

УДК 520.6.05

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ВУФ-ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА

© 2023 г. С. В. Кузин<sup>а</sup>, \*, С. А. Богачев<sup>б</sup>, А. С. Кириченко<sup>б</sup>, А. А. Перцов<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН,  
Иркутск, 664033 Россия

<sup>б</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, 117485 Россия

\*e-mail: kuzin@iszf.irk.ru

Поступила в редакцию 29.07.2023 г.

После доработки 14.09.2023 г.

Принята к публикации 14.09.2023 г.

Рассмотрены особенности разработки и эксплуатации космической аппаратуры для регистрации излучения и изображений в вакуумном ультрафиолетовом диапазоне спектра. Основными факторами, влияющими на работоспособность аппаратуры в этом диапазоне в условиях космического пространства, являются контаминация, температурный режим, перепад давления, акустические и механические нагрузки на этапе выведения, невесомость, радиационные нагрузки. Эти факторы зачастую связаны между собой и действуют комплексно. Проведен анализ влияния этих факторов на эксплуатационные характеристики аппаратуры и возможностей его снижения.

**Ключевые слова:** космическое приборостроение, вакуумный ультрафиолетовый диапазон, факторы воздействия.

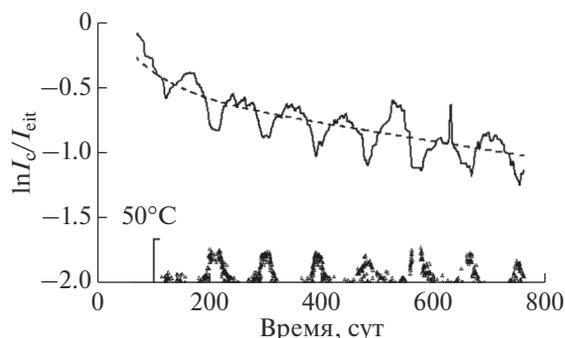
**DOI:** 10.31857/S1028096023120117, **EDN:** AJQPMQ

### ВВЕДЕНИЕ

Излучение в вакуумной ультрафиолетовой (ВУФ) области спектра (5–200 нм), с одной стороны, распространено среди астрофизических объектов, а с другой – полностью поглощается в атмосфере Земли. По этой причине космические исследования в ВУФ-диапазоне стали возможными после начала космической эры. Первые изображения самого яркого (с точки зрения земного наблюдателя) космического источника ВУФ-излучения – Солнца – были получены в начале 60-х годов прошлого века на геофизических ракетах в США и СССР с помощью камеры обскуры с регистрацией изображений на специальные безжелатиновые фотопластинки [1, 2]. Более поздние исследования проводили также с помощью изображающих спектрометров на основе изогнутых дифракционных решеток [3], а также за счет применения оптики скользящего падения [4, 5]. В начале 80-х годов прошлого века широкое распространение получила отражающая оптика нормального падения на основе многослойных покрытий, которая практически сразу стала использоваться в космических экспериментах [6]. В настоящее время почти все космические исследования в ВУФ-области спектра проводят с использованием многослойных зеркал нормального

падения (например, приборы EIT [7], TESIS [8, 9], SDO/AIA [10]). Особенностью современных инструментов ВУФ-диапазона являются требования к возможности их длительной эксплуатации в космических условиях (так, телескоп EIT на станции SOHO работает уже более 15 лет), а также требования к высокому качеству изображения, которого достигают за счет высокого разрешения инструмента в сочетании с его высокой чувствительностью. В частности, с помощью ВУФ-инструментов для исследования Солнца в настоящее время достигнуто угловое разрешение 0.5"–1.0", которое позволяет разрешать недоступные еще два десятилетия назад объекты, такие как микровспышки [11–14] и нановспышки [15, 16], спикюлы [17] и макроспикюлы [18, 19], а также отдельные ВУФ- и рентгеновские точки [20–22].

