

## ИССЛЕДОВАНИЯ В ГОИ РЕНТГЕНОВСКОГО И КРАЙНЕГО УФ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА

© 2008 г. С. В. Авакян\*, доктор физ.-мат. наук; И. М. Афанасьев\*, канд. техн. наук; В. Г. Богданов\*; С. В. Борткевич\*; Н.А. Воронин\*; А. И. Ефремов\*, канд. физ.-мат. наук; И. А. Зоткин\*; А. П. Иванов\*; А. Б. Изотов\*; В. Н. Корнилов\*; Э. В. Кувалдин\*, канд. физ.-мат. наук; В. Н. Куприянов\*\*; М. Л. Лебединская\*; Н. Б. Леонов\*, канд. физ.-мат. наук; Е. Ф. Леханов\*; И. М. Прибыловский\*; Г. В. Сазонов\*\*\*; А. В. Савушкин\*, канд. техн. наук; А. Е. Серова\*; Д. А. Черников\*

\* ВНИИ «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург

\*\* Федерация космонавтики России

\*\*\* ОАО ЛОМО, Санкт-Петербург

Работа посвящена истории разработки ряда приборов для исследования рентгеновского излучения Солнца, изготовленных в ГОИ им. С.И. Вавилова и позволивших приступить к созданию современной космической аппаратуры для мониторинга солнечного ионизирующего излучения (с длиной волны короче 150 нм). Приведены результаты измерений на искусственных спутниках Земли (1957–1971 гг.) потоков излучения как спокойного Солнца, так и в периоды мощных солнечных вспышек. Рассмотрено дальнейшее развитие этой работы с целью создания специальной аппаратуры – «Постоянного космического солнечного патруля».

Коды OCIS: 040.0040, 050.0050, 120.0120.

Поступила в редакцию 12.08.2008.

### Введение

Главной задачей космических исследований всегда был контроль за солнечной активностью. Действительно, именно Солнце – его электромагнитные и корпускулярные потоки и их вариации – определяют условия существования самой жизни на Земле, создает радиационный фон в околоземном космическом пространстве. Изменения солнечной активности ведут к естественным и техногенным катаклизмам, существенно усложняющим человеческую деятельность и в земных условиях и, тем более, в космосе.

Неудивительно поэтому, что уже на самом начальном этапе космических исследований Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова (ГОИ) оказался вовлеченным в создание оптико-электронной аппаратуры для измерения мягкого рентгеновского излучения Солнца, предназначенной для первого в мире научного искусственного спутника Земли (ИСЗ).

### Первый прибор для исследования рентгеновского излучения Солнца с борта ИСЗ

Незадолго до запуска первого спутника появилась публикация, в которой описывалась аппаратура для измерения вакуумного рентгеновского и ультрафиолетового (УФ) излучения, предназначенная для установки на первые ИСЗ [1].

История создания этой аппаратуры такова. В начале 1956 года в ГОИ им. С.И. Вавилова к академику Александру Алексеевичу Лебедеву обратился С.Л. Мандельштам (тогда – начальник лаборатории в ФИАН СССР) [2].

С.Л. Мандельштам предложил А.А. Лебедеву заняться изготовлением прибора для исследования излучения Солнца в мягкой рентгеновской и крайней УФ областях спектра, которое полностью поглощается атмосферой Земли и не доходит даже до самых больших, достижимых для самолетов и воздушных шаров высот. Эта область спектра представляла большой интерес для астрофизики (физики солнечной короны и хромосферы), для геофизики (образование ионосферы Земли, обеспечение радиосвязи на коротких волнах) и, наконец, прикладной интерес для грядущих полетов человека в космос [3].

Координация этих работ и связь с разработчиками спутника была поручена канд. физ.-мат. наук начальнику лаборатории Ефремову А.И. [2].

К началу 1957 года была прорисована структурная схема прибора СП-65:

– система сменных фильтров для выделения участков спектра,

– детектор – «солнечно-слепой» 16-каскадный (в т. ч. фотокатод и анод) вторично-электронный умножитель (ВЭУ), работающий в режиме счета импульсов,

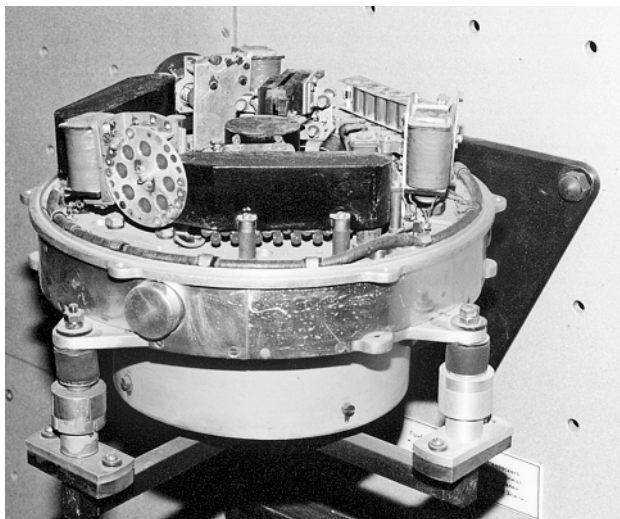
– результат счета на телеметрию. Именно эти ВЭУ [4] и пошли в летную аппаратуру.

К исследованию ВЭУ и эффективных фотокатодов в области рентгеновского излучения позволяющих регистрировать излучение Солнца с длинами волн от 0,154 до 11,3 нм [5, 6], были подключены и специалисты кафедры, руководимой А.А. Лебедевым, в ЛГУ им. А.А. Жданова – Лукирский А.П., Румш М.А., Смирнов Л.А., Карпович И.А. Изучение характеристик фотокатодов в области 100–320 нм было выполнено сотрудниками ГОИ им. С.И. Вавилова – Шубой Ю.А., Тютиковым А.М., Сорокиным О.М. [7].

