**ВРЕМЕННЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ МЯГКОГО
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОЙ
ОБЛАСТИ NOAA 1024, ЗАРЕГИСТРИРОВАННОГО ПРИБОРОМ
"ПИНГВИН-М" В ПЕРИОД ГЛУБОКОГО МИНИМУМА
СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ИЮЛЕ 2009 ГОДА**

**Савченко М.И., Ватагин П.В., Дмитриев П.Б., Огурцов М.Г.,
Круглов Е.М., Лазутков В.П., Скородумов Д.В., Шишов И.И.**
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

**TEMPORAL AND ENERGY SPECTRA OF SOFT X-RAY RADIATION
OF THE SOLAR ACTIVE REGION NOAA 1024, RECORDED BY THE
PINGVIN-M INSTRUMENT DURING THE PERIOD OF THE DEEP
MINIMUM OF SOLAR ACTIVITY IN JULY 2009**

**Savchenko M.I., Vatagin P.V., Dmitriyev P.B., Ogurtsov M.G.,
Kruglov E.M., Lazutkov V.P., Skorodumov D.V., Shishov I.I.**
Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia

The paper presents the results of processing data of the soft X-ray radiation of the Sun, obtained by the "PINGVIN-M" instrument on board an automatic orbital station "CORONAS-FOTON" in July 2009. Its high sensitivity combined with effective compensation of the magnetospheric background in most parts of the orbit allowed for a detailed study of the evolution of x-ray radiation of the active region and its x-ray flares: from microflashes to class C flares. The analyzed data refer to the period of a deep minimum of solar activity, when only one active region radiating in the soft x-ray range was present on the solar disk. This allowed, with an instrument that receives radiation from the entire solar disk, to study the characteristics of soft x-ray radiation of this region without additional background. Therefore an essential enhancement of the reliability is achieved in estimating the temporal parameters and X-ray energy spectra derived from experimental data.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-349-352

1. Введение

Если в начальный период изучения рентгеновского излучения Солнца основное внимание уделялось мощным событиям, то в последнее время много внимания уделяется слабым вспышкам [1, 2]. Интерес к слабым вспышкам возрос с появлением приборов с пространственным разрешением в рентгеновской области. Проблема изучения слабых событий приборами, регистрирующими мягкое рентгеновское излучение от всего Солнца, заключается в высокой интенсивности постоянного потока Солнца в этом диапазоне. При изучении слабых вспышек это излучение является фоновым. При высокой солнечной активности его интенсивность может достигать интенсивности излучения вспышек класса C (10^{-6} Вт/м²).

2009 год был годом глубокого минимума солнечной активности. Интенсивность мягкого рентгеновского излучения от всего Солнца в отсутствии активных образований была ниже $4 \cdot 10^{-9}$ Вт/(м²·с). Это позволило с помощью прибора «ПИНГВИН-М», регистрирующего излучение от всего Солнца, изучать мягкое рентгеновское излучение солнечных активных областей с высокой чувствительностью. В данной работе представлены результаты изучения мягкого рентгеновского излучения активной области АО 1024, существовавшей в первой половине июля 2009 года.

2. Регистрация мягкого рентгеновского излучения прибором «ПИНГВИН-М» на борту станции «КОРОНАС-ФОТОН»

При работе на околоземной орбите скорость счета в детекторах рентгеновского излучения складывается из излучения Солнца и магнитосферного фона. Прибор «ПИНГВИН-М» [3] входил в комплекс научной аппаратуры орбитальной станции «КОРОНАС-ФОТОН». Станция находилась на круговой орбите с высотой 500 км и высоким углом наклона орбиты, что определило регулярный заход станции в области зон “отрогов” радиационных поясов Земли и Южно-Атлантической магнитной аномалии, а также существование определенного фона в детекторах по всей орбите.

Детектором мягкого рентгеновского излучения в приборе «ПИНГВИН-М» был пропорциональный детектор, регистрирующий излучение в диапазоне энергий 1,7–20 кэВ в 11 энергетических каналах. Детектор имел 4 секции, две из которых, предназначенные для регистрации рентгеновского излучения от Солнца – S10 и S01, имели сильно отличающуюся эффективность по отношению к этому излучению и близкую эффективность по отношению к магнитосферному фону. Взяв разницу скоростей счета в этих секциях мы эффективно компенсировали магнитосферный фон на большей части орбиты. Участки с остаточным фоном исключались из ряда данных по виду (жесткости) приборного спектра.