Астрофизическими источниками излучения в ВУФ-диапазоне являются практически все газоплазменные структуры низкой плотности. В них происходит возбуждение ионов различных элементов за счет тепловых и нетепловых процессов, а низкая плотность делает эту среду относительно прозрачной и позволяет излучению выходить из нее с относительно небольшими потерями и искажениями. К таким объектам относятся короны звезд, верхние атмосферы планет, межпланетные

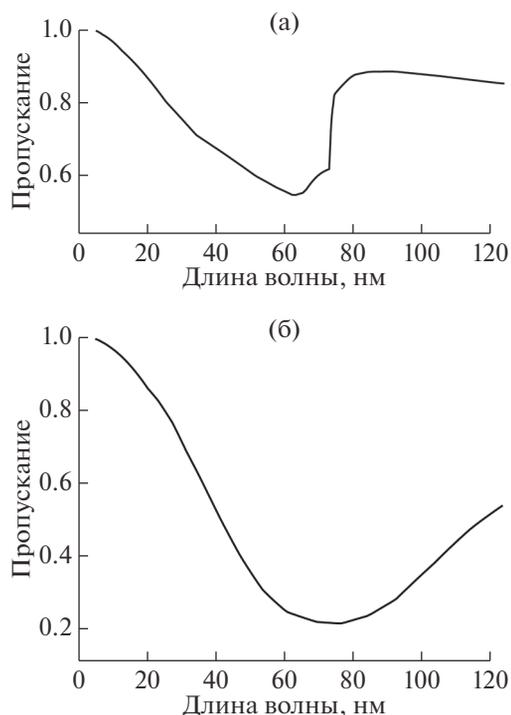


**Рис. 1.** Падение чувствительности ВУФ-телескопа СПИРИТ/КОРОНАС-Ф в диапазоне 30.4 нм (сплошная линия) и изменение температуры прибора (точки). Пунктиром показана тенденция долговременного падения чувствительности. По оси  $x$  – время с момента запуска. По оси  $y$  – логарифм отношения среднего сигнала телескопа к среднему сигналу эталона, в качестве которого был выбран телескоп СОНО/ЕИТ, работавший в близкой области спектра.

и межзвездные плазменные структуры. Происходящие в них процессы представляют значительный интерес для исследования. Изучают не только структуру и динамику, но и температурный состав этих объектов (например, [23, 24]), а также распределение плотности [25].

#### ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА КОСМИЧЕСКУЮ АППАРАТУРУ ВУФ-ДИАПАЗОНА

В состав космической ВУФ-аппаратуры входят оптические элементы трех основных видов: фокусирующие (зеркала) или диспергирующие (дифракционные решетки) элементы, фильтры и детекторы. Они размещаются на силовой конструкции, которая обеспечивает их взаимное положение. Управление детектором и другими электронными и электронно-механическими узлами, сбор информации, ее обработку и передачу осуществляет бортовой компьютер (блок электроники). На все эти элементы влияют разные факторы, характерные для космического пространства. Контаминация, т.е. осаждение на поверхности различных летучих веществ, более всего воздействует на оптические элементы. Температурный режим влияет на все элементы телескопа: оптику, конструкцию и электронные узлы. Механические и акустические нагрузки, резкое изменение давления на этапе запуска спутника воздействуют в первую очередь на тонкопленочные фильтры и механические узлы. Невесомость влияет на прецизионные зеркала и на механические узлы инструмента. Радиационные нагрузки сказываются на электронных компонентах прибора, в первую очередь на детекторах изображений.



**Рис. 2.** Пропускание пленок воды (а) и углерода (б) толщиной 10 нм в ВУФ-диапазоне спектра.

#### КОНТАМИНАЦИЯ

Под контаминацией в космическом приборостроении, как правило, подразумевают осаждение на поверхности прибора тонких пленок сублимированных веществ. Контаминация приводит к снижению эффективности регистрации аппаратуры в ВУФ-диапазоне спектра (рис. 1) и в меньшей мере к увеличению уровня рассеянного света, что проявляется практически сразу после вывода прибора в космос. На скорость контаминации влияют несколько факторов – поле температур внутри прибора, характер контаминантов, их распределение внутри прибора, уровень ионизирующих излучений и другие факторы. Наиболее чувствительны к контаминации поверхности оптических элементов. Слои контаминантов толщиной всего лишь 10 нм могут уменьшить пропускание в отдельных участках ВУФ-диапазона вдвое (рис. 2). При осаждении контаминантов на зеркалах ВУФ-диапазона снижение коэффициента отражения будет еще более значительным в силу прохождения излучения через слой контаминантов дважды.

Источником контаминантов могут быть как материалы самого прибора, так и атмосфера космического аппарата. Соответствующие вещества можно условно разделить на два типа – летучие (низкомолекулярные вещества с высоким давлением насыщенного пара, такие как вода, спирты)

и продукты разложения высокомолекулярных органических веществ.

