновского потока. В детекторе D1 задействована номинальная эффективная площадь. Перед детекторами D2 и D3 расположены диафрагмы, которые служат для ограничения их чувствительности. Детектор D1, имеющий наибольшую эффективную площадь, используется для измерения солнечного потока низкой интенсивности. Насыщение в детекторе D1 происходит даже для потоков средней интенсивности. Апертура второго детектора D2 подобрана таким образом, что она позволяет проводить измерения умеренного потока с хорошим отношением сигнал/шум, когда в детекторе D1 происходит насыщение. Третий детектор D3 с наименьшей апертурой способен измерять высокоинтенсивные потоки, приводящие к насыщению детектора D2. Апертура детектора D3 настолько мала, что он не насыщается даже для наивысшего зарегистрированного уровня солнечной активности. Таким образом, используя блок из трех детекторов, можно измерять МР-поток излучения Солнца в диапазонах от самого низкого уровня рентгеновской активности до самых мощных вспышек. Диапазоны измерения интенсивности детекторов перекрываются между собой, так что, например, для очень низкой интенсивности потока (который хорошо регистрируется детектором D1), в детекторе D2 также присутствует некото-

рый сигнал выше уровня шума. Такой сигнал при интегрировании по длительному промежутку времени может обеспечить измерения потока с хорошим отношением сигнал/шум.

Четвертый детектор D4 разработан для измерения МР-потока в узких энергетических диапазонах по флуоресценции, возбуждаемой солнечным излучением. Для получения значительного сигнала выше уровня шума в канале флуоресценции D4 спектрофотометра SphinX необходим мощный поток излучения. Поэтому из-за низкого уровня солнечной активности этот канал не использовался во время указанного интервала времени. По тем же причинам нет и хороших измерений в канале детектора D3. В настоящей работе используются только данные детекторов D1 и D2. Подробное описание детекторов SphinX приведено в статье Гбурек и др. (2010).

КАЛИБРОВКА SphinX

Перед запуском спутника было проведено два калибровочных эксперимента с целью определения эффективности и отклика детекторов, а также фактических диапазонов энергии для всех измерительных каналов. Линейность потока и экспозиции, эффекты насыщения и зависимость разрешения детектора от энергии рентгеновского потока также были исследованы во время проведения этих экспериментов.

Первый калибровочный эксперимент был проведен в октябре 2007 г. в X-ray Astronomy Calibration and Testing (XACT) Facility (<http://www.astropa.uni-pa.it/XACT/>) в Палермо.

Во время тестов в XACT SphinX помещался в вакуумную камеру, соединенную с рентгеновским источником через трубу длиной 35 м. Для расширения спектрального диапазона, в котором проводились испытания, использовались аноды, изготовленные из различных материалов. Поток излучения контролировался мультисканальным анализатором на основе твердотельного детектора и пропорционального газового счетчика.

Во время эксперимента было получено несколько десятков спектров, состоящих из линий K_{α} и K_{β} материала анода, наложенных на широкий непрерывный спектр. Анализ данных, полученных в XACT, позволил определить разрешение прибора, провести энергетическую калибровку измерительных каналов SphinX и оценить результирующие эффективности каналов. Описание эксперимента в XACT приведено в статье Collura и др., (2008).

Окончательная абсолютная калибровка детекторов была проведена в феврале и марте 2008 г. на синхротроне BESSY II (www.bessy.de) в Берлине. Сначала для каждого детектора было проведено несколько измерений при заданных энергиях излучения, во время которых использовался монохроматор. Ре-

зультаты этих экспериментов использовались для определения функции энергетического отклика каналов и масштаба энергии на ячейку для детекторов.

Затем измерительные каналы SphinX были откалиброваны непосредственно с использованием BESSY II в качестве эталонного источника. Во время этого теста SphinX экспонировался синхротронным излучением широкого энергетического диапазона. Точный вид спектра падающего излучения может быть вычислен по параметрам электронного пучка, циркулирующего внутри синхротронного ускорителя, и геометрии системы. Эти измерения позволили определить действительный вид кривых эффективности детекторов. Относительная ошибка калибровки по синхротронному излучению составила меньше 5%. Результаты калибровок в XACT и BESSY II хорошо согласуются между собой. Характеристики аппаратуры, полученные из калибровочных экспериментов, используются для интерпретации и нормировки летных данных SphinX.