К разработке электроники подключились сотрудники лаборатории М.М. Мирошникова [8]. Они очень быстро сделали всю электронику, которая и пошла на летный образец.

Сроки разработки были установлены очень жесткие – к началу 1958 года. Предполагалась установка прибора на объект “Д” (впоследствии он стал третьим советским искусственным спутником Земли). Этими работами руководил лично Сергей Павлович Королев, принимали участие его помощники М.К. Тихонравов и К.Д. Бушуев. В установленный срок аппаратура была доставлена в КБ С.П. Королева, установлена и испытана в составе спутника, а затем отправлена на стартовый комплекс космодрома.

Прибор СП-65 (рис. 1) имел три входных устройства, установленных под углом 120° относительно друг друга. По соображениям экономии телеметрических каналов их выходы были объединены: предполагалось, что, когда солнечное излучение случайно попадало в одно из входных устройств (спутник не был ориентированным), выходные сигналы двух других были близки к нулю и не влияли



**Рис. 1.** Прибор СП-65 для исследования излучения Солнца в рентгеновской и ультрафиолетовой областях спектра, установленный на втором советском искусственном спутнике Земли.

на показания первого. Ожидаемый сигнал предполагался в виде характерных ступенек (обуславливался скачкообразной сменой фильтров перед приемником излучения). Спутник активно существовал первые семь суток, после чего запас электропитания иссяк.

Неполный телеметрический охват не позволил понять, что нарастания и спады излучения связаны с периодическим прохождением спутника через радиационные пояса Земли. Резкие ступенчатые сигналы соответствовали солнечному излучению.

Так были проведены первые испытания оптической аппаратуры СП-65 на спутнике в космосе и все предшествующие запуску комплексные наземные испытания. Выполненная работа позволила начать серию оптических измерений в космосе.

### Второе поколение приборов

Второе поколение приборов – ФПК-2 – изготовили к 1960 году. Эти приборы устанавливались на кораблях-спутники, запускавшиеся 28.07.1960 года (корабль погиб во время запуска) и 19.08.1960 года. Запуск и полет второго советского корабля-спутника были успешными – впервые живые существа вернулись на Землю после суточного космического полета.

Аппаратура ФПК-2 состояла из двух основных частей: трех оптических блоков (СФ-1, СФ-2, СФ-3) и регистрирующей схемы (блок РТ).

Блоки СФ устанавливались снаружи кабины космического корабля в различных его частях, блок РТ – внутри кабины корабля, в отличие от аппаратуры, установленной ранее на втором ИСЗ. Тогда вся аппаратура размещалась в условиях космического вакуума.

В каждом из трех блоков СФ находилось по два приемника с синхронно поворачивающимися перед ними дисками с фильтрами, релейный двигатель для поворота дисков, предусилитель и оптические датчики автономного включения, предназначенные для выключения аппаратуры, когда она находится на теневой стороне орбиты спутника или когда Солнце находится вне поля зрения прибора. Каждый приемник имел угол зрения  $50^\circ \times 60^\circ$ , а угол между оптическими осями обоих приемников составлял  $80^\circ$ ; между двумя приемниками одного блока СФ имела мертвая зона, равная  $20^\circ$ .

В ФПК-2 перед приемником ВЭУ устанавливался диск с набором 12-ти фильтров. Через каждую секунду диск поворачивался так, что перед входом приемника устанавливается новый фильтр. Шестнадцать позиций были заняты фильтрами для выделения мягкой рентгеновской и далекой УФ областей спектра.

Три позиции занимали фильтры из кристаллического кварца для выделения УФ области с длинами волн больше 150 нм, где излучение Солнца не подвержено флуктуациям и, следовательно, изменение сигналов на выходе аппаратуры связано только с изменением угла между оптической осью аппаратуры и направлением на Солнце и с изменением во времени чувствительности аппаратуры. По изменению выходных уровней сигналов при измерении с кварцевыми фильтрами можно было корректировать показания аппаратуры при других фильтрах на изменение направления в пространстве и изменение чувствительности. В одной из позиций перед входом приемника устанавливался  $\beta$ -источник (радиоактивный углерод  $^{14}\text{C}$ ), и таким образом проверялась и калибровалась чувствительность аппаратуры. Две другие позиции служили для проверки нуля аппаратуры путем установки перед приемником заслонки и подачи контрольного сигнала для определения начала номеров позиций, а также для проверки исправности радиотехнической регистрирующей схемы.

В блоке РТ скомпонованы три независимых друг от друга измерителя скорости счета (ИСС) с общим выходом на телеметрическую систему. Каждый ИСС связан со своим блоком СФ.

Регистрация излучения осуществлялась путем счета импульсов. В отличие от метода регистрации путем измерения постоянного тока на выходе ВЭУ этот метод более надежен и стабилен. Все схемы ИСС были изготовлены на лампах. Для обеспечения точности измерения интегрирующие цепи каждого из измерителей скорости счета работали в пределах трех диапазонов, соответствующих частотам 0–500, 0–5000, 0–50 000 имп/с. Выходы одноименных каналов всех ИСС работали на общую нагрузку.

Питание обоих ВЭУ в каждом блоке СФ осуществлялось с общего делителя напряжения от индивидуального преобразователя, дающего на выходе 5000 В. Пульсации высоковольтного напряжения через периодически включаемый контакт, расположенный на оси диска с фильтрами, подавались на вход регистрирующей схемы и использовались для контроля ее работы.

В аппаратуре было предусмотрено автономное включение при попадании излучения Солнца в поле зрения любого из приемников.

