

УДК 523.165+523.14+523.76

Научные задачи международного космического эксперимента КОРОНАС-ФОТОН

А. В. Дудник, И. И. Залюбовский

Харківський національний університет ім. В. М. Каразіна

Надійшла до редакції 03.04.2000

Приведено опис наукових цілей та задач міжнародного космічного експерименту КОРОНАС-ФОТОН, третього в серії супутників КОРОНАС. Представлено опис окремих приладів з комплексу бортової апаратури та наземних установок для супроводження наукового експерименту. Подаються попередні результати пробних включень установок для дослідження височастотного радіовипромінювання магнітосфери Землі.

ВВЕДЕНИЕ

Международный проект КОРОНАС-ФОТОН является третьим в серии проектов КОРОНАС, предназначенных для исследования процессов солнечного энерговыделения и глобальных солнечно-земных связей. Он является составной частью Национальной космической программы Украины и входит в Федеральную программу фундаментальных космических исследований России по разделу солнечно-земных связей. Кроме этого, проект ФОТОН — один из немногих, входящих в совместную программу Российской академии наук, Национальной академии наук Украины и космических агентств обеих стран по фундаментальным космическим исследованиям с использованием автоматических космических аппаратов.

Отличительными особенностями третьего из проектов КОРОНАС являются комплексные исследования высокоэнергетичного электромагнитного и корпускулярного излучений Солнца с высокой эффективностью на специализированном спутнике, изучение солнечно-земных связей путем наземного сопровождения спутникового эксперимента [3, 6].

В реализации проекта принимают участие немецкие и индийские ученые и специалисты на

основании программы научно-технического сотрудничества между Россией, Германией и Индией [8, 9].

Спутник, на котором устанавливается научная аппаратура, имеет круговую орбиту высотой 500 км с углом наклона 82.5°. Точность ориентации на Солнце — лучше 10'. Общий вес бортовой научной аппаратуры составляет 650 кг.

ЦЕЛИ И НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Основными целями проекта являются:

1. Изучение жестких электромагнитных и корпускулярных излучений Солнца с помощью бортовой научной аппаратуры и идентификация всплесков этих излучений с солнечными вспышками и радиовсплесками по наземным наблюдениям в оптическом и радиодиапазонах;

2. Исследование воздействия солнечной активности в различных диапазонах длин волн на геоэффективные параметры, характеризующие состояние электромагнитной и радиационной обстановок в окрестностях Земли.

Задачи, решаемые комплексом бортовой научной аппаратуры, следующие:

— изучение временной динамики энергетических спектров жесткого электромагнитного излучения в широком энергетическом диапазоне от 12 кэВ до 2000 МэВ, создаваемого ускоренными во вспышках электронами, протонами и ядрами при их взаимодействии с атмосферой Солнца;

— проведение спектроскопических наблюдений линейчатого гамма-излучения ядерного происхождения и позитронной линии;

— измерения линейной поляризации жесткого рентгеновского излучения в диапазоне 20—150 кэВ во вспышках;

— изучение быстрой переменности рентгеновского излучения во вспышках;

— измерения вспышечного и медленно изменяющегося вакуумного УФ-излучения;

— затменные (атмосферой Земли) измерения УФ-излучения короны Солнца в семи спектральных окнах;

— измерения потоков нейтронов солнечного происхождения с энергией выше 5 МэВ;

— изучение энергетических спектров и зарядового состава ядер, ускоренных во время солнечных вспышек;

— регистрация и изучение динамики потоков электронов, протонов и альфа-частиц солнечного и магнитного происхождения, а также их взаимосвя-

зи с квазипостоянными и низкочастотными полями на орбите спутника.

Наземный комплекс аппаратуры предназначен для решения следующих задач [2]:

— идентификация рентгеновских и гамма всплесков с источниками оптического излучения путем использования цифровых изображений Солнца в ИК-линии Солнца $\lambda = 1083$ нм и линии H_{α} водорода;

— изучение взаимосвязи между всплесками жесткого электромагнитного излучения Солнца и случаями повышения яркости на видимом диске Солнца в оптическом диапазоне;

— наблюдение солнечного радиоизлучения на частотах 2.5 и 2.85 ГГц, и в континууме метрового диапазона длин волн;

— исследование условий и пространственных областей генерации серий всплесков высокочастотного радиоизлучения околоземного космического пространства во время различных проявлений солнечной активности и магнитосферных бурь;

— регистрация потоков ускоренных протонов и ядер косвенными наземными методами;

— выявление корреляционной взаимосвязи спорадического радиоизлучения магнитосферы Земли с динамикой радиационных поясов Земли и солнечной активностью.

Таблица 1. Бортовая научная аппаратура проекта КОРОНАС-ФОТОН

Аппаратура	Название	Разработчики
Спектрометр высокоэнергетич- ных излучений «Наталья-2М»	Временные профили и амплитудные спектры гамма-излучения в диапазоне 0.3—2000 МэВ. Регистрация нейтронов с энергиями 10—300 МэВ	Московский государственный инженерно-физический институт (МИФИ), Физический институт РАН (ФИАН)
Спутниковый телескоп энергич- ных частиц СТЭП-Ф	Питч-угловые зависимости и энергетические спектры электронов — 0.4—14 МэВ, протонов — 9.8—61 МэВ, альфа-частиц — 37—245 МэВ	Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
Телескоп низкоэнергетичного гамма-излучения РТ-2	Временные профили и амплитудные спектры рентгеновского излучения в диапазоне 20—200 кэВ (фосвичмода с коллиматором); 0.1—2.0 МэВ (всенаправленный детектор)	Tata Institute of Fundamental Research (Bombay, India)
Поляриметр жесткого рентгено- вского излучения «Пингвин»	Линейная поляризация жесткого рентгена, $E_x = 20—150$ кэВ. Рентгеновская и гамма-спектрометрия, $E_x = 20—1000$ кэВ. Регистрация нейтронов с энергиями 5—50 МэВ	Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН (ФТИ РАН) — головной, МИФИ
Быстрый рентгеновский мони- тор БРМ	Быстрый тайминг жесткого рентгена, $E_x = 20—500$ кэВ в шести энергетических каналах	МИФИ
Анализатор заряженных частиц «Электрон-5-Песка»	Регистрация электронов с энергиями 0.04—2.0 МэВ, протонов с энергиями 3—60 МэВ и ядер ($Z \leq 8$) с энергиями 2—20 МэВ/нукл	НИИ ядерной физики Московского Государственного университета (НИИЯФ МГУ)
Диагностический комплекс РЕИС	Измерение низкочастотных электрических полей в диапазоне 0.1 Гц—1.0 кГц и магнитных полей в диапазоне 5—100 Гц	Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН)
Спектрометр УФ-излучения ФОКА (EUV-Phoka)	Регистрация вакуумного УФ-излучения Солнца, мониторинг состояния верхних слоев атмосферы	МИФИ, AIP (Potsdam, Germany), FhG IpM (Freiburg, Germany)