ОПИСАНИЕ ДАННЫХ SphinX, РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДОСТУП

Спектрофотометр SphinX может работать в двух режимах: временном и спектральном режиме. В первом случае прибор посылает на телеметрию массивы с временем регистрации и энергией каждого фотона в каждом из детекторов. Во втором случае SphinX суммирует количество фотонов в заданных энергетических диапазонах и посылает на телеметрию гистограмму распределения фотонов по энергии за время регистрации. Оба режима могут быть запущены одновременно.

SphinX может регистрировать спектры с различным числом спектральных каналов: от 1 (в этом случае показания спектрометра будем называть интегральным сигналом) до 1024 — максимального числа каналов. Число спектральных каналов может изменяться в зависимости от конкретной программы наблюдений.

Во время калибровок на BESSY II и XACT было получено большое число 1024-канальных спектров. Анализ этих данных показал, что оптимальное значение каналов для работы прибора в полете равно 256. Поэтому в описываемых в данной работе измерениях детекторов D1 и D2 присутствуют, в основном, 256-канальные спектры.

Помимо 256-канальных спектров и временных измерений на телеметрию подается дополнительный 4-канальный спектр. Этот 4-канальный спектр называется базовым режимом работы SphinX. В базовом режиме спектр первого канала содержит преимущественно шум электроники. Следующие 2 широкополосных канала несут полезный сигнал детектора, если падающий рентгеновский поток достаточно интенсивен для счета сигнала выше уровня шума. Последний 4 канал тоже содержит шум, но

он также регистрирует отсчеты, созданные энергичными частицами, попавшими в кристалл детектора, особенно когда спутник проходит область Южной Атлантической аномалии или полярные овалы.

Вместе с научными данным спектрофотометра в каждом кадре телеметрии посылается информация о времени проведения каждого измерения и блок технических данных. Во время наземной обработки все данные SphinX, полученные с телеметрии, распаковываются и переводятся в формат языка IDL. Это промежуточный формат, тем не менее он позволяет обрабатывать и использовать данные в научных целях. Обычно один IDL-файл данных SphinX покрывает несколько часов наблюдений прибора. Затем к файлу добавляется информация о калибровках и дополнительные данные о положении и орбите спутника. Наконец, данные конвертируются в формат Flexible Image Transport System (FITS) первого уровня, формат которого описан и стандартизован по версии OGIP/93-003¹.

Все файлы данных форматов IDL и FITS могут быть скачаны напрямую с одного из двух серверов SphinX.

Один из них расположен в Центре космических исследований Польской академии наук² в г. Вроцлаве (Space Research Centre), второй – в Астрономическом институте Академии наук Чехии³ в г. Онджейов (Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic).

Два новых сервера, расположенные в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, и Астрономической обсерватории Палермо им. Джузеппе С. Вайана, Италия (Osservatorio Astronomico di Palermo Giuseppe S. Vaiana), вступят в действие в 2010 г.

Все серверы данных хранят полный набор наблюдательных данных SphinX и набор дополнительных данных. Сервера проходят ежедневную синхронизацию для обеспечения идентичности хранящихся данных.

Доступ к данным SphinX на серверах осуществляется с помощью веб-интерфейса, где находятся ссылки на “ежедневные” страницы, содержащие наглядные графики и ссылки для скачивания IDL- и FITS-файлов за каждый календарный день. Все эти данные публично доступны и могут быть загружены при помощи любого веб-браузера.

Как альтернатива, широкий доступ к данным SphinX в настоящее время организовывается в рамках Виртуальной Солнечной Обсерватории (Virtual Solar Observatories – VSOs). Интеграция наблюдательных данных SphinX (в виде FITS-файлов) и до-

полнительных данных SphinX (в виде ASCII-текстовых файлов) в рамках действующей VSO в США и новой, разрабатываемой в Европе в рамках проекта SOTERIA (www.SOTERIA-space.eu), будет завершена после предварительной обработки всех исходных данных SphinX до данных 1-го уровня.