В каждом блоке СФ имелся свой датчик автономного включения, угол зрения которого совпадает с углом зрения двух приемников блока. Датчик состоял из широкоугольного двухлинзового объектива и двух сернисто-кадмиевых фотоспротивлений типа ФС-КО. Так как потоки отраженного от Земли света в видимой части спектра могут дости-

гать значений потоков приходящей от Солнца радиации, необходимо предотвратить возможность включения аппаратуры от света, отраженного земной поверхностью. Для этой цели поле зрения объектива было разделено на две равные зоны, в каждой из которых установлено по одному ФС-КО. От Солнца, имеющего угловой размер  $30'$ , изображение получается в одной из зон, тогда как от Земли, имеющей угловой размер (со спутника) примерно  $145^\circ$ , наиболее вероятно получить изображение в двух зонах. Каждое фотоспротивление включено в соответствующую обмотку двухобмоточного реле. Обмотки реле включены навстречу друг другу, так что магнитные поля, создаваемые ими, взаимно компенсируются при одновременной засветке двух зон. Таким образом, реле, через контакты которого подается питание на схему, срабатывает лишь при освещении одного из фотоспротивлений и будет выключено либо при отсутствии света, либо при одновременной засветке двух фотоспротивлений.

В каждом блоке СФ имеется один оптический датчик, аналогичный датчику автономного включения. С его выхода сигналы подаются на один канал телеметрической системы, и показания служат для примерного определения положения Солнца относительно оптической оси аппаратуры. Общая мощность, потребляемая аппаратурой, лежала в пределах 12 Вт.

Для нормального теплового баланса блоков СФ, находящихся снаружи космического корабля, они имели алюминиевые полированные, бесцветно-оксидированные кожухи с соответствующими коэффициентами отражения в видимой и ИК областях спектра.

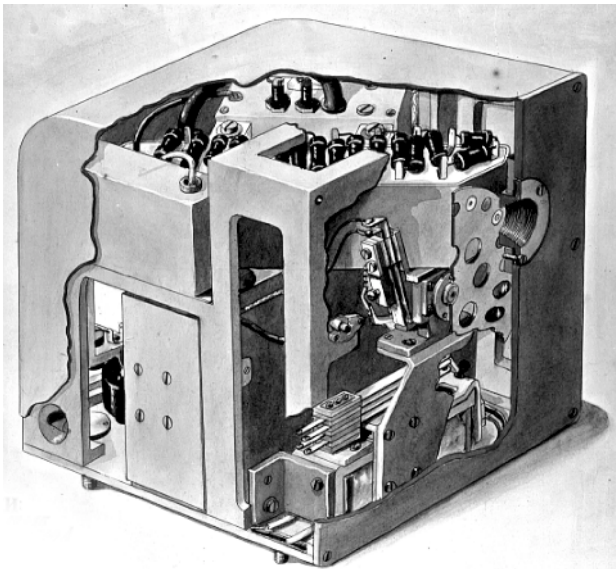
Перед установкой аппаратуры на космическом корабле она была тщательно испытана и откалибрована в лабораторных условиях [9].

Большой интерес к данной работе проявлял академик А.А. Лебедев, советами которого постоянно пользовались при разработке аппаратур; необходимо отметить и участие профессора С.Л. Мандельштама в разработке физической схемы эксперимента [10].

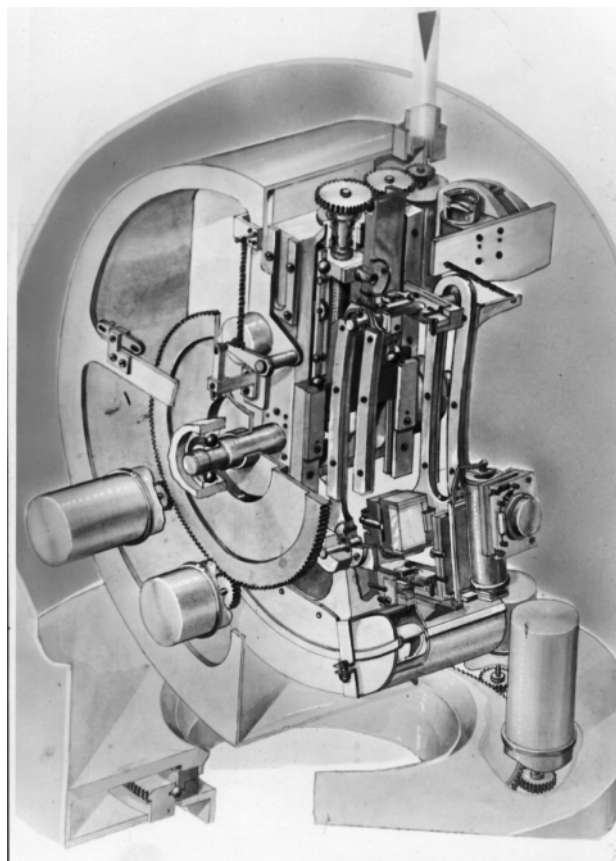
В этом суточном полете эксперимент по наблюдению солнечного рентгеновского излучения был успешно выполнен. Впервые удалось зафиксировать потоки излучения Солнца в исследуемых спектральных диапазонах во время солнечной вспышки 19 августа 1960 года [11, 12].

Аналогичные комплекты аппаратуры “Фильтровой прибор коротковолновый” ФПК-3 (рис. 2) и ФПК-4 устанавливались на спутники серии “Космос”. ФПК-3 был установлен на борту спутника ДС-У2-ГФ (малый универсальный спутник гелио-





**Рис. 2.** Прибор СП-118 (ФПК-3). Фильтровой прибор для исследования коротковолнового излучения Солнца в диапазоне 0,1–150,0 нм, использованный в составе аппаратуры на ИСЗ “Космос-262”.



