

## ПЕРВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АВТОНОМНАЯ ОРБИТАЛЬНАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (К 35-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ЗАПУСКА КА «ГРАНАТ»)

## ON THE 35<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF GRANAT SC LAUNCH: THE FIRST NATIONAL AUTONOMOUS ORBITAL X-RAY OBSERVATORY



**Х.Ж. Карчаев<sup>1</sup>,**  
кандидат  
экономических наук,  
*KarchaevKHZH@laspace.ru;*  
**Kh.Zh. Karchaev**



**П.В. Примаков<sup>1</sup>,**  
кандидат  
экономических наук,  
*PrimakovPV@laspace.ru;*  
**P.V. Primakov**



**С.В. Кудрявцев<sup>1</sup>,**  
кандидат  
технических наук,  
*KudriavtsevSV@laspace.ru;*  
**S.V. Kudryavtsev**

*В статье приведён краткий обзор проектов по созданию первой отечественной автономной орбитальной рентгеновской астрофизической обсерватории «ГРАНАТ» и её современной преемницы – орбитальной обсерватории «СПЕКТР-РГ».*

*Ключевые слова:*  
*орбитальная астрофизическая обсерватория;*  
*ГРАНАТ; СПЕКТР-РГ;*  
*рентгеновский телескоп;*  
*гамма-телескоп.*

DOI: 10.26162/LS.2024.20.58.002

Современная астрономия – сложная разветвлённая область знаний. Общее определение астрономии как фундаментальной науки, предметом которой является изучение природы Вселенной, т.е. различных космических объектов и процессов, протекающих в космосе в различных пространственных и временных условиях, понятно каждому. Однако в практике научных исследований можно встретить довольно много различных разновидностей «астрономий». Одни из них получили своё название по предмету исследования и, частично, по историческим причинам («звёздная»,

*The article presents a brief survey of development of the first national autonomous GRANAT orbital X-ray astrophysical observatory mission and its present successor – the SPEKTR-RG orbital observatory mission.*

*Key words:*  
*orbital astrophysical observatory;*  
*GRANAT; SPEKTR-RG;*  
*X-ray telescope;*  
*gamma-ray telescope.*

«внегалактическая» и т.д.). Другие – по степени прикладного назначения («практическая», «мореходная» и т.д.). Пожалуй, наиболее часто выделение «астрономий» происходит по спектральному (энергетическому) диапазону и по технологии наблюдений: гамма-, рентгеновская, оптическая, инфракрасная, радио-, гравитационная и т.д. Конечно, все эти «астрономии» не являются «изолированными» друг от друга. Речь идёт лишь о различных технологиях изучения объектов и процессов во Вселенной. Некоторые из таких «астрономий» предоставляют возможность

<sup>1</sup> АО «НПО Лавочкина», Россия, Московская область, г. Химки.

Lavochkin Association, JSC, Russia, Moscow region, Khimki.

## ПЕРВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АВТОНОМНАЯ ОРБИТАЛЬНАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (К 35-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ЗАПУСКА КА «ГРАНАТ»)

получать важные научные сведения практически обо всех астрономических объектах, другие – только об избранных классах объектов, и каждый технологический подход имеет свои преимущества (Шустов Б.М. и др., 2014).

Создание орбитальных инструментов для исследования космических объектов является апогеем современной астрономии, и наша страна по праву считается лидером в этой высокотехнологичной и наукоёмкой области.