ДИНАМИКА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ТЕКУЩЕМ МИНИМУМЕ

Одним из важных результатов наблюдений аппаратуры SphinX является интегральный сигнал из двух центральных спектральных каналов базового режима наблюдений для детекторов D1 и D2. Эти данные относительно слабо чувствительны к шуму и сигналу, вызванному энергичными частицами (по крайней мере, когда спутник находится вне Южно-Атлантической аномалии и полярных овалов). Интегральный сигнал может использоваться для определения физических параметров солнечной плазмы, таких как температура или мера эмиссии. Благодаря высокой чувствительности аппаратуры (в 30 раз более чувствительной, чем ИСЗ GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)) данные аппаратуры SphinX могут использоваться для определения температуры и меры эмиссии достаточно слабых событий и даже спокойной Солнца.

Общее изменение активности Солнца, в особенности на длительных временных промежутках, может быть проанализировано на основе интегрального сигнала детектора D2. Этот детектор за время проведения миссии ни разу не достигал насыщения и регистрировал полезный сигнал даже во время глубокого минимума, наблюдавшегося аппаратурой SphinX.

Одним из стандартных вариантов представления данных SphinX является график отсчетов детектора D2, усредненных по интервалам в 5 мин. Пример графика приведен на рис. 1. График обновляется на регулярной основе в течение всей миссии.

Из рис. 1 видно, что наиболее сильный и наиболее изменчивый поток регистрируется в моменты, когда на солнечном диске наблюдаются активные области. Также виден некий “базовый” уровень сигнала в районе 5–6 отсчетов в секунду в детекторе D2, ниже которого поток ни разу не опускался.

Измерения детектора D2 можно использовать также для исследования эволюции активных областей, степени их активности и статистических свойств.

Исследование данных базового режима наблюдений детекторов D1 и D2 аппаратуры SphinX, полученных в периоды наименьшей солнечной активности, показывает, что даже в такие периоды на Солнце происходит множество событий с временными профилями, подобными вспышечным. Такие события показаны на рис. 2, где приведен профиль вспышечной активности развивающейся активной

¹ http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/ofwg/docs/rates/ogip_93_003/ogip_93_003.html

