

УДК 520.6+520.8

Ю. Д. Котов, В. Н. Юров, А. И. Архангельский, М. В. Бессонов, А. С. Буслов,  
К. Ф. Власик, А. С. Гляненко, В. В. Кадилин, Е. Э. Лупарь, И. В. Рубцов, В. Г. Тышкевич

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

## СПЕКТРОМЕТР ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ «НАТАЛЬЯ-2М». ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ, ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ И НАСТРОЙКА НА ОРБИТЕ КА КОРОНАС—ФОТОН

*Прилад «Наталья-2М» у складі КА КОРОНАС-ФОТОН запущено з космодрому Плесецьк (Росія) на навколосезну орбіту 30 січня 2009 р. 19 лютого прилад було увімкнено, перевірено справність його вимірювальних каналів, підлаштовано детектори і виміряно їхні льотні характеристики. Зараз прилад функціонує в робочому режимі та виконує програму наукових експериментів.*

Космический аппарат КОРОНАС—ФОТОН с комплексом научной аппаратуры (КНА) ФОТОН был запущен с космодрома Плесецк 30 января 2009 г. и ракетой носителем «Циклон-3» выведен на околоземную орбиту с высотой около 550 км и наклоном 82.5°.

Космический эксперимент КОРОНАС—ФОТОН проводится с целью исследования процессов накопления энергии и её трансформации в энергию ускоренных частиц во время солнечных вспышек, изучения механизмов ускорения, распространения и взаимодействия энергичных частиц в атмосфере Солнца, исследования корреляции солнечной активности с физико-химическими процессами в верхней атмосфере Земли. Модель КА КОРОНАС—ФОТОН с комплексом научной аппаратуры представлена на рис. 1.

Прибор «Наталья-2М» является одним из основных в КНА и использует около 40 % выделенных весовых, энергетических и информационных ресурсов. Он предназначен для регистрации гамма-излучения солнечного и космического происхождения и солнечных нейтронов, измерения их амплитудных и временных спектров в

диапазонах энергии: 0.2—1600 МэВ для гамма-излучения, 20—300 МэВ для нейтронов.

На рис. 2 показана структура прибора. Он состоит из регистрирующего блока (РБ) и блоков электроники. В состав РБ входят: спектрометр энергии из двух секций СЕ-1М и СЕ-2М, детекторы заряженных частиц АК и АС, используемые в режиме антисовпадений.

Для уменьшения влияния перегрузки при регистрации мощных событий СЕ-1М и СЕ-2М собраны из отдельных светоизолированных сцинтилляционных модулей. В каждой из секций два слоя по 4 модуля, ориентированных в перпендикулярных направлениях. Модули с противоположных торцов просматриваются двумя фотоумножителями. Для выравнивания и стабилизации коэффициентов усиления всех каналов используются системы автоподстройки. Чувствительная площадь спектрометров — 38 × 32 см.

Блоки электроники обеспечивают низковольтное и высоковольтное питание, управление, контроль состояния, сбор, накопление и вывод научной информации. Все блоки прибора размещены в гермоотсеке КА. В таблице приведены характеристики прибора «Наталья-2М» и его каналов регистрации.

Вывод данных с прибора осуществляется по шести независимым каналам обмена информа-

© Ю. Д. КОТОВ, В. Н. ЮРОВ, А. И. АРХАНГЕЛЬСКИЙ,  
М. В. БЕССОНОВ, А. С. БУСЛОВ, К. Ф. ВЛАСИК,  
А. С. ГЛЯНЕНКО, В. В. КАДИЛИН, Е. Э. ЛУПАРЬ,  
И. В. РУБЦОВ, В. Г. ТЫШКЕВИЧ, 2010

цией с телеметрической системой сбора и регистрации научной информации (ССРНИ). Суммарная суточная информационная квота составляет около 500 Мбайт.