Источниками низкомолекулярных веществ являются главным образом “аккумуляторы” — пористые конструкционные материалы прибора или материалы с развитой поверхностью, а также относительно герметичные полости в приборе, такие как глухие резьбовые отверстия. Накопление летучих веществ в этих “аккумуляторах” происходит при наземных работах с инструментами, при очистке узлов прибора от загрязнений. Особенность этого типа контаминации — ее быстрое проявление, загрязнение в первую очередь холодных поверхностей, возможность сублимации контаминированных пленок (рис. 1). Для уменьшения влияния контаминации низкомолекулярных веществ необходимо применять различные конструкционные решения: например, минимизацию замкнутых объемов в аппаратуре, установку криоловушек и геттеров, нагревателей оптических элементов и детекторов, выбор материалов со слаборазвитой поверхностью. Необходимо по возможности проводить предпусковые работы и хранить летную аппаратуру в сухой атмосфере или атмосфере нейтральных газов, провести обезгаживание или отжиг аппаратуры как можно ближе к моменту ее установки на спутник.

Источником высокомолекулярных органических веществ являются различные пластиковые конструкционные материалы, печатные платы, оплетки проводов, лакокрасочные покрытия, смазочные вещества. Состав этих веществ очень сложный и практически не поддается анализу: это могут быть неполимеризованные вещества или продукты разложения полимеризованных веществ под воздействием ионизирующего излучения или заряженных частиц. Основными особенностями высокомолекулярных веществ являются их большая молекулярная масса и относительно низкая предрасположенность к возгонке после контаминации. Таким образом, эти вещества могут контаминировать даже на “горячие” поверхности и образовывать на них устойчивое покрытие. С другой стороны, количество высокомолекулярных веществ и скорость их контаминации, как правило, меньше, чем низкомолекулярных. Уменьшить контаминацию высокомолекулярных веществ можно на этапе конструирования аппаратуры за счет минимизации количества электронных узлов, кабелей, электромеханических приводов в том объеме прибора, где размещены оптические элементы. При выборе лакокрасочных покрытий, фиксаторов резьбы, клеевых соединений следует при возможности отдавать предпочтение материалам, полимеризующимся при высоких температурах. Как и в случае низкомолекулярных веществ, оптимально предусмотреть установку геттеров и криоловушек, проводить отжиг и обезгаживание инструмента на этапе пред-

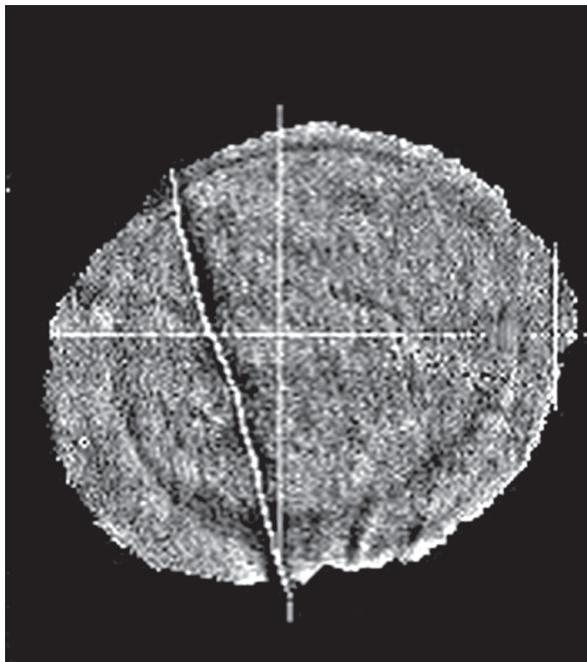
полетной подготовки. Необходимо отметить, что из-за контаминации скорость деградации аппаратуры практически не поддается оценке на этапе ее разработки и изготовления.

### ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ

Для космических оптических экспериментов характерен специфический температурный режим в силу двух основных факторов — отсутствия теплопередачи через конвекцию и низкого отношения массы к объему в оптической аппаратуре. Это может приводить к большим температурным градиентам и большим перепадам температуры, особенно в случае инструментов, размещаемых на низкоорбитальных спутниках. Кроме того, современные детекторы требуют собственного охлаждения, и для них обычно реализуют температурный контур внутри прибора. Возникающие градиенты температуры могут вызывать термодеструкцию как несущей конструкции оптической системы (“оптической скамьи”), так и зеркал. Оба эти фактора приводят к изменению оптической системы, ее дефокусировке. Наиболее критично это в случае многозеркальных систем с большим внутренним увеличением. Точность соблюдения межзеркальных расстояний в подобных системах может составлять единицы микрон на сотнях миллиметрах, что соответствует изменению температуры на несколько градусов конструкции из алюминиевого сплава на той же базе. Термодеструкция зеркал приводит к изменению их радиуса кривизны и эксцентриситета, что особенно значимо для прецизионных систем. Необходимо отметить, что если коэффициенты температурного расширения (КТР) материала подложки зеркала и оправы не согласованы, то этот эффект может усилиться.