² http://156.17.94.1/sphinX_catalogue/SphinX_cat_main.html

³ http://147.231.104.188/catalog/SphinX_cat_main.html

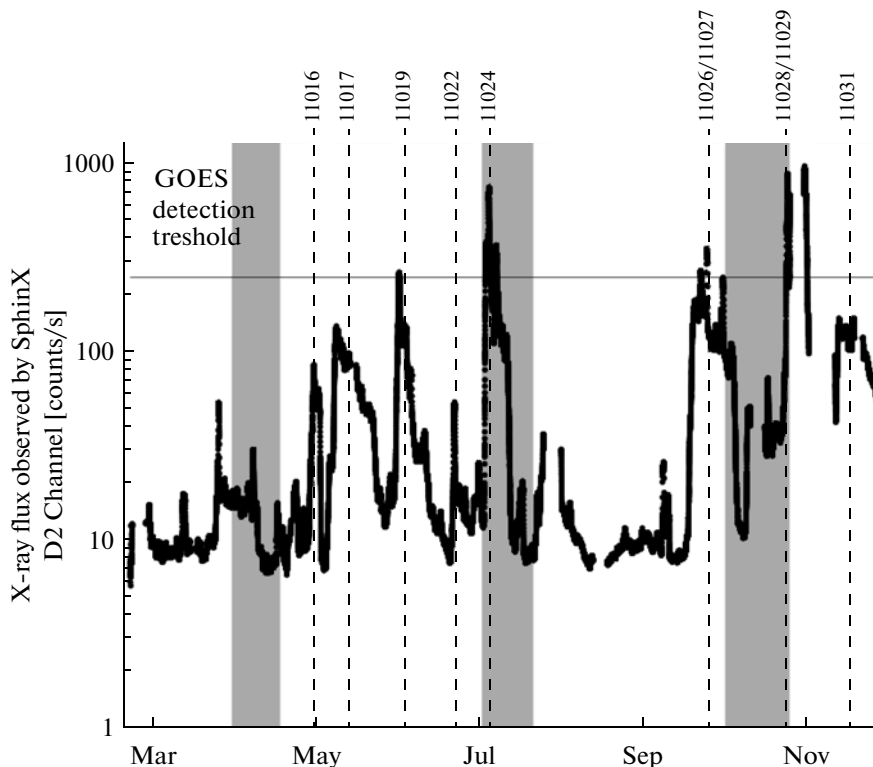


Рис. 1. График интегрального сигнала детектора D2 (усредненный по интервалам 5 мин) спектрофотометра SphinX за все время проведения эксперимента. Над графиком отмечены номера активных областей по классификации NOAA. Заштрихованные области соответствуют теньвым участкам орбиты ИСЗ КОРОНАС-ФОТОН.

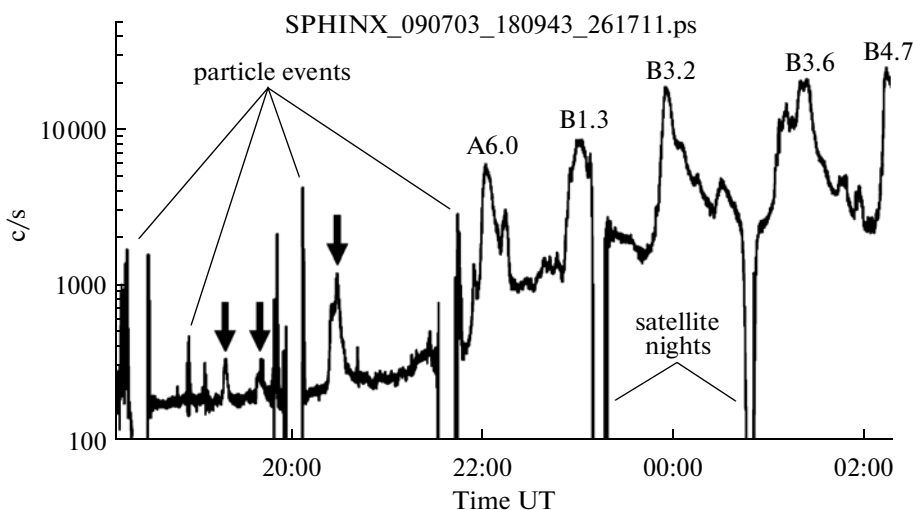


Рис. 2. Начало вспышечной активности по измерениям детектора D1 аппаратуры SphinX 3 июля 2009 г. До 22:00 UT сигнал GOES был абсолютно ровный и находился на уровне пороговой чувствительности 3.7×10^{-9} Вт/м². Толстыми стрелками обозначены три вспышки, не зарегистрированные GOES, так как их мощность ниже пороговой чувствительности аппаратуры GOES.

области 11024, наблюдавшейся 3 июля 2009 года детектором D1 аппаратуры SphinX. Вспышечная активность начинается в ~19:00 UT, однако по данным ИСЗ GOES 1–8 Å проявление активности началось лишь в ~22:00 UT, когда вспышка класса A6.0 пред-

шествовала серии последовательных вспышек классов ~B1–B5. До ~22:00 UT уровень сигнала ИСЗ GOES был абсолютно ровный и находился на уровне пороговой чувствительности 3.7×10^{-9} Вт/м². Толстые стрелки на рис. 2 указывают три вспышеч-

ных события (в 19:18 UT, 19:39 UT и в 20:28 UT), максимум интенсивности которых находится под пороговым уровнем, поэтому эти события не наблюдались ИСЗ GOES. Для описания таких событий мы предлагаем ввести два новых класса, совместимых с классификацией GOES: класс S (от small) – величина потока 10^{-9} – 10^{-8} Вт/м² и класс Q (от quiet) – величина потока 10^{-10} – 10^{-9} Вт/м².

Каталог всех вспышечных событий, наблюдавшихся SphinX, создается в Центре космических исследований Польской академии Наук в г. Вроцлаве. В настоящий момент каталог содержит данные около 800 событий, наблюдавшихся во время глубокого продолжительного минимума между 23-м и 24-м циклом солнечной активности. Из них около 400 событий ниже уровня пороговой чувствительности GOES. Для каждого вспышечного события в каталоге в виде дополнительных флагов добавлена информация о том, было ли событие зарегистрировано полностью или частично, отмечены события, во время которых регистрировались ложные отсчеты, вызванные энергичными частицами, дана информация о наличии на диске активных областей во время события. Кроме событий, наблюдавшихся спектрофотометром SphinX, каталог также содержит события, наблюдавшиеся аппаратурой ИСЗ RHESSI (Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager) и GOES.