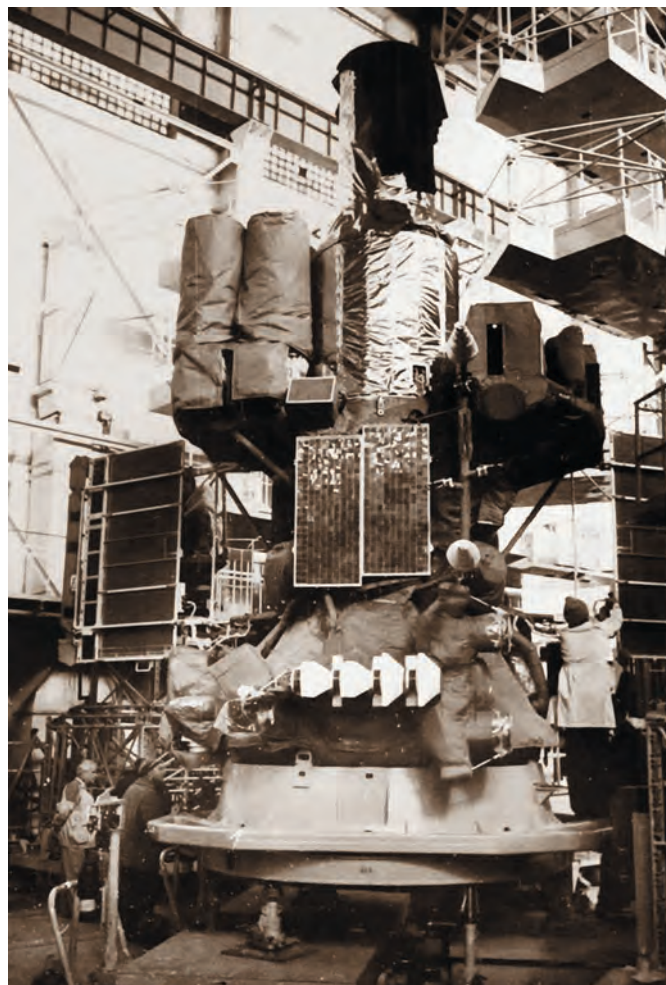
Уже в конце 1980-х годов в Советском Союзе при участии международной кооперации была создана уникальная орбитальная астрофизическая обсерватории «ГРАНАТ» (рисунок 1), которая исследовала галактические и внегалактические источники в рентгеновском и гамма-диапазонах электромагнитного излучения.

Запуск КА «ГРАНАТ» осуществлён 1 декабря 1989 года на четырёхступенчатой ракете-носителе «Протон-К» с разгонным блоком «ДМ» в качестве 4-й ступени. Стартовая масса КА «ГРАНАТ» – 4402 кг. При этом общая масса комплекса научной аппаратуры составила 2146 кг.

Обсерватория была нацелена на проведение детальных исследований компактных и протяжённых космических источников в широком диапазоне излучений – от 2 кэВ до 100 МэВ. Это позволяло определять температуру тепловой плазмы в скоплениях галактик, рентгеновских пульсарах, аккреционных дисках вокруг чёрных дыр, для выявления космических объектов, где работают нетепловые механизмы излучения.

Научная программа КА «ГРАНАТ» включала в себя:

- построение изображения с высоким разрешением и высокой чувствительностью участков небесной сферы в гамма- и рентгеновском диапазонах, локализацию дискретных источников рентгеновского и гамма-излучений;
- исследование спектральных характеристик излучения космических источников в рентгеновском и гамма-диапазонах длин волн и их поведения во времени;
- измерение линейной поляризации излучения рентгеновских источников;
- исследование фонового рентгеновского излучения Вселенной, его мелкомасштабной изотропии;



**рисунок 1.** Орбитальная астрофизическая обсерватории «ГРАНАТ»



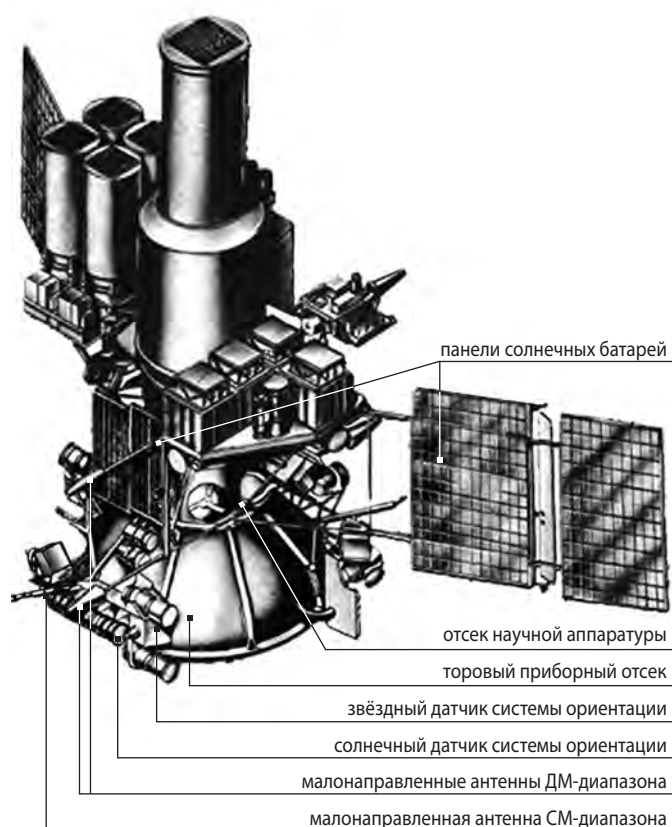


рисунок 2. Схема обсерватории «ГРАНАТ»

- патрульное слежение за небесной сферой с целью обнаружения и изучения источников рентгеновского и гамма-излучений.