Таблица 2. Научная аппаратура для наземного сопровождения спутникового эксперимента КОРОНАС-ФОТОН

Установка	Название	Исполнители
Установка для исследования радиоизлучения магнитосферы Земли	Изучение всплесков радиоизлучения и в континууме на частотах $f = 150$ и 500 МГц	Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
Солнечный телескоп СОТОС	Наблюдение Солнца на длинах волн $\lambda = 300\text{—}1200$ нм, цифровые изображения Солнца в линии $\lambda = 1083$ нм, бальмеровском континууме	Астрономическая обсерватория Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина
ПЗС-фотометр	Оптика $\lambda = 300\text{—}1100$ нм, 2048 пикселей	Астрономическая обсерватория Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина
Солнечный радиотелескоп сантиметровых волн	Радиоизлучение Солнца на частотах $f_1 = 2.5$ ГГц и $f_2 = 2.85$ ГГц	Крымская астрофизическая обсерватория
Солнечный радиотелескоп метровых волн	Радиоизлучение Солнца на частоте 280 МГц	Крымская астрофизическая обсерватория
Комплексная установка для регистрации всплесков околоземного ВЧ-излучения и атмосферных нейтронов на уровне моря	Изучение радиовсплесков в диапазоне $38\text{—}460$ МГц; регистрация быстрых атмосферных нейтронов	Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина

СОСТАВ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ПРОЕКТА КОРОНАС-ФОТОН

В состав проекта включены:

- 1) бортовой комплекс научной аппаратуры (см. табл. 1) [8, 9];
- 2) комплекс наземных экспериментальных установок (табл. 2).

БОРТОВАЯ НАУЧНАЯ АППАРАТУРА

Прибор «Наталья-2М» — главный прибор в комплексе бортовой научной аппаратуры. Он состоит из двух спектрометров: верхнего и нижнего [9]. Верхний спектрометр окружен антисовпадательной защитой, состоящей из сцинтилляционных колпака и плоского счетчика толщиной по 2 см (рис. 1). Детекторы обоих спектрометров одинаковы: каждый содержит восемь сцинтилляционных блоков из кристаллов CsI(Tl) размером $4.5 \times 8 \times 36$ см². Каждый блок просматривается двумя фотоэлектронными умножителями с противоположных сторон. Все восемь каналов во время работы на орбите будут стабилизированы подачей светового сигнала от единого высокостабильного светодиода через волоконные световоды. Для абсолютной калибровки используются радиоактивные альфа- и бета-источники. Прибор регистрирует выходные сигналы от гамма-лучей в четырех энергетических диапазонах

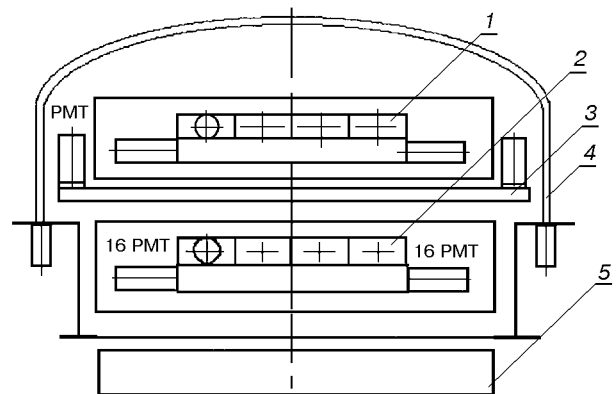


Рис. 1. Блок-схема прибора «Наталья-2М»: 1 — верхний спектрометр из 8 блоков (2 слоя по 4 шт.) сцинтилляторов CsI(Tl), 2 — нижний спектрометр из 8 блоков (2 слоя по 4 шт.) сцинтилляторов CsI(Tl), 3 — антисовпадательный счетчик из плоского круглого пластмассового сцинтиллятора, 4 — антисовпадательный «колпак» из пластмассового сцинтиллятора, 5 — блок электроники

и события «нейтронного» типа.

Неоднородность величины сигнала для различных положений источника составляет примерно 2 %. Измеренное на радиоактивных источниках и оцененное численным моделированием энергетическое разрешение для широкого параллельного пучка гамма-квантов составляет 14 % (при $E = 0.660$ МэВ), 6.0 % ($E = 10$ МэВ) и 12 % ($E =$

= 100 МэВ). Разделение «гамма» и «нейтронных» событий осуществляется по форме сцинтилляционного сигнала [1]. Общий вес прибора составляет 450 кг, энергопотребление — 150 Вт.

Спутниковый телескоп электронов и протонов СТЭП-Ф предназначен для изучения динамики заряженных частиц высокоэнергетичных электронов, протонов и альфа-частиц магнитосферного и солнечного происхождения, определения пич-угловых и пространственно-временных распределений захваченных и высыпавшихся частиц радиационных поясов Земли. Прибор состоит из блока детекторов, устанавливаемого на внешней обшивке космического аппарата, и блока обработки цифровой информации [5].