Данные, полученные спектрофотометром SphinX в базовом режиме наблюдений, позволяют проводить изучение слабых потоков МР-диапазона, в частности слабых вспышечных событий. Наблюдения подобного типа проводились рентгеновским фотометром РФ-15И-2 (см. Farnik и др., 1995), установленным на спутнике Интербол–Хвостовой зонд (см. Galeev и др., 1996). Спутник был запущен 3 августа 1995 г. и работал также в минимуме солнечной активности между 22-м и 23-м солнечными циклами. За время работы фотометр РФ-15И-2 зарегистрировал несколько сотен очень слабых вспышечных событий ниже уровня чувствительности ИСЗ GOES. Эти события (с интенсивностями 10^{-9} – 10^{-8} Вт/м²) рассматриваются в работах Мирзоевой (2006) и Писаренко и др. (2008), где были названы событиями класса 0.

В работе Мирзоевой (2006) была показана хорошая корреляция мощности слабых вспышек (введенного класса 0 и классов А, В по классификации GOES) с мощностью излучения теплового фона солнечной короны.

Предварительный анализ 533 вспышечных событий, зарегистрированных спектрофотометром SphinX (рассмотрено 194 вспышки класса Q, 185 вспышек класса S, 191 вспышка класса А и 13 вспышек класса В), показывает, что их интенсивности хорошо коррелируют с тепловым МР-излучением короны.

Сравнение частоты появления слабых вспышек с их мощностью, выполненное Мирзоевой (2006), показало, что вспышки класса 0 не соответствуют общей закономерности, характерной для более мощных вспышек. Для вспышек класса А и более мощных частота появления вспышек уменьшается с увеличением мощности. Такая закономерность не верна для вспышек класса 0, для которых наиболее характерны вспышки с интенсивностями 6×10^{-9} Вт/м², частота появления как более сильных, так и слабых вспышек уменьшается при подходе к границам класса 0 (10^{-9} – 10^{-8} Вт/м²). Похожее распределение частоты появления обнаружено для вспышек S-класса по данным SphinX (рассмотрено 185 S-вспышек) – функция распределения имеет один максимум вблизи мощности S5.0 (5×10^{-9} Вт/м²). Для вспышек классов А и В наблюдения SphinX подтвердили “обычную” картину распределения – частота появления вспышек уменьшается с увеличением мощности. В настоящее время по данным SphinX величина мощности вспышек класса Q определяется с большой ошибкой. Анализ зависимости частоты появления вспышек класса Q от их мощности будет выполнен после преобразования всех данных SphinX к данным 1-го уровня, когда точность измерения мощности вспышек будет значительно выше.

Анализ спектрального состава и временных профилей интегрального сигнала для упомянутых 533 вспышек показал, что такие события преимущественно наблюдаются в диапазоне 1–5 кэВ, при этом их профиль редко похож на единичный импульсный всплеск с последующим плавным спадом излучения. Большинство вспышек классов Q, S, А и В имеют профиль с несколькими максимумами, как если бы они состояли из серии более слабых вспышечных событий (см., например, вспышка S-класса в 20:28 UT и последующие вспышки классов А и В на рис. 2). Изучение профилей таких вспышек, разложение их на серии более слабых вспышек позволят больше узнать о высвобождении энергии во вспышках во время низкой солнечной активности. Похожий результат также был получен ранее по данным наблюдений рентгеновского фотометра РФ-15И-2 в эксперименте Интербол–Хвостовой зонд (Писаренко и др., 2008). Наблюдения фотометра РФ-15И-2 и спектрофотометра SphinX свидетельствуют в пользу модели, согласно которой солнечные вспышки представляют собой комплексные многоуровневые явления, в которых более сильные события являются суперпозицией множества более слабых.