При создании астрофизической обсерватории «ГРАНАТ» за основу был взят служебный модуль космического аппарата КА «АСТРОН», конструкция которого была доработана.

В связи с появлением на борту нового и более тяжёлого комплекса научной аппаратуры изготовлена новая коническая проставка, соединяющая торовый приборный отсек с опорным цилиндром (рисунок 2).

Торовый приборный отсек герметичный. В нём размещены жизненно важные системы аппарата, обеспечивающие его функционирование на орбите ИСЗ: радиокомплекс, телеметрическая система, система автономного управления ориентацией и стабилизацией, система электропитания, элементы системы терморегулирования, блоки электроавтоматики. Снаружи на торовом отсеке, на стороне аппарата, постоянно обращённой к Солнцу, расположен блок астродатчиков, состоящий из оптико-электронных приборов ориентации на Солнце и звезду.

Более массивный, чем его предшественник, телескоп «Сигма» потребовал также усиления конструкции опорного цилиндра. Встроена внутренняя перегородка, перпендикулярная продольной оси опорного цилиндра и разделяющая его на две части.

Верхняя часть представляет собой герметичный отсек, в котором расположены электронные блоки научной аппаратуры.

В качестве генератора электрической энергии на космическом аппарате применялись солнечные батареи с кремниевыми фотопреобразователями. Конструктивно они состояли из трёх панелей. Две панели, каждая из которых имеет две складывающиеся секции, расположены симметрично относительно продольной оси аппарата на фермах, крепящихся к опорному цилиндру. До выведения космического аппарата на рабочую орбиту ИСЗ они находятся в сложенном положении и раскрываются после его отделения от разгонного блока. Третья панель солнечной батареи установлена неподвижно на опорном цилиндре. Общая площадь солнечных батарей  $8,2 \text{ м}^2$  (*Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований*, 2010).

Устойчивая радиосвязь КА «ГРАНАТ» с Землёй при любой ориентации обеспечивалась установленными на орбитальном модуле малонаправленными приёмопередающими антеннами дециметрового и сантиметрового диапазонов.

Управление угловым положением аппарата при его ориентации и стабилизации в пространстве осуществляется газореактивными соплами, работающими на сжатом азоте.

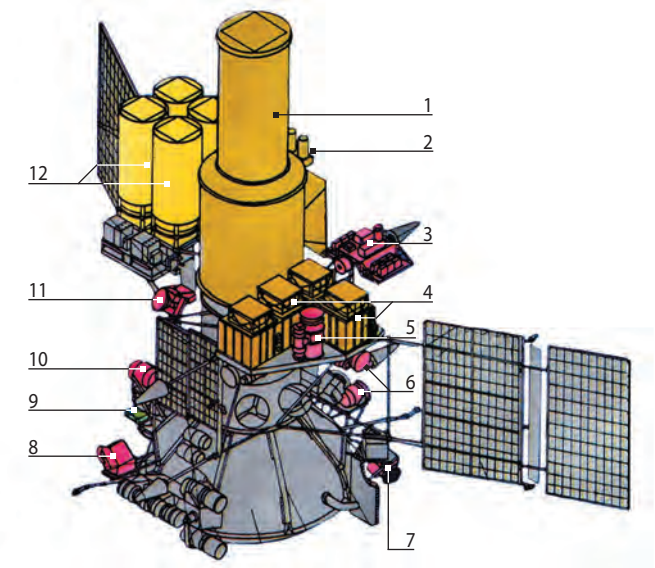
Для поддержания требуемой температуры газа в герметичных приборных отсеках на орбитальном модуле установлены радиаторы. Радиатор-нагреватель размещён на торовом приборном отсеке и своей рабочей поверхностью постоянно обращён к Солнцу, радиатор-охладитель установлен на опорном цилиндре с теневой стороны. Соединённые с герметичными приборными отсеками трубчатыми газоходами, они образуют замкнутую активную газоциркуляционную систему терморегулирования. Появление ещё одного герметичного отсека потребовало изменения, по сравнению с КА «АСТРОН», прокладки воздуховодов системы терморегулирования.