Блок детекторов (рис. 2) содержит в себе два идентичных кремниевых позиционно-чувствительных матричных детектора размером $45 \text{ мм} \times 45 \text{ мм}$ и толщиной 350 мкм , и два сцинтилляционных детектора на базе кристаллов CsI(Tl), просматриваемых фотодиодами большой площади. Среднее поле зрения телескопа составляет $97^\circ \times 97^\circ$. Размер каждого из 36 квадратных элементов матрицы на полупроводниковом детекторе составляет $7.3 \text{ мм} \times 7.3 \text{ мм}$, что позволяет получить среднее угловое разрешение в общем поле зрения телескопа около 8° .

Активные площади полупроводниковых детекторов — 20 см^2 , сцинтилляционных кристаллических детекторов — 36 и 49 см^2 . Геометрический фактор прибора составляет $70\text{—}100 \text{ см}^2 \text{ стер}$. Прибор позво-

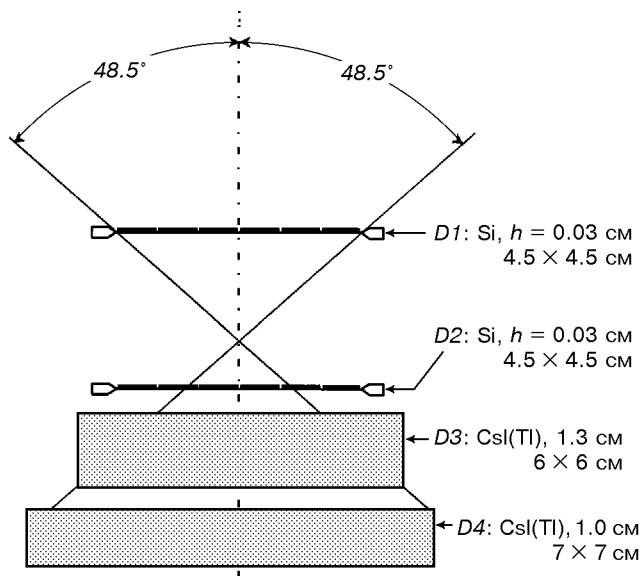


Рис. 2. Блок детекторов спутникового телескопа электронов и протонов СТЭП-Ф. D1, D2 — кремниевые позиционно-чувствительные полностью обедненные p-p-детекторы, D3, D4 — сцинтилляционные детекторы

ляет регистрировать потоки электронов в диапазоне энергий $0.15\text{—}10 \text{ МэВ}$, протонов в диапазоне энергий $4\text{—}62 \text{ МэВ}$ и альфа-частиц в диапазоне энергий $14\text{—}250 \text{ МэВ}$.

Рентгеновский телескоп «РТ-2» включает в себя три детектора [7]. Они идентичны, за исключением углов зрения пассивных коллиматоров, равных $2, 3$ и 5° (рис. 3). Для регистрации рентгеновских лучей используются NaJ(Tl)/CsI(Tl)-фосфич-детекторы. Толщины NaJ(Tl)- и CsI(Tl)-сцинтилляторов составляют 5 и 30 мм . Диаметр фосфича — 12.7 мм . Сцинтилляторы окружены пассивной защитой и пластическими антисовпадательными счетчиками. Все детекторы работают параллельно в двух режимах: фосфич-мода ($20\text{—}200 \text{ кэВ}$) и спектрометрическая мода ($0.1\text{—}2.0 \text{ МэВ}$).

Поляриметр жесткого рентгеновского излучения «Пингвин». Принцип измерения поляризации основан на угловой анизотропии комптоновского рассеяния плоскополяризованного пучка фотонов. Детектор состоит из двух типов сцинтилляторов: шести органических монокристаллов р-терфенила, окруженных сборкой из шести кристаллов CsI(Tl). Фотоны, рассеянные в органическом монокристалле, поглощаются в CsI(Tl). Экспериментально измеряется число парных совпадений между рассеивателями и поглотителями с последующим выделением анизотропии.

Все счетчики стабилизированы высокостабильными светодиодами и радиоактивными гамма-источниками. Детектор окружен двумя полусферическими антисовпадательными сцинтилляционными счетчиками. Нейтроны регистрируются как по упругому рассеянию на водороде р-терфенила, так и по неупругому рассеянию на углероде, в основном благодаря реакции ($n, n'3\alpha$). Разделение сигналов

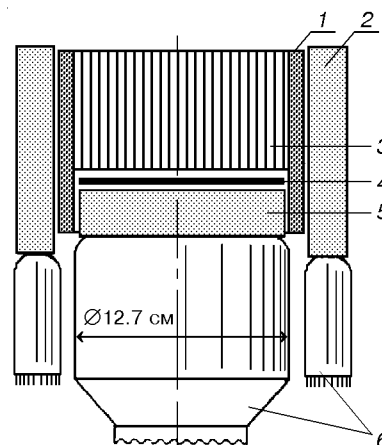


Рис. 3. Рентгеновский телескоп РТ-2: 1 — Ni/Sn/Pb защита, 2 — антисовпадательный сцинтиллятор, 3 — коллиматор, 4 — NaI (Tl), 5 — CsI (Na), 6 — ФЭУ

от релятивистских и нерелятивистских вторичных заряженных частиц (гамма-события и нейтронные события) производится в обоих типах сцинтилляторов по форме импульса.

Быстрый рентгеновский монитор «БРМ» представляет собой сцинтилляционный счетчик на основе монокристалла $YAlO_3(Ce)$. Размеры кристалла 60 мм в диаметре и 10 мм толщиной. Этот кристалл имеет преимущества по сравнению с обычно используемыми для подобных исследований неорганическими сцинтилляторами, а именно: быстрое время высвечивания ($\tau = 24$ нс), что в 10 раз быстрее, чем для $NaI(Tl)$; отсутствие медленного компонента световыхода; химическая стойкость поверхности кристалла и отсутствие нечувствительного слоя; высокая прочность и твердость.