Наблюдения спектрофотометра SphinX и фотометра РФ-15И-2 проводились на фазах глубокого солнечного минимума и подъема активности. Для анализа МР-излучения Солнца во время более высокого уровня активности Солнца необходимо привлечение дополнительных данных. Одним из воз-

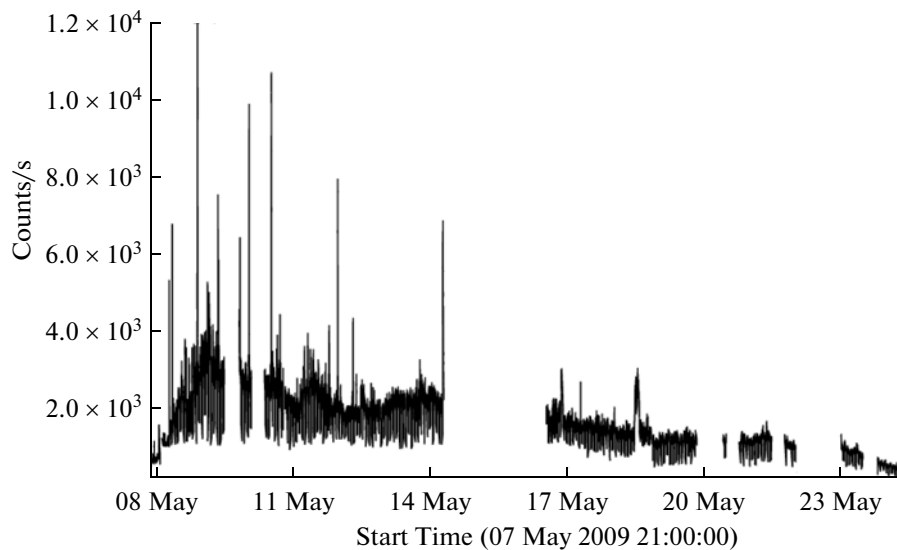


Рис. 3. Эволюция активной области по наблюдениям детектора D1 аппаратуры SphinX. Отдельные вертикальные линии соответствуют индивидуальным вспышкам.

можных “поставщиков” таких данных может являться ИСЗ КОРОНАС-Ф (2001–2005 гг.), который работал вблизи максимума 23-го солнечного цикла. Спутник, на борту которого находилось 15 научных приборов, в том числе для регистрации МР-излучения солнечной короны, начал выполнение научной программы, когда уровень активности Солнца был выше В-класса по шкале GOES. Описание научных приборов спутника и обзор основных результатов приводится в (Oraevsky и др., 2003). Результаты измерений МР-потока излучения Солнца, проведенных на борту ИСЗ КОРОНАС-Ф, качественно и количественно отличаются от данных, полученных SphinX и РФ-15И-2. Тем не менее эти наблюдения взаимно дополняют друг друга и позволяют изучить различие в процессах формирования МР-излучения во время максимума и минимума солнечной активности.

Еще одним направлением исследований, которое можно проводить по данным детекторов D1 и D2 аппаратуры SphinX, является изучение временной динамики потока во время появления и исчезновения активных областей на солнечном диске. Пример данных для такого анализа приведен на рис. 3, где показана динамика потока во время полного цикла жизни активной области 11017. Сигнал в детекторе D1 весьма быстро растет во время фазы появления активной области. Во время этой и более поздней фазы, когда активная область сформировалась на Солнце, наблюдаются частые вспышки. Затем наступает фаза исчезновения области, во время которой наблюдается слабая вспыхивающая активность и поток постепенно исчезает.

Величины интегрального сигнала детекторов D1 и D2 могут также использоваться для изучения физических условий в солнечной плазме перед коро-

нальными выбросами массы (КВМ), которые наблюдаются даже в периоды экстремально низкой солнечной активности. Во время пониженной активности Солнца могут отсутствовать явные признаки появления КВМ, такие как плазменное волокно, димминги, сигмоиды, которые, зачастую, ассоциируются с КВМ во время периодов более высокой солнечной активности. Во время пониженной активности Солнца КВМ могут формироваться без ассоциированных явлений и, если эти КВМ направлены в сторону Земли, могут быть геоэффективными, вызывая магнитные бури в магнитосфере Земли, которые, в свою очередь, совершенно непредсказуемы. Например, пять таких “невидимых” КВМ были сформированы в августе 2009 г., когда на Солнце отсутствовали даже активные области. Исследование динамики интегрального сигнала детекторов D1 и D2 и определение физических параметров плазмы в моменты, предшествующие выбросам КВМ во время спокойного Солнца, поможет пролить свет на общие законы формирования КВМ во время пониженной солнечной активности и разработать методы предсказания КВМ. Это является важным результатом для вопросов солнечно-земных связей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описываются данные наблюдений спектрофотометра SphinX, проведенных в период низкой солнечной активности с 20 февраля 2009 г. до 28 ноября 2009 г.