Снаружи космический аппарат закрыт многослойной экранно-вакуумной теплоизоляцией, за исключением окон оптических датчиков ориентации и рабочих поверхностей некоторых научных приборов, к которым предъявляются специальные требования.

Научная аппаратура на борту орбитальной обсерватории «ГРАНАТ» была разделена на две группы:

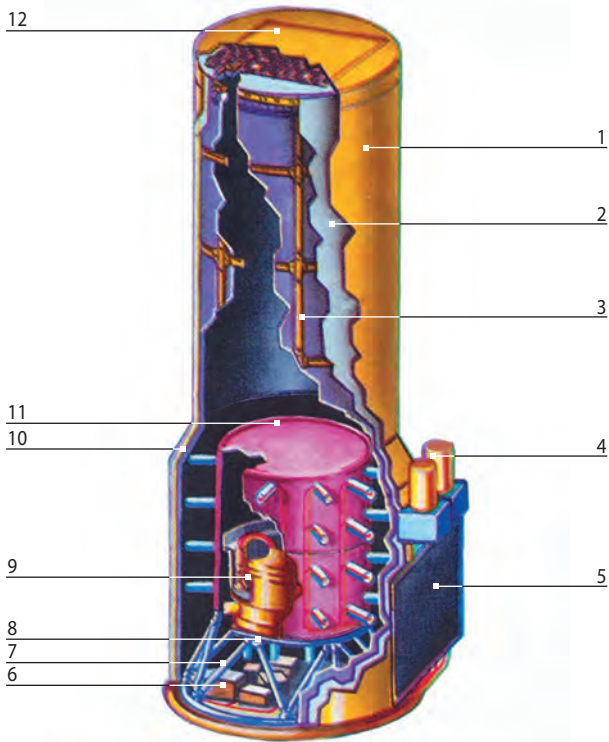
- телескопы с узким полем зрения («Сигма», АРТ-П, АРТ-С) – для наблюдения стационарных источников космического излучения;
- обзорные детекторы («Конус», «Фебус», «Вотч») – для регистрации и исследования переменных источников космического излучения, в частности всплесков (таблица).

ПЕРВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АВТОНОМНАЯ ОРБИТАЛЬНАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
(К 35-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ЗАПУСКА КА «ГРАНАТ»)



- 1 – гамма-телескоп «Сигма»;
- 2 – звёздный датчик телескопа «Сигма»;
- 3 – комплекс телескопов на поворотной платформе «Подсолнух»;
- 4 – комплекс рентгеновских телескопов АРТ-С;
- 5 – спектрометр высоких энергий «Фебус»;
- 6 – детектор гамма-всплесков «Конус»;
- 7 – обзорный детектор рентгеновских всплесков «Вотч»;
- 8 – обзорный детектор рентгеновских всплесков «Вотч»;
- 9 – монитор заряженных частиц КС-18-14;
- 10 – детектор гамма-всплесков «Конус»;
- 11 – обзорный детектор рентгеновских всплесков «Вотч»;
- 12 – комплекс рентгеновских телескопов АРТ-П.

рисунок 3. Размещение научной аппаратуры на борту КА «ГРАНАТ»



- 1 – экранно-вакуумная теплоизоляция;
- 2 – экран; 3 – несущая труба;
- 4 – звёздный датчик;
- 5 – радиатор системы терморегулирования;
- 6 – аппаратная панель с блоками электроники;
- 7 – ферма; 8 – нижняя система антисовпадений;
- 9 – детектор положения;
- 10 – боковая система антисовпадений;
- 11 – пластиковый сцинтиллятор; 12 – кодирующая маска.

рисунок 4. Гамма-телескоп «Сигма»