При размещении научного прибора на космическом аппарате есть два основных подхода к обеспечению терморежима. Либо аппаратура полностью отвязывается по тепловым потокам от спутника, либо со стороны аппарата накладываются ограничения на температуру в посадочных местах и тепловые потоки — по теплопроводности и иногда по радиационному обмену. Как правило, диапазон допустимых температур в посадочных местах составляет 30–50°C, что не позволяет термостабилизировать инструмент с требуемой точностью.

Есть два основных способа термостабилизации инструмента — пассивный и активный. В первом случае предусматривают изготовление критичных к термодеструкции элементов конструкции и узлов, а также оптических элементов из материалов с низким КТР. В случае конструкционных материалов это могут быть инварные сплавы или композитные материалы, в случае оптических элементов — плавленый кварц или оптическая ке-



**Рис. 3.** Разрыв входного фильтра ВУФ-телескопа СПИРИТ/КОРОНАС-Ф после шести месяцев эксплуатации.

рамка типа зеродура или ситалла. Необходимо отметить, что композитные материалы с низким КТР, как правило, имеют высокий коэффициент потери массы и развитую поверхность, что усиливает контаминационные процессы, а инварные сплавы в свою очередь обладают невысокими конструкционными свойствами (например, низким модулем Юнга) и плохо обрабатываются.

Активная термостабилизация предполагает установку нагревателей на ключевых конструкционных и оптических элементах с целью поддержания рабочей температуры выше той, которая может быть достигнута в эксплуатационных условиях. Вариантом активной термостабилизации оптических инструментов является их фокусировка в космосе с использованием активного подвеса одного или нескольких зеркал на линейных микроприводах. Недостаток этого подхода заключается в том, что возрастает энергопотребление прибора и падает его общая надежность за счет появления еще одного контура управления. В целом термодформации довольно хорошо расцениваются — есть модули как в пакетах современных систем автоматического проектирования, так и автономные программы.

Отдельно необходимо отметить температурное воздействие на входные оптические элементы прибора — тонкопленочные фильтры ВУФ-диапазона. Особенно критично воздействие на них в случае солнечных инструментов, когда температура на входном окне прибора может достигать

100°С, либо на низкоорбитальных спутниках, где возможно термоциклирование. В первом случае (при длительном воздействии высоких температур) возможно изменение структуры и химического состава фильтра, что приводит к изменению его оптических характеристик — прозрачности рабочего и поглощению оптического диапазона спектра, а также к изменению механических свойств. Во втором случае (термоциклирование) многочисленные натяжения и провисания фильтра могут вызвать его механическое разрушение (рис. 3). Аналитически рассчитать воздействие температуры на деградацию тонкопленочных фильтров практически невозможно, поэтому необходимо проводить экспериментальные исследования различных тонкопленочных структур как на длительное воздействие повышенных температур, так и на термоциклирование. Результатом этих испытаний должен быть отбор тонкопленочных структур и поддерживающих сеток для минимального ухудшения их механических и оптических (пропускание в рабочем диапазоне длин волн и блокировка оптического излучения) свойств.

#### МЕХАНИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ

Соответствующие виды нагрузок (механические и акустические) возникают, как правило, на этапе выведения аппаратуры в космос. Несмотря на большое время воздействия (несколько минут), они весьма критичны для функционирования прибора. К механическим нагрузкам относятся линейные перегрузки, удары и вибрации. Воздействия, как правило, гораздо более сильные, чем аналогичные воздействия на лабораторную аппаратуру: удары достигают 100 g, линейные перегрузки 10 g, амплитуда виброускорения (1–10) g. Это может приводить к деформации конструкции и/или разрушению отдельных элементов, особенно подложек зеркал в случае их жесткого крепления. К сожалению, рассчитать эти воздействия практически невозможно в силу целого ряда причин, несмотря на наличие специализированных программных сред. Поэтому применяют комплексный подход, связанный с конструктивными решениями (применением демпферов, повышением частот резонансов конструкции, активной фокусировкой после выведения на орбиту) в сочетании с комплексными испытаниями, во время которых инструмент подвергается перегрузкам, превышающими ожидаемые в два–четыре раза.