Обсуждаются вопросы, связанные с калибровкой аппаратуры SphinX, вопросы распространения данных SphinX и доступа к ним.

Данные детекторов D1 и D2 спектрофотометра SphinX могут использоваться для определения физических параметров плазмы спокойного Солнца, таких как температура и мера эмиссии, для исследования эволюции активных областей и статистического анализа. Графики 5-минутного усреднения потока, взятые за весь период эксперимента, показывают общее изменение мягкого рентгеновского потока Солнца. По таким данным хорошо видно, что наиболее сильный и изменчивый поток наблюдается в моменты существования на диске активных областей, а также что существует некий минимальный уровень солнечной активности. Данные детекторов D1 и D2 могут с успехом использоваться для изучения фазы появления, развития и исчезновения активных областей. Анализ данных спектрофотометра SphinX, полученных в базовом режиме непосредственно перед появлением КВМ, может использоваться для изучения общего состояния плазмы, при котором формируется КВМ. Поэтому вполне вероятно применение данных SphinX в областях, связанных с космической погодой – предсказание КВМ, – даже в периоды пониженной солнечной активности.

Проект SphinX был выполнен при финансовой поддержке гранта 4 T12E 045 29 Министерства образования и науки Польши. Проект SphinX проводится в рамках двустороннего соглашения о сотрудничестве в области космических исследований между Польской академией наук и Российской академией наук.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 08-02-01301-а, программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН “Плазменные процессы в Солнечной системе”, гранта № 218816 (проект SOTERIA, www.SOTERIA-space.eu) седьмой рамочной программы Европейского Союза (FP7/2007-2013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гбурек С., Сильвестер Я., Ковалински М. и др.* Спектрофотометр мягкого рентгеновского диапазона SphinX: научные задачи, конструкция и функционирование // *Астрон. вестн.* 2011. Т. 45. № 3.
- Мирзоева И.К.* Микровспышки и тепловой фон солнечной короны // *Письма в Астрон. журн.* 2006. Т. 32. № 1. С. 72–75.
- Писаренко Н.Ф., Мирзоева И.К.* Рентгеновские всплески и возможный сценарий слабых солнечных вспышек // *Космич. исслед.* 2008. Т. 46. № 1. С. 90.
- Collura A., Barbera M., Varisco S., et al.* Calibration of the SphinX experiment at the XACT facility in Palermo // *Proc. SPIE.* 2008. V. 7011. 70112U; doi: 10.1117/12.789277.
- Farnik F., Sylwester J., Likin O.* Interball mission and payload. CNES, IKI. 1995. 256 p.
- Galeev A.A., Galperin Yu.I., Zelenyi L.M.* The project INTERBALL to study solar–terrestrial physics // *Cosm. Res.* 1996. V. 34. № 4. P. 339–362.
- Oraevsky V.N., Sobelman I.I., Zitnik I.A., et al.* Coronas-f observations of active phenomena on the Sun // *Adv. Space Res.* 2003. V. 32. Iss. 12. P. 2567–2572.

Сдано в набор 18.11.2010 г.	Подписано к печати 31.01.2011 г.	Формат бумаги 60 × 88 ¹ / ₈
Цифровая печать	Усл. печ. л. 12.0	Уч.-изд. л. 12.1
	Тираж 92 экз.	Усл. кр.-отт. 1.2 тыс.
		Зак. 1175

Учредители: Российская академия наук,
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”, 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90
Оригинал-макет подготовлен МАИК “Наука/Интерпериодика”
Отпечатано в ППП “Типография “Наука”, 121099 Москва, Шубинский пер., 6