На рис. 3 показана функциональная схема системы автоподстройки прибора. Световой импульс от образцового (стабильного) генератора с помощью волоконно-оптического световода вводится в кристалл, распространяется в нём и через оптические контакты попадает на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). С анода ФЭУ электрический импульс поступает на предусилитель и затем на плату стабилизации (ПС), на вход управления которой поступает сигнал с генератора. Прошедшие схему пропускания сигналы интегрируются и сравниваются с опорным напряжением, величина которого определяется поданным на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) кодом. Выходной ток, вырабатываемый ПС, управляет значением напряжения на делителе ФЭУ. Для компенсации изменения светового потока диода предусмотрена возможность управления его величиной с помощью ЦАП. По команде может осуществляться переход с основного на резервный светодиод.

Для привязки шкал каналов прибора к значениям энергии и настройки используется система полётной калибровки с применением «меченых» гамма-квантов, образующихся при распаде радиоактивного изотопа Со-60, внедренного в

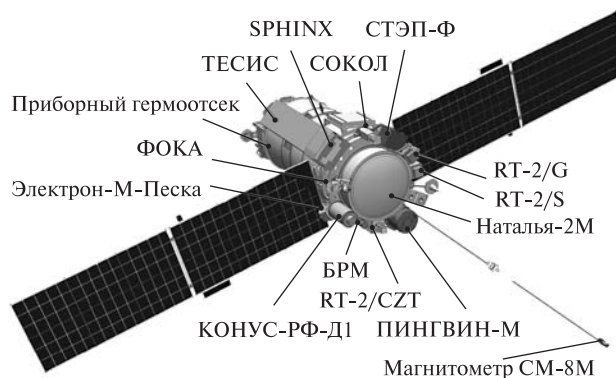


Рис. 1. Размещение комплекса научной аппаратуры на борту КА КОРОНАС—ФОТОН

сцинтиллятор. Сопровождающие каждый распад электроны регистрируются сцинтилляционным детектором, электрическая схема которого вырабатывает сигнал «мечения». По этому сигналу формируются калибровочные спектры. Более подробно спектрометр «Наталья-2М» описан в работах [1, 2].

Прибор был включен и начал функционировать на орбите 19 февраля 2009 г. Все поданные на борт команды были отработаны правильно. В первую очередь на этапе проверки работоспособности был проведён анализ скоростей счёта интенсивметров. На рис. 4 показано характерное изменение скоростей счёта  $f$  при прохождении прибором полярных областей, экваториальных

#### Основные характеристики прибора «Наталья-2М»

Канал	Энергетический диапазон, МэВ	Эффективная площадь, см <sup>2</sup>	Энергетическое разрешение $\Delta E/E$	Время накопления
<i>Рентген и гамма-излучение</i>				
R	0.2—2	920	10—11 % (662 КэВ) измеренное	Спектры: 1 с Интенсиметры: 0.1 с
L	1—18	900	5.9 % (2.2 МэВ) измеренное 4.6 % (4.4 МэВ) измеренное	Спектры: 10 с Интенсиметры: 1 с
M	7—250	800	6 % (10 МэВ) расчет 26 % (120 МэВ) измеренное	Спектры: 10 с Интенсиметры: 1 с
H	50—1600	750	26 % (120 МэВ) измеренное	Спектры: 10 с Интенсиметры: 1 с
<i>Нейтроны</i>				
N	20—300	40—120	—	Спектры: 70 с Интенсиметры: 1 с