Расчет механических воздействий, в первую очередь ударов и вибровоздействий, хоть и представлен в коммерческом программном обеспечении, крайне приблизительный и может служить только для оценки этих воздействий на аппаратуру. Отдельно необходимо отметить такой вид ме-

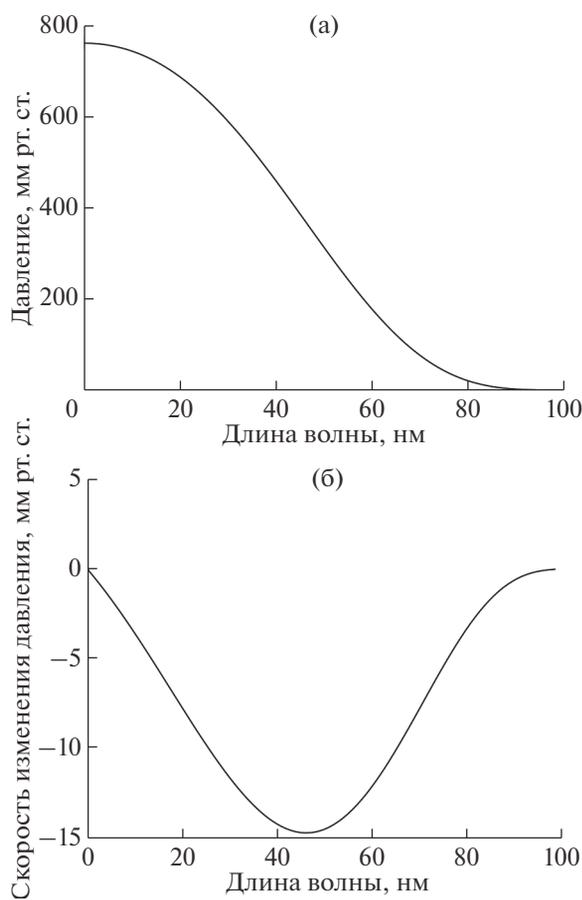


Рис. 4. Изменение атмосферного давления при запуске ракеты (а) и скорость его изменения (б).

ханического воздействия, как разгрузка прибора в условиях невесомости. Этот фактор критичен для прецизионных оптических приборов, приборов с относительно нежесткой конструкцией и для некоторых механических приводов, например, крышек. Это воздействие довольно хорошо моделируется, по крайней мере для отдельных узлов прибора, и может быть учтено. Для относительно нежестких конструкций проводят специальные испытания с компенсацией гравитации.

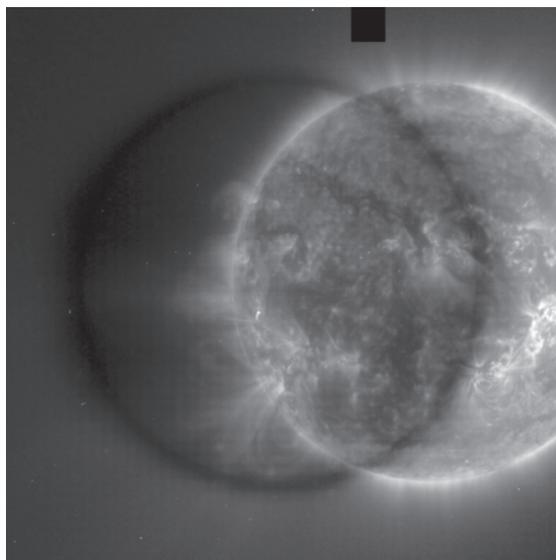
Акустические нагрузки и перепад давлений критически воздействуют на тонкопленочные фильтры ВУФ-диапазона. Устойчивость к этим воздействиям определяется материалом и структурой пленки, а также размером и формой ячеек поддерживающей сетки. Характерный ход и скорость изменения давления при запуске ракеты приведен на рис. 4. Как видно из рисунка, максимальная скорость изменения давления на 45–50 с полета составляет 15 мм рт. ст./с. Если механическая прочность фильтров на перепад давления известна, то эти графики позволяют оценить сечение дренажных отверстий в оптического объеме, в котором эти фильтры установлены.



Рис. 5. Макет фильтра для акустических испытаний с ячейкой поддерживающей сетки разных размеров (2.5, 5, 10 и 20 мм).