таблица – Обзорные детекторы для регистрации и исследования всплесков

обзорный детектор	назначение	страна
«ВОТЧ»	регистрация и локализация рентгеновских всплесков, исследование их энергетического спектра и временных структур в диапазоне от 5 до 150 кэВ. Патрульное слежение за небесной сферой в рентгеновском диапазоне излучения	Дания
«КОНУС-В»	регистрация, локализация, спектральный и временной анализы космических гамма-всплесков с высоким временным разрешением в энергетическом диапазоне 20÷2000 кэВ	СССР
«ФЕБУС»	регистрация, спектральный и временной анализы космических гамма-всплесков по всем направлениям в пространстве в широком энергетическом диапазоне 100÷40000 кэВ, исследование механизма излучения гамма-квантов в космических всплесках	Франция
БРВ	всплесковый прибор для регистрации рентгеновских и гамма-источников в видимом диапазоне волн (0,4–0,9 мкм) и их локализация с точностью до 4 угловых минут	СССР
«Подсолнух-Д»	спектральный и временной анализы космических рентгеновских и в энергетическом диапазоне 2÷25 кэВ, проведение оптического сопровождения гамма-всплесков	СССР, Болгария
КС-18-М	мониторные измерения потоков заряженных частиц протонов и ядер гелия с энергиями более 1 кэВ и электронов с энергиями более 50 кэВ в космическом пространстве	СССР

Комплекс научной аппаратуры (рисунок 3) подразделяется на приборы со сравнительно узким полем зрения – телескопы – для исследования квазистационарных источников и на всплесковые приборы – для детального исследования источников гамма-всплесков и рентгеновских всплесков – барстеров. Всплесковые приборы позволяют держать в поле зрения практически всю небесную сферу (*Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований*, 2010).

Все три комплекса телескопов – «Сигма», АРТ-П и АРТ-С – обладают примерно равной информативностью. Именно они составляют орбитальную обсерваторию, благодаря которой появилась возможность исследовать космические источники в очень широких диапазонах энергий, от 4 кэВ до 1,5 МэВ. Телескопы «Сигма» и АРТ-П строят изображения в частично перекрывающихся друг друга диапазонах энергий, что позволило впервые наблюдать одновременно рентгеновское и гамма излучения одного и того же светила.

Телескоп «Сигма» – главный прибор комплекса «Сигма», разработанного французским Национальным Центром Исследований и включающего в себя, кроме телескопа, бортовую вычислительную машину UGB (два комплекта), два звёздных датчика и бортовую память ёмкостью 128 Мбит.

Сам телескоп (рисунок 4) имеет массу около тонны, длину – 3,5 м, диаметр базы – 1,2 м. Основные элементы телескопа – кодирующая маска, детектор излучения, средства пассивной и активной защиты детектора и служебных подсистем (запоминающих устройств на магнитных доменах с высокой плотностью хранения информации, компьютера и т.д.).

Поле зрения телескопа (часть небесной сферы, которую можно наблюдать через апертуру телескопа) –  $4^{\circ}45' \times 4^{\circ}20'$ . Угловое разрешение (точность, с которой можно различить две точки) –  $10'$ . Точность локализации источника –  $2'$ . Энергетический диапазон – от 30 кэВ до 2 МэВ. Среднее время накопления изображения – 24 часа.

Программа предполагала проведение наблюдений с участием телескопа «Сигма» более 100 галактических и внегалактических источников излучения.

Комплекс астрономических позиционно-чувствительных рентгеновских телескопов АРТ-П, разработанный в Институте космических исследований АН СССР и ОКБ ИКИ (г. Фрунзе), использует тот же новый принцип получения изображения наблюдаемых объектов, что и телескоп «Сигма». На входном окне телескопа также установлена теневая кодирующая маска с определённым образом расположенными квадратными отверстиями. При «освещении» телескопа параллельным пучком фотонов от удалённого источника в плоскости детектора рентгеновского излучения формируется теневой образ кодирующей маски. Математическая обработка точек распределения регистрации фотонов позволяет восстановить

распределение яркости рентгеновского излучения по небесной сфере, то есть получить «картинку» в рентгеновских лучах.

Телескопы АРТ-П предназначены для построения изображений, проведения спектрометрии, тайминга и локализации дискретных источников рентгеновского излучения с точностью около 1 угловой минуты в диапазоне энергий от 3 КэВ до 100 КэВ на участке небесной сферы размером  $1,75 \times 1,75$  угловых градусов.

В составе комплекса АРТ-П четыре идентичных и функционально независимых телескопа с позиционно-чувствительными детекторами (уникальными многопроволочными пропорциональными камерами высокого давления с общей эффективной площадью  $2400 \text{ см}^2$ ) и кодирующими масками. Поле зрения телескопа выбрано таким образом, чтобы в его пределах находилось от трёх до десяти слабых источников. Телескоп позволяет разделять эти источники, исследовать их спектры и поведение во времени. Чувствительность его за 24-часовую экспозицию достаточна для наблюдения квазаров, находящихся на космологических расстояниях. Используемый тип детектора позволяет проводить детальные спектральные исследования источников.