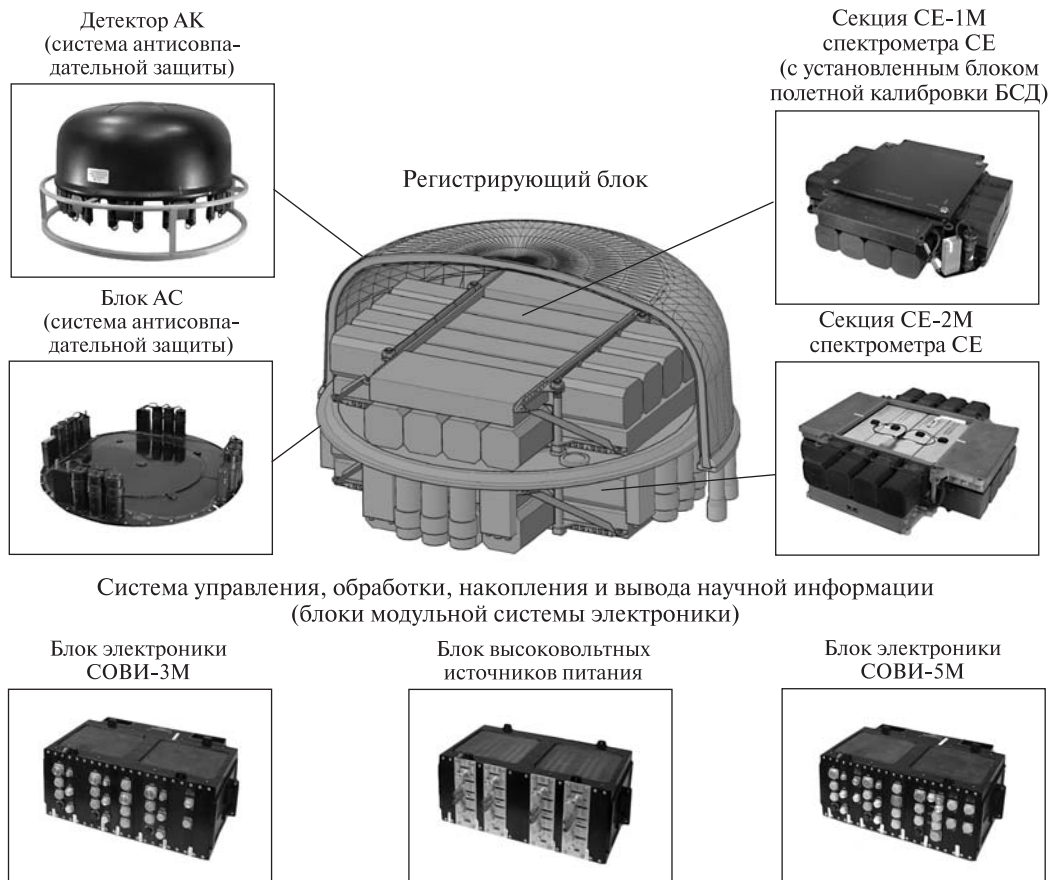


Рис. 2. Структурная схема прибора «Наталья-2М»

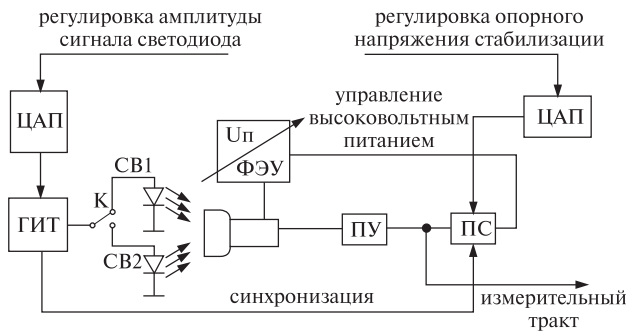


Рис. 3. Функциональная схема системы автоподстройки прибора «Наталья-2М»

зон, Южно-атлантической аномалии. Скорости счёта на орбите изменяются в сотни раз. При прохождении ЮАА было установлено нарушение функционирования системы стабилизации. Видно, что при прохождении КА краёв ЮАА

система работала правильно, но после прохождения центральной зоны скорости счёта модулей слоя С значительно возросли и не возвращались в рабочую область, так как напряжения на ФЭУ выходили за пределы рабочих значений. В результате имитации данного явления на наземном стенде и экспериментальной отработки на орбите был выработан алгоритм подачи управляющих команд на прибор, восстанавливающий нормальное функционирование системы стабилизации после прохождения ЮАА.