Акустические нагрузки при запуске аппаратуры также весьма значительны — их среднеквадратичный уровень может достигать 145 дБ. Аналитически рассчитать стойкость тонкопленочных фильтров к акустическим нагрузкам практически невозможно в силу того, что объем под обтекателем спутника и внутренний объем прибора представляют собой резонаторы со своими резонансами. Помимо этого, объем под обтекателем обычно заполнен другой аппаратурой, которая также воздействует на акустическое поле. По этой причине оптимальным представляется проведение квалификационных испытаний тонкопленочных фильтров на акустическое воздействие. Для этих испытаний и испытаний на стойкость к перепаду давлений оптимально изготовить несколько макетов фильтров с различными пленками на поддерживающих сетках с различными характеристиками ячеек (рис. 5).

Очевидно, что в случае использования тонкопленочных фильтров на поддерживающей сетке их механические свойства улучшаются при уменьшении размера ячейки. Однако при этом падает пропускание фильтра из-за технологического предела толщины перемычки сетки (0.2–0.3 мм) и возрастания отношения части сетки, занятой перемычками, к ее общей площади. Этот фактор может быть уменьшен за счет применения сеток с гексагональной структурой. Второй фактор — увеличение дифракции на структуре сетки, что может привести к вкладу дифракции в изображение в рабочем диапазоне длин волн.

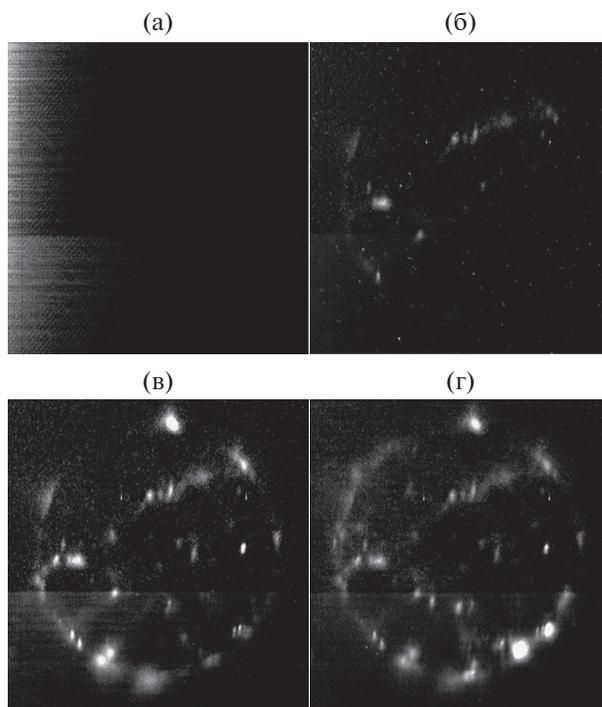


**Рис. 6.** Дegradaция чувствительности ПЗС-матрицы после длительного воздействия ВУФ-излучения с длиной волны 19 нм (по данным телескопа EIT/SOHO).

### РАДИАЦИОННЫЕ НАГРУЗКИ

Под радиационными нагрузками подразумевают воздействие на инструмент жесткого электромагнитного излучения или заряженных частиц, которые приводят к структурным изменениям элементов прибора. Выделяют четыре основных типа воздействия: излучение рабочего диапазона длин волн, жесткое рентгеновское излучение, легкие заряженные частицы (электроны и протоны), тяжелые заряженные частицы. Эти воздействия отличаются механизмом взаимодействия с элементами аппаратуры, вызываемыми эффектами и интенсивностью воздействия. В настоящей работе мы не будем рассматривать повреждения, вызванные жестким рентгеновским излучением, легкими и тяжелыми заряженными частицами в силу того, что они не являются специфическими для ВУФ-аппаратуры и хорошо описаны в соответствующей литературе [26, 27].

Для ВУФ-аппаратуры наиболее специфичным и критическим является воздействие излучения рабочего (ВУФ) диапазона на чувствительную поверхность детектора. В качестве приемников излучения ВУФ-диапазона сейчас чаще всего используют твердотельные кремниевые приемники с обратной засветкой, т.е. такие, у которых физическая система переноса и считывания заряда находится на обратной (не экспонируемой) стороне чипа. ВУФ-излучение попадает на свободную от электродов и других полупроводниковых элементов сторону детектора. Как правило, толщина кремния в таких приемниках составляет около 10 мкм. В зависимости от длины волны излучение может либо полностью поглощаться в чувстви-



**Рис. 7.** Дegradaция ПЗС-матрицы (светлые области) под воздействием излучения с длиной волны 0.84 нм в эксперименте СПИРИТ/КОРОНАС-Ф: (а) 12-й день после запуска; (б) 54-й день; (в) 107-й день; (г) 163-й день.