Комплекс телескопов АРТ-С предназначен для детального спектрального исследования и слежения во времени за поведением сравнительно ярких рентгеновских источников в диапазоне энергий от 3 до 150 КэВ.

В составе комплекса АРТ-С четыре идентичных спектральных рентгеновских телескопа, построенных по традиционной методике и позволяющих проводить спектрометрию и тайминг с временным разрешением 100 мкс, и общий блок управления. Телескоп состоит из двух пар устройств детектирования. Каждая пара, благодаря качающемуся коллиматору, наблюдает поочерёдно источник и фон. В качестве детекторов используются многопроволочные камеры общей эффективной площадью  $2400 \text{ см}^2$ . Поле зрения телескопа  $2 \times 2$  угловых градуса.

В качестве рабочей была выбрана высокоэллиптическая орбита с высотой в перигее 2000 км, высотой в апогее 200000 км, наклонением  $51,5^{\circ}$ , аргументом перигея  $\omega = 285^{\circ}$ , долготой восходящего узла  $\Omega = 25^{\circ}$  и периодом обращения 5880 минут ( $\sim 4$  суток).

Выбранная орбита позволяла космической обсерватории находиться вне пределов земной магнитосферы в течение трёх (из четырёх) суток и проводить круглосуточные наблюдения в условиях относительно постоянного фонового излучения.

Программа полёта была рассчитана на восемь месяцев – это во многом определялось тем, что для КА «ГРАНАТ» в целях удешевления проекта и ускорения сроков его реализации при комплектовании состава бортовой служебной аппаратуры использован ЗИП, сформированный для КА «ВЕГА».



## ПЕРВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АВТОНОМНАЯ ОРБИТАЛЬНАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (К 35-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ЗАПУСКА КА «ГРАНАТ»)

Остаточный ресурс приборов, изготовленных в 1983–84 годах, определял именно такую технически гарантированную продолжительность полётного времени.

КА «ГРАНАТ» многократно перевыполнил первоначально намеченную программу. Он проводил научные измерения в штатном режиме в течение 58 месяцев, а общее время его работы на орбите составило 108 месяцев. Количество проведённых сеансов связи составило более 1800. Было выдано более 160000 команд при ресурсе бортового дешифратора в 25000 команд. Большинство приборов и систем превысили свой ресурс в 5–6 и более раз.

Уже первые наблюдения, проведённые обсерваторией «ГРАНАТ», дали сенсационные научные результаты.

Изображения центра Галактики, построенные по информации, полученной с телескопов АРТ-П и «Сигма», позволили определить местонахождение и идентифицировать мощный источник излучения высоких энергий. Тот факт, что этот источник (1E1740-29) не совпадает с динамическим центром Галактики, а расположен от него в 40 угловых минутах, представлял собой информацию первостепенной важности.

Это первое открытие «ГРАНАТА» было представлено участникам colloквиума Международного астрономического союза уже в апреле 1990 года.

В дальнейшем наблюдение области центра Галактики проводилось многократно и продолжительное время.