За 3–5 мин до входа в зону ЮАА на входы ЦАП всех ФЭУ спектрометра СЕ подаются коды «0» и на делителях устанавливаются минимальные напряжения. Скорости счёта значительно уменьшаются. Через 3–5 мин после выхода из зоны ЮАА на входы ЦАП повторно подаются коды «0» и затем «рабочие» коды, восстанавли-

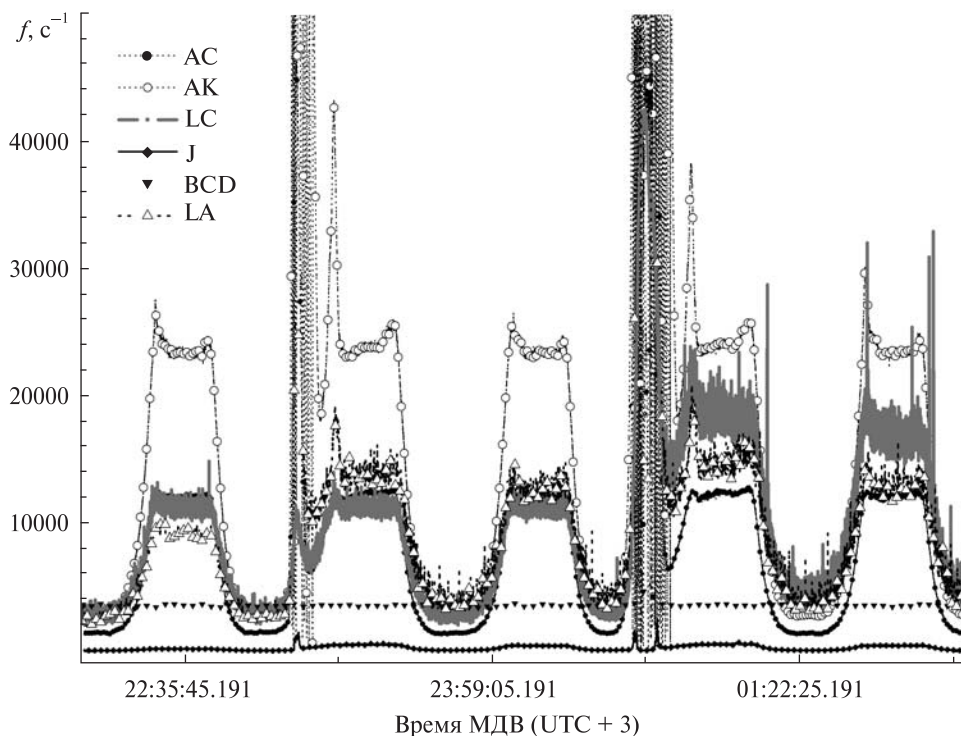


Рис. 4. Изменение скорости счета  $f$  при прохождении ЮАА

вающие режим функционирования. Скорости счета всех интенсиметров восстанавливаются.

После завершения проверки работоспособности прибора был проведен этап настройки и градуировки детекторов. В ходе проведения космического эксперимента для настройки и градуировки прибора «Наталья-2М» использовались следующие средства и методы:

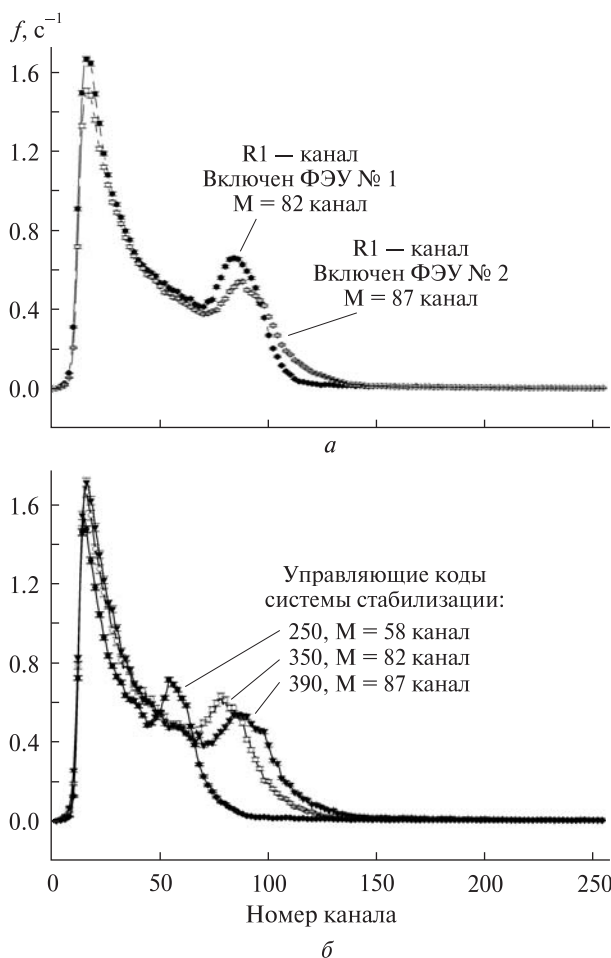
- регистрация спектров от источника «меченых» гамма-квантов для всех энергетических диапазонов;
- регистрация спектров от локального фона для энергетических диапазонов R и L;
- регистрация спектров энерговыделений протонов первичного космического излучения для энергетических диапазонов M и H. Отбираются энерговыделения частиц, прошедших по одной полосе в каждом из слоев СЕ и зарегистрированные АК и АС.

На рис. 5, а в качестве примера приведены энергетические спектры отдельных ФЭУ от источника «меченых» гамма-квантов, измеренные на орбите КА. Видно расхождение положений

пиков примерно на 5 %. Так как в R, L, M и H-диапазонах для анализа используются суммарные сигналы с групп ФЭУ, этот эффект заметно ухудшает энергетическое разрешение спектрометра.

Были выполнены работы по подстройке коэффициентов усиления всех 32 ФЭУ обеих секций спектрометра СЕ. На рис. 5, б показано изменение положений пиков в зависимости от поданных кодов на ЦАП ФЭУ № 1 канала R1. Подстройка проводилась таким образом, чтобы положения пиков при измерениях на орбите совпали с положениями, зафиксированными при наземных испытаниях.

Время набора одного спектра составляло 1–1.5 ч. За сутки удавалось подобрать рабочий режим для одного ФЭУ, так как использовались только определенные участки орбиты КА, не включающие зоны радиационных поясов и полярные области. На рис. 6 показаны калибровочные спектры в каналах R3 («меченые» гамма-кванты), M и H (заряженные частицы) после подстройки.