тельном слое кремния, либо достигать полупроводниковых элементов на обратной стороне приемника, вызывая их деградацию. В случае полного поглощения излучения радиационные повреждения детектора проявляются как снижение чувствительности за счет образования ловушек в кремнии (рис. 6). В случае повреждения полупроводниковой структуры результатом воздействия будет повышение уровня темнового сигнала в областях, подвергшихся облучению (рис. 7). Как правило, оба эти эффекта обратимы, и уменьшаются после “отжига” детектора, т.е. повышения температуры рабочей области приемника на несколько десятков градусов. Установка системы подогрева приемника излучения может служить одним из способов уменьшения радиационных повреждений.

В дополнение к этому детектор может быть оборудован затвором, который открывается только на время экспонирования. Этот метод чрезвычайно эффективен, однако добавление электромеханического узла с собственной системой управления приводит к снижению надежности. Кардинально повысить радиационную стойкость приемника излучения можно также с помощью предварительной конвертации рабочего ВУФ-излучения в оптическое с помощью люминесцентных экранов или в электроны с помощью фотокатодов.

В обоих случаях это, однако, приводит к снижению частотно-контрастных характеристик получаемого изображения, энергетического разрешения и зачастую к снижению эффективности регистрации и/или отношения сигнал/шум.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Космические оптические инструменты ВУФ-диапазона крайне чувствительны к различным воздействиям. Часть их характерна для других прецизионных приборов (механические и температурные воздействия, радиационные нагрузки на электронные узлы и другие воздействия), но есть и специфические (перепад давления, акустические нагрузки, радиационные повреждения ВУФ-излучением). Для минимизации этих факторов необходимы комплексные решения на всех этапах разработки и изготовления аппаратуры, включая выбор материалов, включение в состав инструмента вспомогательных узлов, проведение тестов и подготовительных процедур, разработку специальных режимов работы аппаратуры и так далее.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-72-30002).