**Рис. 3.** Солнечный спектрометр РСР со следящей системой на область спектра 1,8 нм – 31 нм, установленный на ИСЗ “Космос-262”.

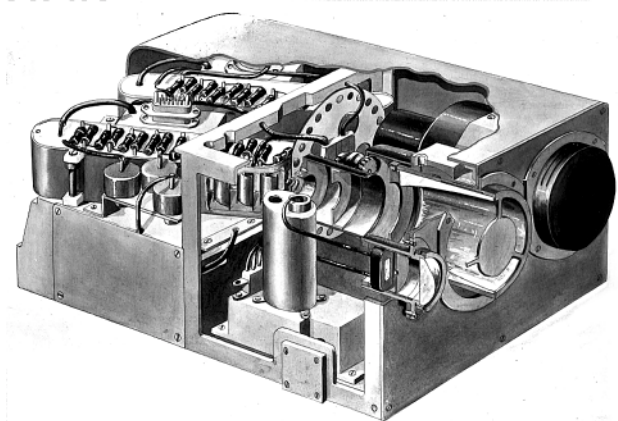
физический) разработки КБ “Южное” М.К. Янгеля (после запуска 26.12.1968 года – ИСЗ “Космос-262”) [13].

На этом аппарате были установлены еще два новых прибора: рентгеновский спектрометр РСР со следящей системой на область спектра 1,8–31 нм и звездный фотометр коротковолновый ЗФК (рис. 3 и 4) [10].

Особенностью РСР стало использование в качестве диспергирующего элемента дифракционной решетки и специальной следящей системы, рассчитанной на определенные угловые скорости вращения аппарата. Разработчиком и изготовителем дифракционной решетки был коллектив, возглавляемый доктором техн. наук Ф.М. Герасимовым. Испытания РСР были проведены на земле. И хотя оказалось, что скорости свободного вращения спутника после выведения на орбиту сильно отличались от ожидаемых (и поэтому достоверных данных от этого прибора получить не удалось), но опыт использования прибора достаточно сложной оптической схемы пригодился при создании приборов следующего поколения [14, 15].

Прибор ЗФК отличало узкое поле зрения и специальный параболический рентгеновский объектив с золоченой поверхностью, работавший на отражение рентгеновского излучения в малых углах скольжения. Регистрация излучений предполагалась через фильтры с помощью ВЭУ.

Промежуточные результаты исследований, выполненных с помощью комплекса этой аппаратуры, были приведены в [16].



**Рис. 4.** Прибор СП-115 (ЗФК). Фильтровой прибор с параболическим зеркальным объективом для исследования коротковолновой радиации удаленных источников в диапазоне 4,0–140,0 нм, установленный на ИСЗ “Космос-262”.

Комплект аппаратуры ФПК-4 был установлен на борту ионосферной станции. Сам спутник разрабатывался в Красноярском КБ М.Ф. Решетнева, а научное руководство осуществляли Сибирский ИЗМИР СО АН (г. Иркутск) и ИЗМИР АН (г. Троицк). Первая попытка выведения станции на орбиту в декабре 1969 года не удалась, аппаратура пошла в космос только после второй попытки запуска, состоявшейся 02.12.1970 г., этот аппарат получил наименование “Космос-381” [17].

Установленный на нем ФПК-4 по принципу работы и по конструкции был подобен ФПК-2 и включал три вынесенных за пределы герметичного объема спектральных блока и схему регистрации, размещавшуюся внутри герметичного объема. Спектральный диапазон измеряемого излучения от 0,14 до 150 нм разбивался на 16 интервалов специальными фильтрами, которые переставлялись автоматически через 3 или 10 с в зависимости от режима работы. Орбита этого спутника, в отличие от орбит ранее запущавшихся ИСЗ, на которых устанавливалась аналогичная аппаратура, была почти круговой с высотой около 1000 км и углом наклона к экватору 74°. Поля зрения трех приборов не перекрывались, а углы раствора составляли 60°. В этих условиях имелась возможность проводить патрулирование излучения Солнца примерно 15–20% времени полета.

Однако из-за невыполнения предполетной тарировки аппаратуры в зависимости от угла падения квантов на источниках излучения удалось обработать только показания в семнадцати случаях появления диска Солнца. Все эти случаи выбраны так, что ориентация оси аппаратуры на центр Солнечного диска была не хуже 10°. Калибровка аппаратуры перед полетом на источниках рентгеновского и крайнего УФ излучения также не проводилась, и при обработке данных по Солнцу использовалась методика, предложенная Г.С. Ивановым-Холодным (Институт прикладной геофизики), в которой в качестве спектральной функции источника использовались стандартные (справочные) спектры спокойного Солнца [18].

При интерпретации наблюдений, выполненных с помощью этой аппаратуры, учитывались данные об ориентации ИСЗ, рассчитанные Ю.Н. Шаулиным (ИЗМИР АН), и результаты измерений электронной концентрации в ионосфере, полученные на ионосферной станции ИЗМИР АН (Москва) методом вертикального зондирования ионосферы [19, 20].

В создании этой аппаратуры и оригинальной методики обработки данных принимали участие сотрудники ГОИ [21–23].

Реализация программы получения данных об электронных потоках на высоте орбиты с помощью аппаратуры ФПК-4 [24] позволила на несколько

порядков повысить эффективность космического эксперимента на ИСЗ “Космос-381” и опубликовать уникальные сведения о высыпающих из радиационных поясов в ионосферу электронах с энергией от 2,5 до 100 эВ во время мировой геомагнитной бури 14–15 декабря 1970 года [25–28].