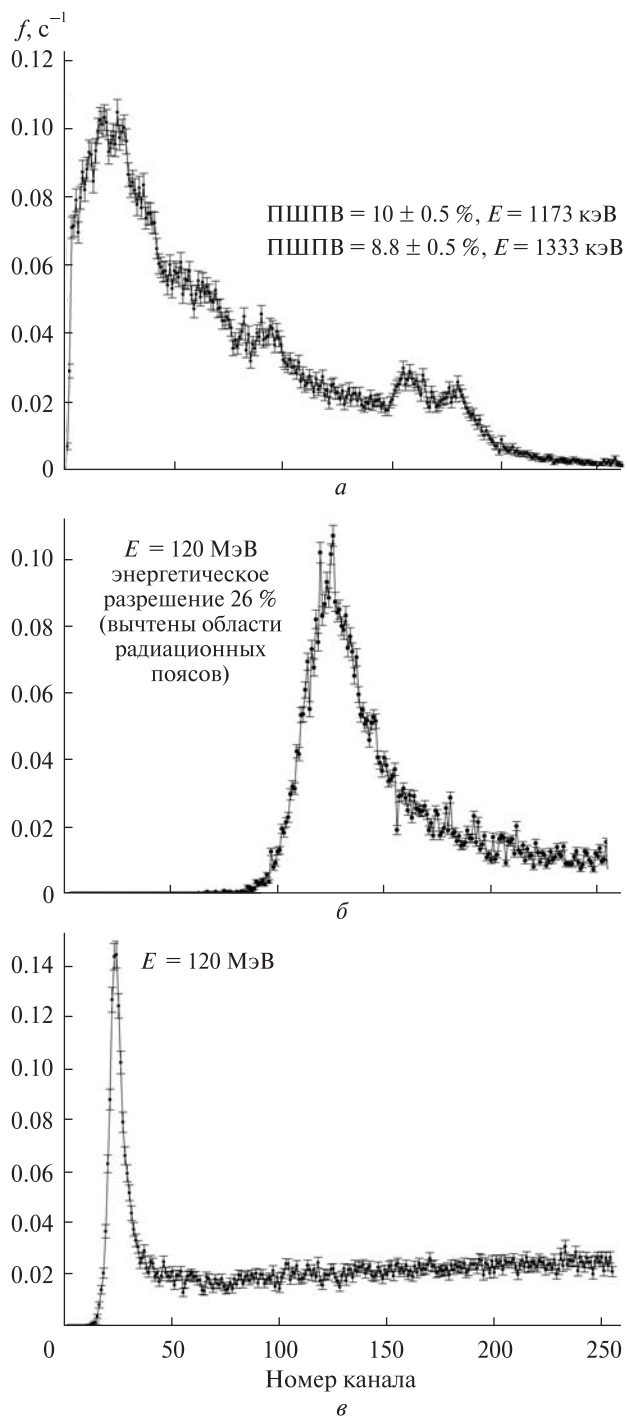
**Рис. 5.** Спектры совпадений с БСД (источник  $\text{Co-60}$ ) в энергетическом канале R1 (0.2–2 МэВ) при отдельном включении ФЭУ № 1 и ФЭУ № 2 детектора R1 (а) и изменение положения пиков от калибровочного источника в зависимости от управляющих кодов системы стабилизации канала R1 (б)

В результате анализа спектров уточнены следующие характеристики прибора при лётных испытаниях:

- энергетические диапазоны каналов регистрации,
- энергетическое разрешение.

Полученные результаты приведены в таблице. Они незначительно отличаются от предполётных наземных калибровок.

В процессе настройки также проводился выбор порогов по энерговыделению для детекторов АК и АС. На рис. 7 показаны скорости счета



**Рис. 6.** а — Спектр совпадений с БСД (источник  $\text{Co-60}$ ) в энергетическом канале R3 (0.2–2МэВ) прибора «Наталья-2М»; б, в — спектры энерговыделений заряженных частиц (протонов) в энергетических каналах М (7–250 МэВ) и Н (50–1600 МэВ), набранные в режиме телескопа



заряженных частиц детекторами АК и АС. Их величины на орбите изменяются до сотен раз. Сигналы с АК и АС поступают на входы «запрета» амплитудно-цифровых преобразователей (АЦП) каналов и, в основном, они определяют «мертвое» время прибора. Для выбора величины порога были проведены измерения с различными значениями в диапазоне 0.25—4.0 МэВ. Величины порога устанавливались с помощью команд. В результате измерений было установлено, что изменение порога с 0.25 до 1.0 МэВ уменьшает скорость счета примерно в 1.5 раза. Выбраны рабочие пороги 1.0 МэВ, при этом «живое» время АЦП составляет в районе экватора 96—97.5 %, а в полярных областях — 84—89 %. При прохождении прибором ЮАА «жи-

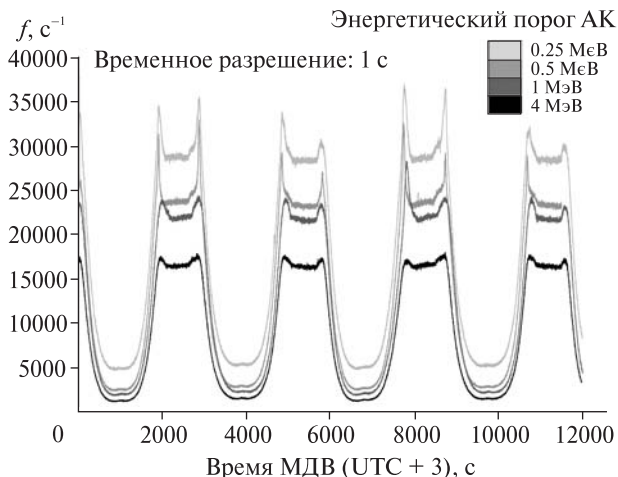


Рис. 7. Темп счета заряженных частиц детектором АК в зависимости от порога регистрации