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Blake R.L., Chubb T.A., Friedman H., Unzicker A.E.* // *Astrophys. J.* 1963. V. 137. P. 3. <https://doi.org/10.1086/147479>
2. *Mandelstam S.L.* // *Space Sci. Rev.* 1965. V. 4. P. 587. <https://doi.org/10.1007/BF00216272>
3. *Tousey R., Bartoe J.-D.F., Brueckner G.E., Purcell J.D.* // *Appl. Optics.* 1977. V. 16. P. 870. <https://doi.org/10.1364/AO.16.000870>
4. *Giacconi R., Reidy W.P., Vaiana G.S., van Speybroeck L.P., Zehnpfennig T.F.* // *Space Sci. Rev.* 1969. V. 9. Iss. 1. P. 3. <https://doi.org/10.1007/BF00187578>
5. *Tsuneta S., Acton L., Bruner M., Lemen J., Brown W., Carvalho R., Catura R., Freeland S., Jurcevich B., Morrison M., Ogawara Y., Hirayama T., Owens J.* // *Sol. Phys.* 1991. V. 136. Iss. 1. P. 37. <https://doi.org/10.1007/BF00151694>
6. *Walker A.B.C., Barbee T.W., Hoover R.B., Lindblom J.F.* // *Science.* 1988. V. 241. Iss. 4874. P. 1781. <https://doi.org/10.1126/science.241.4874.1781>
7. *Delaboudinière J.-P., Artzner G.E., Brunaud J. et al.* // *Sol. Phys.* 1995. V. 162. P. 291. <https://doi.org/10.1007/BF00733432>
8. *Kuzin S.V., Bogachev S.A., Zhitnik I.A., Pertsov A.A., Ignatiev A.P., Mitrofanov A.V., Slemzin V.A., Shestov S.V., Sukhodrev N.K., Bugaenko O.I.* // *Adv. Space Res.* 2008. V. 43. Iss. 6. P. 1001. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.10.021>
9. *Kuzin S.V., Zhitnik I.A., Shestov S.V. et al.* // *Sol. System Res.* 2011. V. 45. Iss. 2. P. 162. <https://doi.org/10.1134/S0038094611020110>
10. *Lemen J.R., Title A.M., Akin D.J. et al.* // *Sol. Phys.* 2012. V. 275. Iss. 1–2. P. 17. <https://doi.org/10.1007/s11207-011-9776-8>
11. *Mitra-Kraev U., Del Zanna G.* // *Astronomy Astrophys.* 2019. V. 628. P. 134. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834856>
12. *Li Z., Su Y., Veronig A.M., Kong Sh., Gan W., Chen W.* // *Astrophys. J.* 2022. V. 930. Iss. 2. P. 147. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac651c>
13. *Kirichenko A.S., Bogachev S.A.* // *Sol. Phys.* 2017. V. 292. Iss. 9. P. 1. <https://doi.org/10.1007/s11207-017-1146-8>
14. *Kirichenko A.S., Bogachev S.A.* // *Astrophys. J.* 2017. V. 840. Iss. 1. P. 45. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa6c2b>
15. *Ulyanov A.S., Bogachev S.A., Reva A.A., Kirichenko A.S., Loboda I.P.* // *Astronomy Lett.* 2019. V. 45. Iss. 4. P. 248. <https://doi.org/10.1134/S1063773719040078>
16. *Ulyanov A.S., Bogachev S.A., Loboda I.P., Reva A.A., Kirichenko A.S.* // *Sol. Phys.* 2019. V. 294. Iss. 9. P. 1. <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1472-0>
17. *Shimojo M., Kawate T., Okamoto T.J., Yokoyama T., Narukage N., Sakao T., Iwai K., Fleishman G.D., Shibata K.* // *Astrophys. J. Lett.* 2020. V. 888. Iss. 2. P. L28. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab62a5>
18. *Loboda I.P., Bogachev S.A.* // *Astronomy Astrophys.* 2017. V. 597. P. A78. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527559>
19. *Loboda I.P., Bogachev S.A.* // *Sol. Phys.* 2015. V. 290. Iss. 7. P. 1963. <https://doi.org/10.1007/s11207-015-0735-7>
20. *Madjarska M.S.* // *Living Rev. Sol. Phys.* 2019. V. 16. Iss. 1. P. 1. <https://doi.org/10.1007/s41116-019-0018-8>
21. *Reva A., Ulyanov A., Kirichenko A., Bogachev S., Kuzin S.* // *Sol. Phys.* 2018. V. 293. Iss. 10. P. 1. <https://doi.org/10.1007/s11207-018-1363-9>
22. *Reva A., Kuzin S., Bogachev S., Shestov S.* // *Sol. Phys.* 2012. V. 276. Iss. 1. P. 97. <https://doi.org/10.1007/s11207-011-9883-6>
23. *Shestov S.V., Kuzin S.V., Urnov A.M., Ul'yanov A.S., Bogachev S.A.* // *Astronomy Lett.* 2010. V. 36. Iss. 1. P. 44. <https://doi.org/10.1134/S1063773710010056>
24. *Urnov A.M., Shestov S.V., Bogachev S.A., Goryaev F.F., Zhitnik I.A., Kuzin S.V.* // *Astronomy Lett.* 2007. V. 33. Iss. 6. P. 396. <https://doi.org/10.1134/S1063773707060059>
25. *Shestov S.V., Urnov A.M., Kuzin S.V., Zhitnik I.A., Bogachev S.A.* // *Astronomy Lett.* 2009. V. 35. Iss. 1. P. 45. <https://doi.org/10.1134/S106377370901006X>
26. *Benton E.R., Benton E.V.* // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B.* 2001. V. 184. P. 255. [https://doi.org/10.1016/S0168-583X\(01\)00748-0](https://doi.org/10.1016/S0168-583X(01)00748-0)
27. *Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В.* Космическая электроника. М.: Техносфера, 2015. 718 с.

## Specific Aspects of Design and Use of Instruments for Space EUV Experiments

S. V. Kuzin<sup>1</sup>, \*, S. A. Bogachev<sup>2</sup>, A. S. Kirichenko<sup>2</sup>, A. A. Pertsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, 664033 Russia*

<sup>2</sup>*Space Research Institute of Russian Academy of Science, Moscow, 117485 Russia*

\**e-mail: kuzin@iszf.irk.ru*

The specific aspects of design and operation of space instruments for recording radiation and images in the extreme ultraviolet (EUV) range of the spectrum are considered. The main factors affecting the reliability of EUV instruments are contamination temperature regime pressure drop acoustic pressure shocks vibration overloads at the launch stage weightlessness and radiation damage. These factors are often interconnected and operate in a complex manner. The analysis of the influence of these factors on the main characteristics of the instruments and the possibilities of its reduction is carried out.

**Keywords:** space instruments, extreme ultraviolet, impact factors.