Такое кардинальное увеличение информативности показаний аппаратуры ФПК-4 стало возможным благодаря следующим обстоятельствам:

- прекрасной работе аппаратуры ФПК-4 (без сбоев) весь период активного существования ИСЗ “Космос-381”,

- высокоэффективным методикам и алгоритмам обработки информации, предложенным в ГОИ [22] и реализованным на ЭВМ БЭСМ-6 в СибИЗМИРе А.И. Галкиным и Н.М. Полех,

- дополнительной калибровке аппаратуры ФПК-4 на электронном пучке с помощью специально созданной пушки по схеме К. Штейгервальда [24],

- особой методологии разделения сигналов (в отсутствие солнечных потоков) от электронов и протонов [24].

Главное, что впервые удалось получить реальные уровни абсолютных потоков электронов на входе в ионосферу Земли (на высоте 1000 км) на всех широтах от магнитных полюсов до экватора при любой степени геомагнитной активности.

Как показано в [25], аппаратура ФПК-4 оказалась способной с высокой чувствительностью регистрировать абсолютные значения и спектральную форму потоков электронов, высыпающих в ионосферу Земли из радиационных поясов. Это обусловлено тем, что потоки электронов с энергией выше 2,3 кэВ проникают сквозь фильтр-пленку из алюминия, потоки более высоких энергий – сквозь пленки из бора, бериллия, углерода и германия, а потоки с энергией выше 25 кэВ – сквозь фольги из алюминия, титана, магния и меди.

При магнитных бурях из радиационных поясов одновременно высыпаются и протоны. Но поток протонов по количеству частиц примерно в 43 раза более слабый, так как энергии, переносимые потоками электронов и протонов, как правило, одинаковы [27]. Для разделения сигналов от электронов и протонов нами использовано сравнение показаний по фильтрам из бериллия и германия – с одинаковой приведенной плотностью, но с существенно разными атомными номерами. Такая пара одинаково пропускает электроны, а протоны в бериллии сильно поглощаются. Приемник мягкого рентгеновского и крайнего УФ излучения – открытый ВЭУ разработки ГОИ им. С.И. Вавилова с фотокатодом из ВеО – оказался очень удобным для регистрации высыпающих из радиационных поясов заряжен-

ных частиц благодаря своей уникальной степени “солнечной слепоты”.

Во время сильной геомагнитной бури впервые на средних широтах были получены данные об абсолютных значениях потоков электронов, причем как высыпавшихся, так и захваченных, и отдельно для энергий выше 2,5 и 25 кэВ. Выявлено не известное ранее явление исчезновения потоков электронов (уменьшения на 2–3 порядка от интенсивности в максимуме) в разные периоды бури [25].

Действительно, при вариациях геомагнитного поля во время бури (с максимумом в центре главной фазы) сопровождающие эти изменения высыпания электронов из радиационных поясов испытывают в начале и в конце главной фазы резкие ослабления (до порога регистрации в течение 1,5–3 ч). Только в центре главной фазы они на средних широтах на 2–4 ч достигают действительно максимальных значений – до уровня авроральных вторжений [25, 27]. И сейчас, через 35 лет, такие измерения во время магнитной бури редки, хотя уже в работе [29] подтверждены подобные результаты о спаде интенсивности потоков электронов с энергией выше 25 кэВ на средних широтах при наибольших значениях индекса геомагнитной активности  $K_p$  ( $K_p > 5$ ). За рубежом также уже многие годы обращается внимание на наличие помеховых сигналов в фильтровых радиометрах, предназначенных, подобно аппаратуре ФПК-4, для абсолютных измерений солнечных потоков мягкого рентгеновского излучения [30, 31]. Частично эти сигналы использованы для получения данных о потоках электронов на геостационарной орбите [31].

Обнаруженная в [24] возможность аппаратуры ФПК-4 измерять потоки электронов, ионизирующих верхнюю атмосферу, будет использована и при будущих орбитальных экспериментах с недавно созданной оптико-электронной аппаратурой “Космический солнечный патруль” (КСП).

### Современный этап разработки приборов

В апреле 1996 г. в ГОИ им. С.И. Вавилова была создана Лаборатория аэрокосмической физической оптики, которая возобновила разработку аппаратуры для измерения абсолютных и спектральных величин коротковолнового солнечного потока в рамках проекта “Космический солнечный патруль” [32]. Так, уже в 1998–1999 гг. при поддержке Международного научного технического центра (МНТЦ) (гранты № 385, 385В) были созданы два космических прибора КСП: крайний УФ (КУФ) спектрометр ( $\Delta\lambda = 16–154$  нм) и рентгеновско-УФ радиометр ( $\Delta\lambda = 0,14–157$  нм) [33], причем прототипом по-

следнего явился прибор ФПК-4. Для оснащения аппаратуры КСП “солнечно-слепыми” детекторами в лаборатории была вновь воссоздана технология изготовления ВЭУ [33]. В 2001–2003 гг. в ГОИ в рамках проекта № 1523 МНТЦ был изготовлен последний из комплекса приборов КСП – РУФ спектрометр ( $\Delta\lambda = 1,8–198$  нм) [34], в котором были реализованы технические новинки, позволившие увеличить диапазон регистрации и улучшить надежность аппаратуры [35]. Главная особенность методологии нового КСП состоит в проведении одновременных спектрорадиометрических измерений абсолютных потоков ионизирующего солнечного излучения (радиометром и спектрометрами). Отметим, что до сих пор такие измерения в мире не проводятся. Конструкция аппаратуры позволяет ей измерять непрерывно, со съемом полного спектра в диапазоне длин волн от 0,14 до 200 нм каждые 72 с [36]. Все спектральные диапазоны перекрываются, причем в УФ спектрометре это происходит на наиболее интенсивных линиях солнечного спектра: около 30,4, 58,4, 911 нм и на 121,6 нм. Перекрывание осуществляется и со спектральным поддиапазоном, где в обоих спектрометрах работают обычные фотоэлектронные умножители с окошком из фтористого магния (ФЭУ-142). Все это позволяет увеличить надежность функционирования аппаратуры в космосе и контролировать возможную деградацию чувствительности каждого рабочего спектрального канала, оснащенного ВЭУ. Для радиометров предусмотрена постоянная калибровка прямо в космическом полете по изотопу  $^{55}\text{Fe}$  на длине волны 0,2 нм.