Кристалл просматривается фотоумножителем, стабилизированным светодиодом. Монитор регистрирует рентгеновское излучение в шести энергетических каналах, перекрывающих диапазон 20—600 кэВ (20—30; 30—40; 40—50; 50—70; 70—130; 130—600 кэВ). Записывается временной интервал, в течение которого в канале набирается заданное число импульсов. Время накопления зависит от интенсивности излучения, и для мощных вспышек оно автоматически уменьшается до нескольких миллисекунд. Диапазон времен накопления может быть изменен по команде с Земли.

Анализатор заряженных частиц «Электрон-5-Песка» предназначен для изучения солнечных энергичных частиц и аномального компонента Галактических космических лучей. Он состоит из трех частей: телескопа, аналоговой электроники и цифровой электроники [4]. Телескоп изготовлен из четырех полупроводниковых кремниевых ионно-

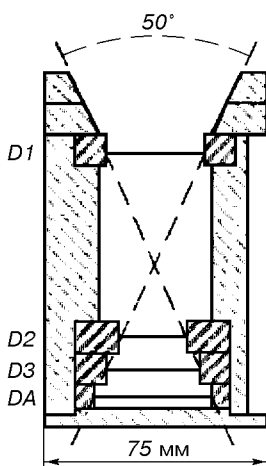


Рис. 4. Блок детекторов анализатора заряженных частиц «Электрон-5-Песка». D1, D2, D3, DA — кремниевые детекторы

имплантированных детекторов, расположенных в цилиндрической алюминиевой пассивной защите (рис. 4). Работа телескопа основана на «методике $dE/dx - E$ ». Активные площади этих цилиндрических и полностью обедненных детекторов составляют соответственно: D1 — $S = 9 \text{ см}^2$, $h = 203 \text{ мкм}$, D2 — $S = 6 \text{ см}^2$, $h = 315 \text{ мкм}$, D3 — $S = 9 \text{ см}^2$, $h = 570 \text{ мкм}$, D4 — $S = 10 \text{ см}^2$, $h = 285 \text{ мкм}$. Угол зрения телескопа — 50° . Прибор регистрирует заряженные частицы в следующих энергетических диапазонах: электроны — 0.04—2 МэВ, протоны — 0.5—60 МэВ, альфа-частицы — 3—120 МэВ, ядра элементов с $Z < 26$ — 1—50 МэВ/нуклон. Аналоговая электроника включает в себя узлы усиления (4 идентичных канала), пиковых детекторов, схем совпадений и антисовпадений, и преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Цифровая электроника состоит из узла обработки цифровой информации и двух интерфейсов: один — для согласования с аналоговой электроникой, второй — для согласования с системой сбора научной информации спутника.

Комплекс «РЕЙС» включает в себя магнитометр «ФМ-2», сенсоры ДМП-1 и ДЕП-1. Магнитометр измеряет три составляющие магнитного поля в частотном диапазоне 0—4 Гц, прибор ДМП-1 изме-

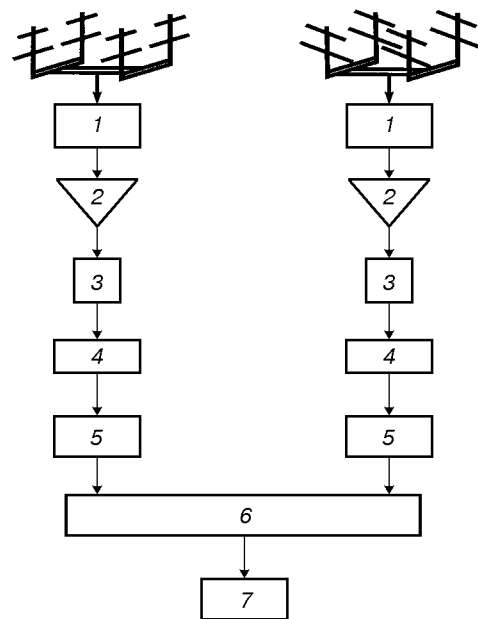


Рис. 5. Блок-схема установки для исследования радиоизлучения магнитосферы Земли: 1 — согласующе-симметрирующее устройство, 2 — антенный предварительный усилитель, 3 — кабель 30 м, 4 — супергетеродинный радиоприемник, 5 — милливольтметр, 6 — универсальный программируемый блок с АЦП, 7 — ПК IBM

рует те же параметры в диапазоне 5—1000 Гц.

Две составляющие электрического поля в частотном диапазоне 0.1—1000 Гц измеряются сенсором ДЕП-1.

Монитор мягкого рентгеновского и УФ-излучения «Фока» измеряет полную интенсивность излучения от диска Солнца в семи спектральных окнах. Выделение окон осуществляется фильтрами УФ-диапазона, нанесенными на поверхность детектора, и фильтрами-отражателями видимого света, установленными в коллиматоре над детекторами. В качестве детекторов используются кремниевые фотодиоды, созданные фирмой IRD (США) специально для УФ-диапазона. Для уменьшения фоновой засветки используется коллиматор с углом зрения 3° . Детекторы и электроника обеспечивают регистрацию излучения в динамическом диапазоне 10^5 . Ожидаемая чувствительность позволит регистрировать УФ-излучение короны спокойного Солнца.

УСТАНОВКИ ДЛЯ НАЗЕМНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СПУТНИКОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Установка для исследования радиоизлучения магнитосферы Земли позволяет проводить непрерывный круглосуточный мониторинг радиофона на двух фиксированных частотах из различных направлений небесной полусферы (рис. 5). В радиопомехах магнитосферы Земли отображаются все проявления солнечной активности: вспышки в рентгеновском и УФ-диапазонах, выбросы энергичных протонов и электронов, воздействие на околоземное пространство межпланетных ударных волн, геомагнитных бурь. Установка включает в себя два радиотелескопа и радиоприемных устройства на частоты 150 и 500 МГц. Антенная система для приема сигналов на частоте 150 МГц представляет собой синфазную решетку из четырех 7-элементных антенн типа Удо-Яги. Сигналы на частоте 500 МГц принимаются антенной синфазной решеткой из 13-элементных антенн типа «волновой канал». Поскольку каждая из антенных систем способна принимать линейно поляризованные сигналы и конструктивно выполнена так, что имеется возможность механического вращения в вертикальной и горизонтальной плоскостях, с помощью установки возможно изучение направления прихода и степени поляризации принимаемых радиовсплесков.