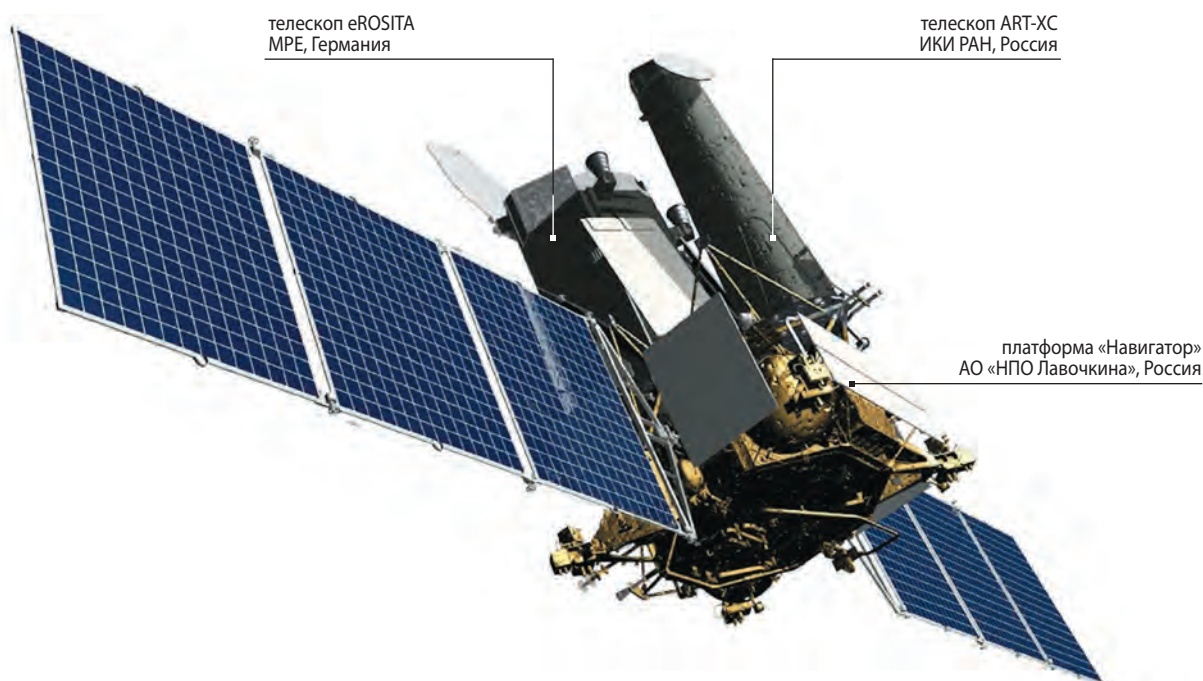
Научные результаты, полученные КА «ГРАНАТ», вошли в историю мировой астрофизики. Среди них: открытие излучения в линии аннигиляции электронов-позитронов в спектрах двух рентгеновских

источников-кандидатов в чёрные дыры; открытие квазипериодических осцилляций рентгеновского потока от кандидатов в чёрные дыры; открытие трёх ярчайших рентгеновских Новых, общепризнанных ныне кандидатов в чёрные дыры; построение уникальных карт Центральной области нашей Галактики в рентгеновских и гамма-лучах; открытие первого источника в нашей Галактике, дающего направленные выбросы, видимая скорость движения которых превышает скорость света (*Космический полёт НПО им. С.А. Лавочкина*, 2010).

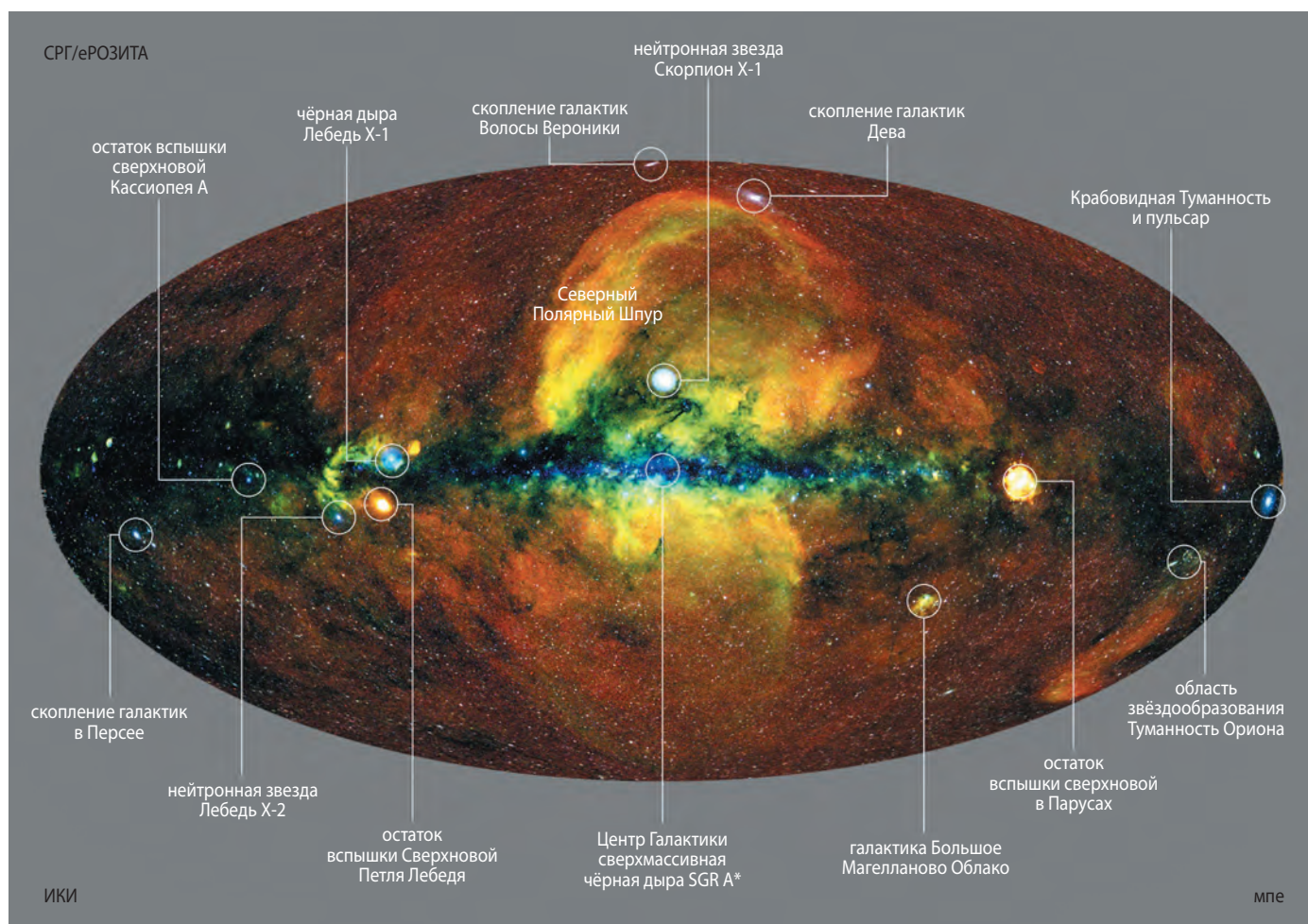
Были открыты более двух десятков неизвестных ранее рентгеновских источников. Собрана замечательная коллекция спектров излучения чёрных дыр и нейтронных звёзд – рентгеновских пульсаров и барстеров. Зарегистрировано более 250 космических гамма-всплесков. КА «ГРАНАТ» проводил патрульное слежение за активностью нашего Солнца, им был зафиксирован синтез дейтерия в ядерных реакциях на его поверхности во время ярчайших солнечных вспышек. Проводился обзор неба в жёстких рентгеновских лучах.