3. Анализ излучения активной области (АО) 1024

Активная область 1024 существовала с 04 июля по московскому времени (03 июля по UT) до 12 июля 2009 года [4].

На рис. 1 приведен ряд полученных нами данных по мягкому рентгеновскому излучению АО 1024, очищенный от магнитосферного фона. На рисунке приведена скорость счета в детекторе для энергетического диапазона 1,7–5,5 кэВ. Основная вспышечная активность области проявилась в первые два-три дня ее существования.

Нами был проведен Фурье анализ излучения за наиболее активный период 03–06.07.2009. Спектр Фурье приведен на рис. 2. Выявляются периоды 10 часов, 5,5 часов, 5 часов 3 часа.

Для исследования более высокочастотной составляющей излучения вспышек был использован вейвлет-анализ. Из исходного ряда были удалены

Рис. 1.

долговременные вариации. Для этого он был разложен на 8 спектральных компонентов. На рис. 3 приведен результат вейвлет-анализа ряда данных за первые 6 часов существования области 03.07.2009 21:00UT – 04.07.2009 03:00 UT. Где А – исходный ряд; В – сумма среднего значения и первой восстановленной компоненты; С – вторая восстановленная компонента; D – сумма всех восстановленных компонент кроме первой (высокочастотная часть исходного ряда); Е – вейвлетный спектр (базис Морле) высоко-частотной части (D); F – локальный спектр.

Рис. 2.

Рис. 3.

Как видно из рисунка 3 во время вспышек 3-5 возникают осцилляции, с периодом близким к 300 секундам (5 минутам), что согласуется с представлениями о модуляции тока магнитных петель пятиминутными осцилляциями фотосферной конвекции [5].

Аналогичный анализ, проведенный для следующих двух 6-часовых интервалов: 04.07.2009 03:00UT – 04.07.2009 09:00 UT и 04.07.2009 09:00UT – 04.07.2009 12:00 UT привел к значениям периодов осцилляций во время наиболее мощных событий 200 и 260 секунд соответственно. Анализ других наиболее интенсивных событий привел к следующим значениям периодов T осцилляций для вспышек: 04.07.2009 22:09 UT B5.9 $T = 800$ с; 05.07.2009 01:15 UT B5.9 $T = 200$ с; 05.07.2009 02:13 UT B2.2 $T = 400$ с; 05.07.2009 04:47 UT B2.3 $T = 250$ с; 05.07.2009 06:14 UT B5.1 $T = 300$ с; 05.07.2009 07:13 UT C2.7 $T = 500$ с.

В модели вспышки, рассматривающей магнитную петлю как эквивалентный электрический контур [6], собственная частота такого контура заключена обычно в пределах 10^{-3} – 10^{-1} Герц. Полученные нами значения периодов соответствуют этому диапазону.

Благодаря благоприятным фоновым условиям мы исследовали рентгеновское излучение активной области вне вспышек и восстановили по нему температуру и меру эмиссии излучающих областей, взяв соотношение этих параметров и спектра излучения на орбите Земли [7]. На рис. 4 приведены значения T и EM за время существования АО.

Рис. 4.

Слабое рентгеновское излучение области мы регистрировали вплоть до 03:40 UT 13.07.2009.

Литература

1. Paul J. Wright, Iain G. Hannah, Brian W. Grefenstette, et al // *Astrophys. J.* 2017. 844:132.
2. Arnold O. Benz and Paolo C. Grigis // *Solar Physics*, 2002, Vol. 210, pp 431–444.
3. Котов Ю.Д., А.С. Гляненько, А.И. Архангельский и др. // *Астрономический вестник*, 2011, том 45, № 2, с. 1–11.
4. http://thesis.lebedev.ru/active_areas.html
5. Зайцев В.В., К.Г. Кислякова // *Известия вузов. Радиофизика*, 2012, Т. 55, № 7, с. 473–484.
6. Зайцев В.В., Степанов А.В. // *УФН*, 2008. Т. 178, № 11, с. 1165–1204.
7. Crannell C.J., K.J. Frost, C. Matzler, et al. // *Astrophys. J.*, 1978, Vol. 223, (2), pp. 620–637.