Минимально регистрируемые спектральные плотности потоков радиоизлучения составляют 10^{-22} Вт/(м²·Гц) на частоте 150 МГц и 10^{-21} Вт/(м²·Гц) на частоте 500 МГц. Полоса пропускания радиотрактов равна 2 МГц.

В системе наблюдений потока радиоизлучения на обеих частотах используется персональный компьютер, дополненный универсальным программируемым блоком, который содержит в себе 10-разрядный АЦП и ЦАП, 8-канальный коммутатор входных аналоговых сигналов, 3-канальный программируемый модуль таймера и модуль прерываний. Для автоматизации наблюдений разработан комплекс программ, который позволяет проводить наблюдения, накапливать и хранить информацию в цифровом виде на стандартных носителях, а также трансформировать накопленную информацию в формат, удобный для дальнейшей научной обработки данных на любом IBM-совместимом компьютере.

Программой предусмотрены коррекция оператором в диалоговом режиме системной даты и системного времени, калибровочных значений спектральной плотности мощности шума. Программа также предусматривает задание оператором частоты опроса системы наблюдений и усреднение полученных данных. Она имеет модуль визуализации, который выводит на экран монитора в графическом режиме результаты наблюдений, системную дату, текущее значение мирового времени и некоторую служебную информацию.

Солнечный телескоп СОТОС дает возможность оперативно получать в цифровом виде изображения полного диска Солнца в линиях солнечного спектра и в континууме. Для выявления солнечных источников всплесков жесткого излучения наиболее перспективными являются наблюдения в ИК-линии гелия $\lambda = 1083$ нм и в континуумах водородных серий. Свечение хромосферы в линии He I $\lambda = 1083$ нм возникает на высотах около 2000 км и определяется главным образом возбуждением коротковолновым излучением (< 50.4 нм) из короны. Изображение Солнца в этой линии весьма похоже на негатив рентгеновского изображения. На нем видны темные гелиевые точки (аналог ярких рентгеновских точек), корональные дыры — источники потоков солнечного ветра и другие образования. Мониторинг солнечной активности в гелиевой линии позволяет выявить крупномасштабные изменения, происходящие на Солнце до и во время всплесков жесткого излучения, а также связи между отдельными активными областями.

Основные характеристики телескопа:

Пространственное разрешение	2.5"
Спектральное разрешение	0.01 нм
Спектральный диапазон	300—1200 нм
Приемник излучения	ПЗС-линейка
Время записи изображения Солнца	0.5—2 мин

Фокусные расстояния зеркал: объектива, коллиматора и камеры	225 см
действующий диаметр зеркал	10 см
Аберрация комы	< 2"

Солнечные радиотелескопы РТ-3 и метровых волн предназначены для регистрации уровня спектрального потока мощности радиоизлучения Солнца на частотах 2.5 и 2.85 ГГц и в континууме метрового диапазона. Составными частями радиотелескопов являются параболическая антенна для наблюдения радиоизлучения Солнца в сантиметровом диапазоне и синфазная антенная решетка метрового диапазона.

Средняя рабочая частота радиотелескопа метровых волн составляет 280 МГц, полоса пропускания радиометра 10 МГц. Относительная точность регистрации радиоизлучения Солнца при постоянной времени $\tau = 0.1$ с не хуже 1 %. Радиотелескопы и радиометры имеют аналоговые выходы для регистрации наблюдаемого уровня излучения двумя способами: традиционным на бумажной ленте с помощью самописцев и автоматизированным в цифровом виде на магнитных носителях в стандартном формате.

Для автоматизации записи уровня сигналов стандартный персональный компьютер дополнен универсальным программируемым 10-разрядным контроллером, в котором время преобразования аналогового сигнала в цифровой составляет 30 мкс. Управляющая программа позволяет выполнить ряд сервисных функций, облегчающих запись, хранение, визуализацию данных, калибровку и управление устройствами радиотелескопа. Относительная погрешность определения уровня мощности 1—3 %; постоянная времени регистрации — 0.1 с.

Спектральный интервал чувствительности ПЗС-фотометра позволяет записывать цифровые изображения Солнца в бальмеровском и пашеновском континуумах. Расчеты показывают, что участки солнечной поверхности с повышенной интенсивностью излучения в бальмеровском или пашеновском континуумах соответствуют местам с повышенной мерой эмиссии, а изменения во времени интенсивности излучения обусловлены, в первую очередь, изменениями электронной плотности солнечной плазмы.

Мониторинг, проведенный в длинах волн $\lambda\lambda = 363.87$ или 818.9 нм с временным разрешением порядка нескольких минут, дает возможность получать данные о макроскопических неоднородностях электронной плотности плазмы, о динамике и морфологии областей с повышенной плотностью.

Основные характеристики фотометра:

Диапазон спектральной чувствительности	300—1100 нм
Количество пикселей (2 регистра по 1024)	2048
Линейный размер светочувствительного слоя	24 мм
Фотометрическая нестабильность за 30 мин	< 1 %

Неравномерность чувствительности линейки (программная корреляция) 0.1—0.2 %

К настоящему времени созданы действующие модели одномерного и матричного ПЗС-фотометров для получения цифровых изображений Солнца в участках оптического спектра от УФ до 1.1 мкм в ИК-области и проведены наблюдения с высоким временным разрешением. Табл. 3 представляет основные технические характеристики одномерного и матричного ПЗС-фотометров.