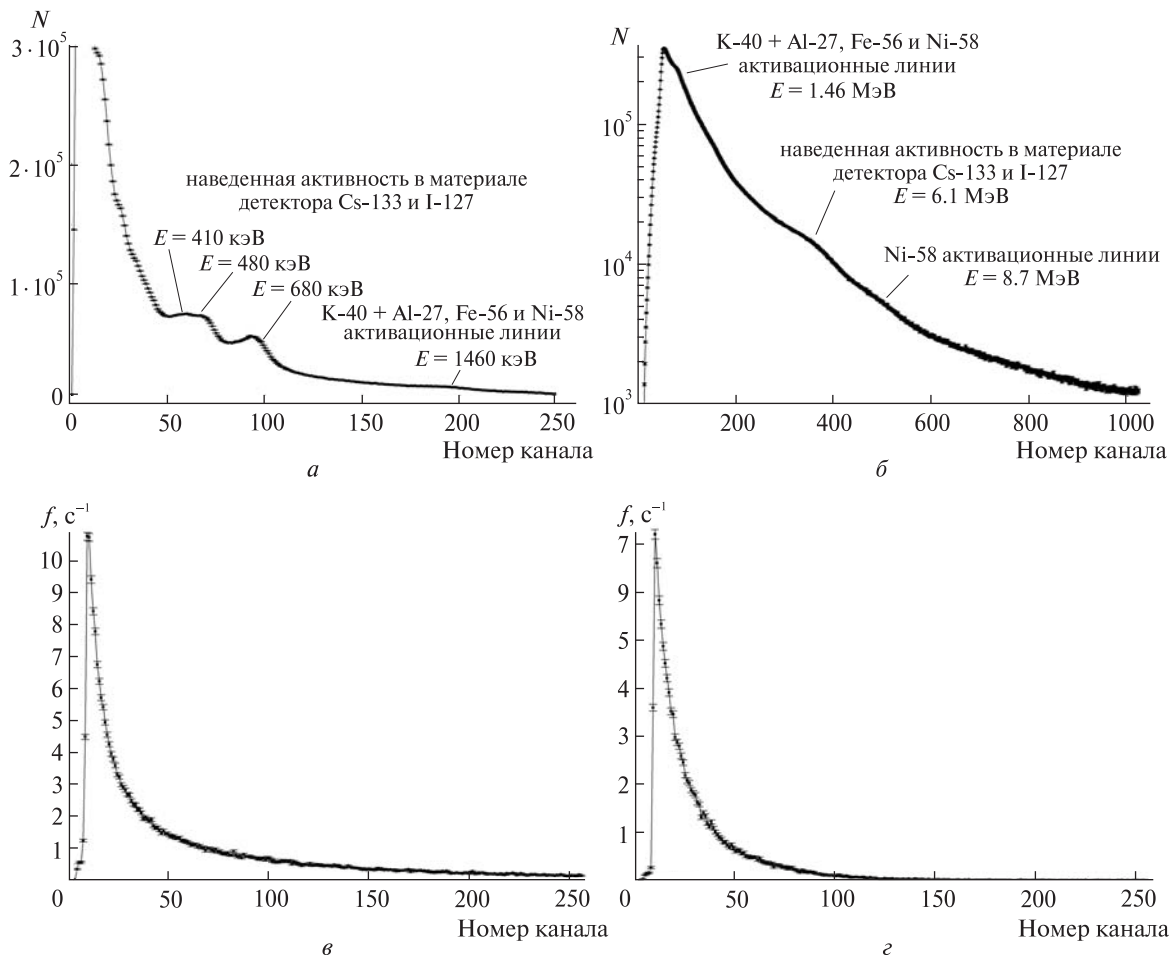


Рис. 8. Фоновые спектры в энергетических каналах прибора «Наталья-2М»: а — R3 (0.2—2 МэВ), б — L (1—18 МэВ), в — M (7—250 МэВ), г — H (50—1600 МэВ)

вое» время АЦП не превышает 7 %, т. е. прибор практически полностью блокируется.