Все приборы прошли успешные лабораторные калибровочные испытания на ламповых УФ источниках в вакуумных камерах ГОИ, а радиометр также калибровался на рентгеновском источнике в лаборатории Европейского космического технологического центра (ESTEC), Нидерланды) [33, 37, 38]. В работе над приборами КСП принимали участие специалисты ГОИ: Савушкин А.В. (разработка оптических схем); Кувалдин Э.В., Корнилов В.Н. (разработка и создание электроники КУФ спектрометра и РУФ радиометра); Леонов Н.Б., Серова А.Е. (воссоздание технологии ВЭУ и их изготовление); Леханов Е.Ф., Иванов А.П. (конструкторское сопровождение); Афанасьев И.М., Богданов В.Г., Борткевич В.С., Быстров А.С. (разработка и создание электроники РУФ спектрометра); Тимофеев Н.Н., Сыркин Е.Н., Черников Д.А. (изготовление, монтаж и сборка); Воронин Н.А., Зоткин И.А., Лебединская М.Л. (расчеты, испытания и калибровки приборов). С 2004 года по июль 2007 года по гранту № 2500 МНТЦ выполнялась совместная работа ГОИ и Института ядерной физики (ИЯФ) им.



Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск) по абсолютной калибровке комплекса приборов КСП на синхротронном источнике ИЯФ [39].

К настоящему времени весь комплекс аппаратуры “Космический солнечный патруль” изготовлен в расчете на два запуска: на Международной космической станции (на российском служебном модуле “Звезда”) в целях опытной эксплуатации и на автоматическом КА с солнечно-синхронной орбитой. Текущая ситуация и перспективы с созданием постоянного мониторинга – патруля спектральной плотности потоков ионизирующего излучения Солнца – обсуждены в [40, 41]. Конкретика современных представлений о роли данных постоянного КСП в решении фундаментальных вопросов астрофизики, гелиофизики и геофизики изложена в [42], а в практическом решении задач по космической погоде в [43].

Однако Совет по космосу РАН за 10 лет не проявил интереса ни к одному из этих космических экспериментов, которые были способны внести кардинальный вклад России в Международный гелиофизический год (2007/2008) и еще раз подтвердить пионерскую роль российской науки, техники и космонавтики в решении самых насущных, хотя и, как оказалось, самых сложных для мировой науки проблем фундаментальных исследований по солнечно-земной физике из космоса [44]. Результаты успешных испытаний аппаратуры “Космический солнечный патруль” в ГОИ и ESTEC, проведение предполетной абсолютной калибровки на синхротронном источнике в ИЯФ СО РАН [39] позволяют выполнить первый запуск в космос в самое ближайшее время – в начальной фазе очередного 24-го солнечного цикла, и это нельзя упустить [45].

Следует отметить национальное превосходство, достигнутое при выполнении современного этапа работы – создании комплекса аппаратуры КСП, так как:

1) создана космическая оптико-электронная аппаратура для измерения ионизирующего излучения Солнца, не имеющая аналогов в мире;

2) предложена и реализована методология измерения ионизирующего излучения в космосе, не имеющая мировых аналогов;

3) воссоздана технология изготовления наиболее эффективных “солнечно-слепых” приемников ионизирующего излучения для диапазона спектра короче 125 нм – вторично-электронных умножителей открытого типа, не имеющих мировых аналогов.

Авторы выражают глубокую благодарность за многолетнюю поддержку работы главному куратору проектов Международного научно-технического центра О.В. Лапидусу и главным научным кон-

сультантам проектов МНТЦ: профессору А.Д. Данилову (Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова Росгидромета), профессору Г.С. Иванову-Холодному (ИЗМИРАН), летчику-космонавту, профессору В.В. Коваленку, летчику-космонавту, чл.-корр. РАН В.П. Савиных (МИИГАИК); за научное сопровождение проекта КСП – директору Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН, доктору физ.-мат. наук А.В. Степанову; за научно-техническое сопровождение – директору Института прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова Росгидромета, профессору С.И. Авдюшину; за поддержку в публикации данной статьи – почетному директору ГОИ им. С.И. Вавилова, чл.-корр. РАН М.М. Мирошникову.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Мандельштам С.Л., Ефремов А.И.* Исследования коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца // УФН. 1957. Т. LXIII. В. 1. С. 163–180.
2. *Куприянов В.Н.* На солнечном ветру // СПбГУ. 1998. № 9 (3476). С. 16–18.
3. *Куприянов В.Н.* Об истории создания первого прибора для измерения с борта ИСЗ излучения Солнца в вакуумной рентгеновской и ультрафиолетовой области спектра // Наука и техника: вопросы истории и теории / СПб. 1997. В. XIII. С. 135.
4. *Тютиков А.М., Ефремов А.И.* Вторично-электронные умножители для регистрации длинноволнового рентгеновского излучения // Докл. АН СССР. 1958. Т. 118. В. 2. С. 286–288.
5. *Лукирский А.П., Руми М.А., Смирнов Л.А.* Измерение фотоэлектрического выхода для ультрамягкого рентгеновского излучения // Опт. и спектр. 1960. Т. 9. В. 4. С. 505–510.
6. *Лукирский А.П., Руми М.А., Карнович И.А.* Измерение фотоэлектрического выхода внешнего фотоэффекта под действием рентгеновского излучения в области длин волн от 1,54 до 13,3 ангстрем // Опт. и спектр. 1960. Т. 9. В. 5. С. 653–657.
7. *Шуба Ю.А., Тютиков А.М., Сорокин А.М.* Фотокатоды для исследования коротковолновой радиации Солнца // Искусственные спутники Земли. 1961. В. 10. С. 55–60.
8. *Куприянов В.Н.* Первый прибор для измерения излучения Солнца с борта ИСЗ // Новости космонавтики. 2004. Т. 14. № 10 (261). С. 70–71.
9. *Ефремов А.И., Подмошенский А.Л., Иванов М.А., Никифоров В.Н., Ефимов О.Н.* Фильтровая аппаратура для исследования коротковолновой радиации Солнца // Искусственные спутники Земли. 1961. В. 10. С. 48–54.
10. *Куприянов В.Н.* Аппаратура ГОИ им. С.И. Вавилова для исследования рентгеновского и ультрафиолетово-