Для регистрации и первичной обработки получаемых изображений создан программный комплекс IRIS.

Основные возможности комплекса:

- Визуализация, обработка и анализ изображений (FITS, BMP и др. форматов).
- Автоматизация работы с большими наборами данных.
- Интерфейсная оболочка для пользовательских процедур.
- Удобный интуитивно понятный язык программирования.
- Легкая расширяемость системы процедурами пользователя.

Комплексная установка для регистрации всплесков околоземного ВЧ-излучения и атмосферных нейтронов на уровне моря регистрирует всплески синхротронного радиоизлучения электронов, освобожденных солнечными гамма-квантами на высоте 30—35 км атмосферы Земли за счет эффектов Комптона и образования пар; потоки ускоренных в мощных вспышках протонов и ядер по увеличению фона атмосферных нейтронов и мюонов на уровне моря; потоки низкоэнергетичных протонов, ударные волны в плазме солнечного ветра по синхротронному радиоизлучению высыпавшихся из зон захвата магнитосферы сгустков энергичных электронов и протонов, и по всплескам нейтронов на уровне моря на фоне потока нейтронов от галактических космических лучей. Блок-схема установки изображена на рис. 6.

Основные характеристики блока высокочастотных радиочастотных трактов:

Частоты регистрации околоземного синхротронного радиоизлучения	38, 74, 120, 240—460 МГц
--	--------------------------

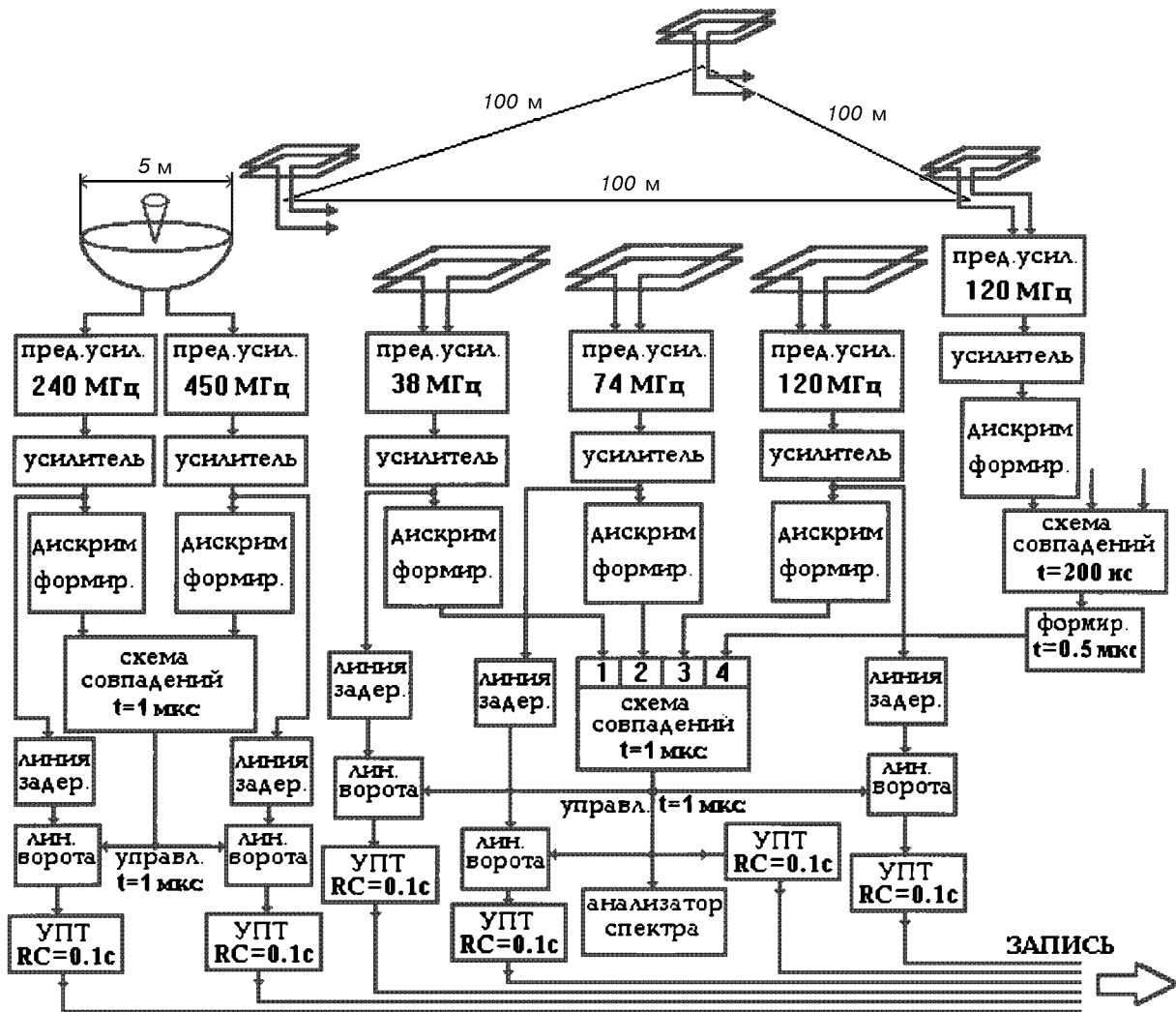


Рис. 6. Блок-схема установки для регистрации всплесков околоземного ВЧ-излучения и атмосферных нейтронов на уровне моря

Полоса пропускания Δf
 Разрешающее время схемы
 совпадений $\tau_{\text{разр}}$
 Время интегрирования $\tau_{\text{инт}}$

2 МГц
 1 мкс
 0.2 с

ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ
 МАГНИТОСФЕРЫ В ИЮЛЕ—АВГУСТЕ 1999 г.