После завершения настройки прибор «Наталья-2М» в полном объеме стал выполнять запланированную программу научных экспериментов. К сожалению, из-за низкой активности Солнца вспышек за прошедший период эксплуатации зарегистрировано не было. В качестве примера на рис. 8 показаны фоновые энергетические спектры, набранные в R, L, M и H-каналах 23 июня 2009 г. В R-канале хорошо видны проявления линий активации сцинтилляционных детекторов CsI(Tl) в областях энергий 410, 480 и 680 кэВ и конструктивных элементов прибора в области 1460 кэВ. В L-канале видны слабо выраженные линии от активации CsI(Tl) и конструктивных элементов прибора и КА (1.46, 6.2 и 8.7 МэВ). Положения активационных линий будут использоваться для контроля характеристик каналов в полёте. В M и H-каналах никаких особенностей в спектрах не наблюдается.

За время настройки и проведенных измерений прибором «Наталья-2М» было зарегистрировано несколько событий типа «гамма-всплеск» (GRB 090408, GRB 090618 и др.). Временные профили событий хорошо согласуются с измерениями, сделанными другими приборами КНА «ФОТОН» (ПИНГВИН-М, КОНУС-РФ, БРМ), что подтверждает возможность регистрации солнечных вспышек и измерения их временных профилей и энергетических спектров.

В настоящее время прибор «Наталья-2М» функционирует в рабочем режиме и выполняет запланированную программу экспериментов.

1. Kotov Yu. D., Arkhangelsky A. I., Yurov V. N., et al. // Instrum. and Exp. Techn. — 1999. — 2, N 5. — P. 590—595.
2. Kotov Yu. D., Samoilenko V. T., Arkhangelsky A. I., et al. // Instrum. and Exp. Techn. — 1999. — 2, N 5. — P. 608—613.

Надійшла до редакції 01.10.09

*Yu. D. Kotov, V. N. Yurov, A. I. Arkhangelsky,  
M. V. Bessonov, A. S. Buslov, K. F. Vlasik,  
A. S. Glyanenko, V. V. Kadilin, E. E. Lupar,  
I. V. Rubtsov, V. G. Tyshkevich*

#### THE HIGH-ENERGY RADIATION SPECTROMETER NATALYA-2M. INITIAL SWITCHING ON, TESTING THE OPERATION AND TUNING IN THE ORBIT OF THE SATELLITE CORONAS-PHOTON

The high-energy radiation spectrometer Natalya-2M with the complex of scientific instruments PHOTON onboard the satellite CORONAS-PHOTON was launched into a near-earth circular orbit on 30 January 2009. The device Natalya-2M is intended for the detection of gamma rays and neutrons in solar flares. The energy ranges are 0.2—1600 MeV for gamma rays and 20—300 MeV for neutrons. Before switching on the device in the orbit, its condition was analyzed with the use of onboard satellite telemetry data. On 19 February 2009 the instrument Natalya-2M was switched on. First and foremost the operation of all measuring channels was tested. On the next stage the optimization of detector SE parameters and the restoration of stabilization spectrometric channels system after passing the South Atlantic Anomaly (SAA) were performed.

We obtained the following results:

- an algorithm for the control cyclogram was selected for restoring the stabilization system after passing the SAA;
- the tuning of the Natalya-2M spectrometric detectors was made with the use of the calibrating radiation source;
- the optimal energy levels for anti-coincidence scintillation detectors were chosen.

At present the Natalya-2M instruments are functioning in working mode and are implementing the projected experiment program.