го излучений на космических аппаратах // Вторые Уткинские чтения: Тр. общерос. научно-технич. конф. СПб.: Балтийский гос. техн. ун-т. 2005. С. 74–82.

11. *Ефремов А.И., Подмошенский А.Л., Иванов М.А., Ефимов О.Н., Лебедев А.А.* Исследование коротковолновой радиации Солнца // Искусственные спутники Земли. 1961. В. 10. С. 3–11.
12. *Yefremov A.I., Podmoshensky A.L., Yefimov O.N., Lebedev A.A.* Investigation of solar X-rays and Lyman alpha Radiation on August 19–20, 1960 // Space research III. Proc. of the third international space science symposium. Washington. D.C., May 2–8, 1962. Amsterdam: North-Holland Publishing company, 1963. P. 843–854.
13. *Ефремов А.И., Куприянов В.Н.* Разработка аппаратуры и проведение исследований рентгеновского и ультрафиолетового излучений Солнца, ультрафиолетового излучения звезд и дисков Земли и Луны с орбитальных космических аппаратов и комплексов // XII междунар. симпозиум по истории авиации и космонавтики. М.: ИИЕТ РАН, 1999. С. 162–163.
14. *Ефремов А.И., Иванов А.В.* Оптико-механическое устройство спектрометров скользящего падения // ОМП. 1973. № 7. С. 30–32.
15. *Ефремов А.И., Васильев Е.А., Лукашева А.Д.* Метод юстировки спектральных приборов // ОМП. 1973. № 10. С. 37–39.
16. *Ефремов А., Зайцев Ю., Михайлов В.* Обсерватория в космосе // Правда. № 297 (18710). 24.10.1969.
17. *Альперт Я., Федоров М., Кушнеревский Ю., Рабинович Р., Матазов В., Баринов А.* На орбите – ионозонд. Наука раздвигает горизонты (об устройстве ИСЗ “Космос-381”) // Освоение космического пространства в СССР. Официальные сообщения ТАСС и материалы центральной печати, 1971 г. М.: Наука, 1973. С. 126–128.
18. *Иванов-Холодный Г.С., Никольский Г.М.* Солнце и ионосфера. М.: Физматгиз, 1969. 312 с.
19. *Авакян С.В., Болгарцева М.П., Гершун Л.Н., Ефремов А.И., Кушнеревский Ю.В., Одинцова И.Н., Леценко Л.Н., Петров В.С., Сазонов Г.В.* Ионизирующее излучение Солнца по данным ИСЗ “Космос-381” и его влияние на ионосферу // Геомагнетизм и аэрномия. 1973. Т. 13. № 5. С. 922–924.
20. *Авакян С.В., Ефремов А.И., Подмошенский А.Л., Прибыловский И.М., Сазонов Г.В., Иванов М.А., Петров В.С., Гершун Л.Н., Болгарцева М.П.* Ионизирующие потоки в верхней ионосфере Земли // Сб. статей, посвящен. 80-летию со дня рождения академика А.А. Лебедева. Л.: Машиностроение, 1973. С. 136–149.
21. *Ефремов А.И., Авакян С.В., Подмошенский А.Л., Болгарцева М.П., Гершун Л.Н., Иванов М.А., Петров В.С., Прибыловский И.М., Сазонов Г.В.* Потоки излучения спокойного солнца в диапазоне 121,6–0,45 нм // Препринт ИЗМИР АН СССР. № 23. М.: Наука, 1973.
22. *Ефремов А.И., Авакян С.В., Подмошенский А.Л., Болгарцева М.П., Сазонов Г.В., Петров В.С., Гершун Л.Н.* Исследование потоков электронов на спутнике “Космос-381” и их влияние на состояние ионосферы // Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике солнца. 1974. В. 30. С. 226–229.
23. *Авакян С.В., Ефремов А.И., Кринберг И.А., Кулаков А.П., Подмошенский А.Л.* Аналитический вид энергетического распределения потоков электронов во внешней ионосфере // Препринт ИЗМИР АН СССР. № 22. М.: Наука, 1973.
24. *Авакян С.В.* Кандидатская диссертация “Разработка комплекса методик обработки, его применение к телеметрическим данным спутниковой фильтровой аппаратуры о потоках ионизирующего излучения Солнца и электронов и некоторые механизмы ионизации верхней атмосферы”. Л.: ГОИ, 1974. 113 с.
25. *Авакян С.В., Болгарцева М.П., Ефремов А.И., Кринберг И.А., Кулаков А.П., Петров В.С., Подмошенский А.Л., Прибыловский И.М., Сазонов Г.В., Шаулин Ю.Н.* Потоки электронов во время магнитной бури 14–15 декабря 1970 г. по данным ИСЗ “Космос-381” // Исследования по геомагнетизму и аэрномии. 1974. В. 32. С. 158–161.
26. *Ефремов А.И., Авакян С.В., Подмошенский А.Л., Болгарцева М.П., Гершун Л.Н., Иванов М.А., Петров В.С., Прибыловский И.М., Сазонов Г.В.* Абсолютные потоки излучения спокойного Солнца в диапазоне 121,6–0,45 нм // Исследования по геомагнетизму и аэрномии. 1974. В. 32. С. 162–166.
27. *Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарнаков В.Ф.* Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве. Справочник. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. 501 с.
28. *Лазарев А.И., Коваленок В.В., Иванченков А.С., Авакян С.В.* Атмосфера Земли с “Салюта-6”. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 207 с.
29. *Лапшовичка Я.* Высыпание жестких электронов ( $E = 20–150$  кэВ) на средних широтах // Геомагнетизм и аэрномия. 1980. Т. 20. № 5. С. 880–883.
30. *Horan D.M., Kreplin R.W., Taylor R.G.* Solar X-ray emission on January 24–25, 1971 // Data on Solar-Geophysical activity associated with the major ground level cosmic ray events of 24 January 1971 and 1 September, 1972. Boulder: WDCA STP.1972. Report UAG-24, part 1. P. 100–102.
31. *Garcia H.A.* Energetic electron pitch angle distribution parameters at 6.6 Re, as deduced from GOES X ray observations // Planetary and Space Science. 1996. V. 44. № 5. P. 473–484.
32. *Авакян С.В., Воронин Н.А., Ефремов А.И., Иванов А.П., Иванова М.Л., Кувалдин Э.В., Савушкин А.В.* Методология и аппаратура для космического контроля солнечного ионизирующего излучения // Оптический журнал. 1998. Т. 65. № 12. С. 124–131.
33. *Авакян С.В., Андреев Е.П., Афанасьев И.М., Воронин Н.А., Иванов А.П., Корнилов В.Н., Кувалдин Э.В., Лебединская М.Л., Леонов Н.Б., Леханов Е.Ф., Савинов Е.П., Савушкин А.В., Серова А.Е., Тимофеев Н.Н., Яковлев Э.А.* Разработка аппаратуры для постоянного космическо-