С 20 июля по 16 августа 1999 г. были проведены пробные измерения потока радиоизлучения магнитосферного происхождения на частоте 151 МГц с помощью установки для исследования радиоизлучения магнитосферы Земли, описанной выше. Антенна во время проведения эксперимента все время была направлена в зенит. Всего наработано 650 ч наблюдений. В период с 20 по 24 июля и с 30 июля по 16 августа регистрация проводилась непрерывно, в то время, как 26 и 27 июля наблюдения проводились в отдельные промежутки времени.

*Основные характеристики
 мюонно-нейтронного детектора:*

Площадь регистрации 10 м²
 Время накопления 0.2 с
 Число слоев пластмассового сцинтиллятора
 в двух блоках детекторов по 5 м² 2
 Толщина свинцовой защиты в слое 5 см
 Количество слоев свинцовой защиты 3

Большое количество спорадических радиовсплесков, которое наблюдалось в указанный период, было обусловлено достаточно высокой солнечной активностью. Всего зарегистрировано 27 солнечных вспышек балла 1 и четыре вспышки балла 2, которые сопровождалась 26 рентгеновскими вспышками балла М. Временной ход 3-часовых Кр-индексов геомагнитного поля на уровне поверхности Земли свидетельствует о том, что вспышки в период с 20 по 29 июля не были геоэффективными. Минимальные колебания магнитного поля зарегистрированы в этот период также и спутниками GOES8 и GOES10 на геостационарной орбите (высота 36 000 км). Однако после серии вспышек 29 июля баллов 1 и 2 и прихода высокоскоростного потока солнечного ветра в начале суток 30 июля в магнитосфере в этот же день развилась магнитная буря с максимумом в 19—22 UT. В тот же день частота и амплитуда спорадических радиовсплесков значительно увеличились в 16—18 UT.

Поскольку радиоизлучение земной магнитосферы представляет собой главным образом серии всплесков небольшой длительности (от нескольких секунд до 20—30 с) с амплитудами от 10^{-23} до 10^{-21} Вт·м⁻²·Гц⁻¹, в качестве индекса высокочастотного радиоизлучения было выбрано число радиовсплесков выше некоторого уровня. Уровень спектральной мощности радиоизлучения был выбран для того, чтобы не принимать во внимание большое число всплесков на уровне 10^{-23} Вт·м⁻²·Гц⁻¹.

На рис. 7 показаны плотность и скорость солнечного ветра по данным спутника ACE; величины вертикальной составляющей и общих значений магнитного поля Земли, а также потоков электронов с энергиями более чем 2 МэВ на высоте 6.6 радиусов Земли по данным геостационарного спутника GOES10 в период с 29 по 30 июля 1999 г. Последним на этом графике приведен временной ход числа спорадических радиовсплесков на частоте 151 МГц выше уровня $I_{cp} + \sigma$, где I_{cp} — среднее значение спектральной плотности потока радиоизлучения магнитосферы Земли в данный получасовой интервал за рассматриваемый период, σ — среднее квадратичное отклонение величины I_{cp} . Видно, что после прихода ударного фронта высокоскоростного потока солнечного ветра 30 июля в 6—8 UT значение вертикальной составляющей земного магнитного поля увеличилось примерно в четыре раза. Одновременно было отмечено интенсивное высыпание энергичных электронов: потоки их уменьшались более чем в 1000 раз. Максимальное же число спорадических радиовсплесков наблюдалось, как уже указывалось, спустя 8—10 ч. Этот факт указывает на то, что при значениях

параметра Мак-Илвайна $L > 6$, ни колебания и развитие неустойчивостей магнитного поля, ни высыпание электронов и других заряженных частиц высоких энергий не могут быть источниками высокочастотных радиовсплесков. Скорее всего, источник и излучающая область находятся во внутренних слоях магнитосферы, например во внутреннем радиационном поясе Земли и ионосфере на средних широтах. Если таковыми являются высыпавшиеся электроны с $L = 2$ (L — оболочка наблюдения спорадического радиоизлучения), то можно предположить, что время $t = 8—10$ ч совпадает со временем распространения волны радиальной диффузии энергичных электронов с $L = 6.6$ до $L = 2$.

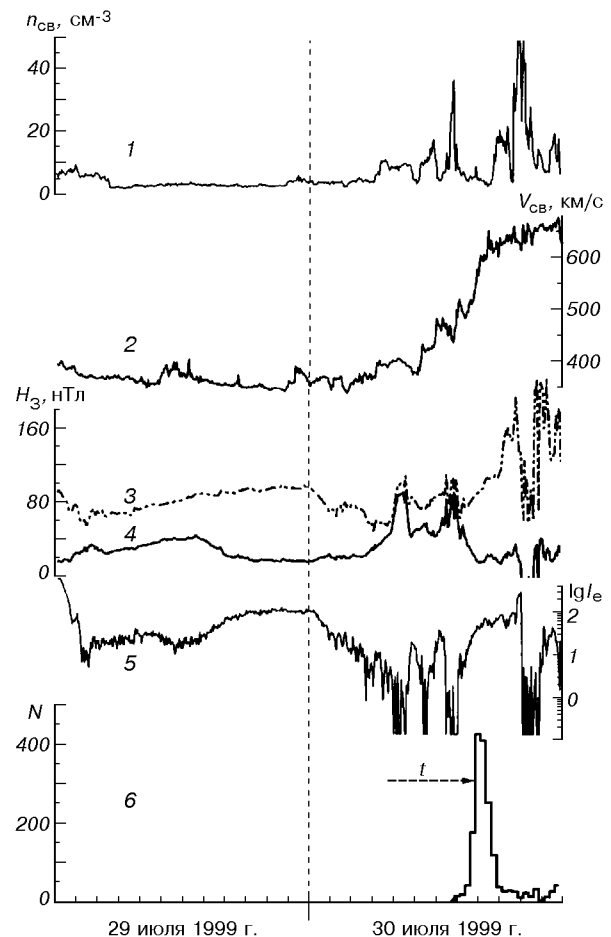


Рис. 7. Изменения геофизических параметров с 29 по 30 июля 1999 г.: 1, 2 — плотность и скорость солнечного ветра по данным ACE, 3, 4 — напряженность общего магнитного поля Земли и его вертикальной составляющей по данным GOES10, 5 — потоки J электронов ($\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}\text{стер}^{-1}$) с энергией $E_e > 2$ МэВ по данным GOES10; 6 — число спорадических радиовсплесков N магнитосферы Земли на частоте 151 МГц

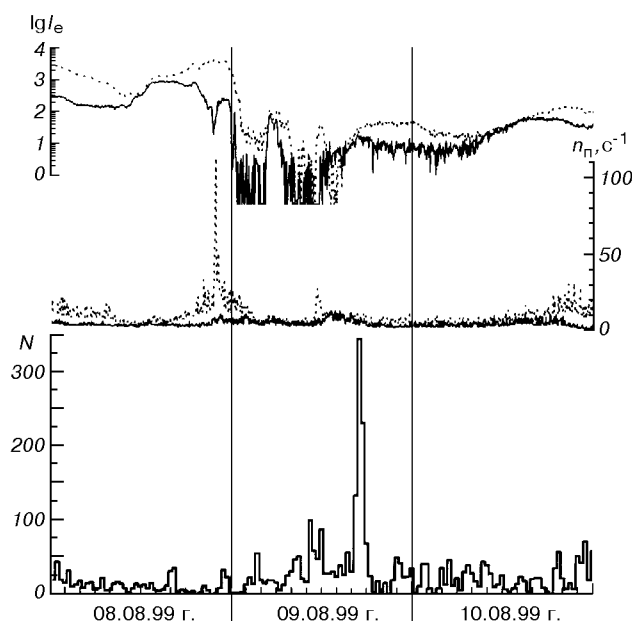


Рис. 8. Временной ход потоков электронов с энергией $E_e > 2$ МэВ (верхняя кривая), протонов с энергией $E_p > 1$ МэВ по данным спутника GOES10 и числа радиовсплесков на частоте 151 МГц в период с 8 по 10 августа 1999 г.

Значительное количество спорадических радиовсплесков в рассматриваемый период наблюдалось также 8–10 августа, когда по данным геостационарных спутников GOES8 и GOES10 после прихода ударной волны в околоземное пространство в 18 UT 8 августа в магнитосфере Земли начались интенсивные высыпания энергичных частиц. Из рис 8 видно, что высыпания электронов с $E_e > 2$ МэВ начались примерно в 1 UT 9 августа, а максимум наблюдался через 16 ч. Заметных изменений потоков протонов с энергиями > 1 МэВ 9 августа не наблюдалось по данным обоих спутников.

Таким образом, бортовой комплекс научной аппаратуры международного космического эксперимента КОРОНАС-ФОТОН и комплекс наземных установок позволят глубже понять природу и тонкую структуру вариаций солнечной активности в различных спектральных диапазонах, а также исследовать причинно-следственные связи солнечно-земных явлений. Наземная установка для изучения высокочастотного радиоизлучения магнитосферы

Земли позволяет изучать нестационарные процессы, происходящие в межпланетном пространстве и во внешних слоях земной магнитосферы.

1. Архангельский А. И., Котов Ю. Д. Возможности регистрации нейтронов гамма-спектрометром проекта «Фотон». Результаты расчета // Изв. РАН. Сер. Физ.—1997.—61, № 6.—С. 1167—1172.
2. Залюбовский И. И., Дудник А. В., Котов Ю. Д., Юров В. Н. Международный проект «Фотон» для комплексного изучения солнечной активности и солнечно-земных связей // Изв. РАН. Сер. Физ.—1997.—61, № 6.—С. 1173—1176.
3. Котов Ю. Д., Юров В. Н., Никольский С. И., Залюбовский И. И. Основные научные задачи спутникового проекта «Фотон» по изучению солнечных вспышек // Изв. РАН. Сер. Физ.—1997.—61, № 6.—С. 1162—1166.
4. del Peral L., Bronchalo E., Rodrigues-Frias M. D., et al. Pesca instrument for low-energy cosmic ions study in Photon satellite // Proc. 25th International Cosmic Ray Conf.—1997.—2.—P. 485—488.
5. Dudnik O., Malykhina T. The satellite «STEP» instrument for registration of energetic particle on board the Ukrainian spacecraft «Warning» // Proc. 16th European Cosmic Ray Symp. — Alcalá (Spain), 1998.—P. 223—226.
6. Dudnik O. V., Zalyubovsky I. I. The Ukrainian instruments set for the ground accompaniment of the joint Ukrainian—Russian satellite project «Photon» to study the hard radiation of the Sun and Solar—Earth's magnetosphere connections // Adv. Space Res.—1998.—21, N 1/2.—P. 343—345.
7. Kotov Yu. D., Nikolsky S. I., Dranovsky V. I. Satellite Project «Photon» for the study of solar hard radiation // Coronas Information. — Potsdam: Astrophys. Inst, 1994.—9.—P. 1—12.
8. Kotov Yu., Nikolsky S. I., Yurov V. N., Damle S. V. Satellite Project PHOTON for Study of the Solar Flare Hard Radiation // Proc. 24th International Cosmic Ray Conf.—1995.—Vol 4.—P. 1263—1267.
9. Kotov Yu. D., Yurov V. N., Glyanenko A. S et al. Wide-band Spectrometer of Gamma-rays and Neutrons for Solar Satellite Project PHOTON // Proc. 24th International Cosmic Ray Conf.—1995.—Vol. 4.—P. 1267—1271.

SCIENTIFIC TASKS OF INTERNATIONAL SPACE EXPERIMENT KORONAS-PHOTON

O. V. Dudnik and I. I. Zalyubovsky

Description of scientific tasks and goals of the international space experiment KORONAS-PHOTON, third in the KORONAS series, is presented. Description of some instruments in the on-board scientific complex as well as in the ground-based installations for ground support of the satellite experiment is given. Preliminary results of test observations with the help of the installation for the study of high-frequency radio emission of the Earth's magnetosphere are discussed.