- го патруля ионизирующего излучения Солнца // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 6. С. 54–62.
34. *Авакян С.В., Андреев Е.П., Афанасьев И.М., Воронин Н.А., Леонов Н.Б., Савинов Е.П., Савушкин А.В., Серова А.Е., Яковлев Э.А.* Разработка рентгеновского спектрометра Космического солнечного патруля // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 11. С. 36–40.
35. *Авакян С.В., Афанасьев И.М., Богданов В.Г., Борткевич В.С., Быстров А.С., Воронин Н.А.* Новые подходы в формировании регистрирующего тракта в приборах Космического Солнечного патруля // Научное приборостроение. 2003. Т. 13. № 2. С. 34–39.
36. *Avakyan S.V., Andreev E.P., Afanas'ev I.M., Leonov N.B., Savushkin A.V., Serova A.E., Voronin N.A.* Creating of the permanent Space Patrol of ionizing solar radiation // Proc. SPIE. 2002. V. 4853. P. 600–611.
37. *Авакян С.В., Андреев Е.П., Афанасьев И.М., Воронин Н.А., Лебединская М.Л., Леонов Н.Б., Кувалдин Э.В., Савинов Е.П., Савушкин А.В., Серова А.Е.* Лабораторные исследования аппаратуры для космического контроля ионизирующей радиации Солнца // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 2. С. 5–14.
38. *Avakyan S., Van Esbeek M., Milintchouk A., Kuvaldin E., Leonov N., Lebedinskaya M., Polsak A., Serova A., Voronin N.* Ground test of X-Ray monitor device for flights on boards of satellites // Proc. 8-th International Symposium on "Materials in Space Environment", 5-th International Conference on "Protection of materials and structures from the LEO space environment", France, Arcachon, June 2000. P. 17–23.
39. *Авакян С.В., Афанасьев И.М., Воронин Н.А., Зоткин И.А., Черников Д.А., Пиндюрин В.Ф., Николенко А.Д., Лях В.В., Легкодымов А.А., Полетаев И.В., Холопов М.А.* Результаты подготовки к калибровочным испытаниям аппаратуры "Космический солнечный патруль" на синхротронном источнике // Изв. ВУЗов. Сер. Приборостроение. 2006. Т. 49. № 8. С. 17–21.
40. *Avakyan S.V.* Space Solar Patrol Absolute Measurements of Ionizing Solar Radiation // 35-th Scientific Assembly of COSPAR, Paris, France, 18–25 July 2004. Advances in Space Research. 2006. V. 37. Issue 2. P. 297–302.
41. *Авакян С.В.* Микроволновое излучение ионосферы как фактор воздействия солнечных вспышек и геомагнитных бурь на биосистемы // Оптический журнал. 2005. Т. 72. № 8. С. 41–48.
42. *Гнедин Ю.Н., Соловьев А.А., Авакян С.В.* Космический солнечный патруль и некоторые фундаментальные вопросы астрофизики, гелиофизики и геофизики // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 4. С. 5–9.
43. *Авакян С.В., Афанасьев И.М., Воронин Н.А., Зоткин И.А., Черников Д.А.* Космический солнечный патруль и проблемы космической погоды // Оптический журнал. 2006. № 4. Т. 73. С. 10–17.
44. *Авакян С.В.* Физика солнечно-земных связей: результаты, проблемы и новые подходы // Геомагнетизм и аэронавигация. 2008. Т. 48. № 4. С. 1–8.
45. *Авакян С.В.* Аппаратура для постоянного мониторинга мягкого рентгеновского и крайнего ультрафиолетового излучения Солнца // Астрономический календарь на 2007 год / Под ред. И.И. Канаева. СПб.: ГАО РАН. С. 165–167.