Результаты исследований характеризуют источники рентгеновского и гамма излучений, расположенных в области составляющей ~80% небесной сферы. Они легли в основу более 200 опубликованных научных работ (*Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований*, 2010).

Реализация в конце 80-х–90-х годах проекта «ГРАНАТ» позволила России в области астрофизических исследований не только сравняться по уровню с западными странами, но и в этот период даже выйти в лидеры.



**рисунок 5.** Космический аппарат «СПЕКТР-РГ»



**рисунок 6.** Карта рентгеновских источников, построенная обсерваторией «СПЕКТР-РГ»



**рисунок 7.** Вручение премии имени Марселя Гроссмана (слева направо: А.Е. Ширшаков, Р.А. Сюняев, Х.Ж. Карчаев)



И сегодня Россия подтверждает своё лидерство в области создания уникальных инструментов для проведения астрофизических исследований.

В 2019 году впервые в истории отечественной космонавтики в окрестность точки Лагранжа  $L_2$  на расстоянии около полутора миллионов километров от Земли была выведена астрофизическая обсерватория «СПЕКТР-РГ», разработанная в АО «НПО Лавочкина».

Обсерватория оснащена двумя уникальными рентгеновскими зеркальными телескопами: ART-XC имени М.Н. Павлинского (ИКИ РАН, Россия) и eROSITA (MPE, Германия), работающими по принципу рентгеновской оптики косого падения. Телескопы установлены на космической платформе «Навигатор» (НПО Лавочкина, Россия), адаптированной под задачи проекта.

Основные задачи миссии «СПЕКТР-РГ» (рисунок 5):

- проведение обзора всего неба в рентгеновском диапазоне с рекордной чувствительностью;
- поиск сотен тысяч массивных скоплений галактик в рентгеновском диапазоне;
- обнаружение нескольких миллионов сверхмассивных чёрных дыр;
- регистрация нескольких сотен тысяч коронально активных звёзд;
- изучение чёрных дыр и нейтронных звёзд в нашей Галактике;
- исследование остатков Сверхновых, скоплений галактик и других диффузных объектов;
- исследование крупномасштабных диффузных объектов в нашей и других галактиках;
- поиск приливных разрушений звёзд и других транзиентных явлений в рентгеновском диапазоне;
- локализация жёсткого рентгеновского излучения от протяжённых объектов;
- исследование формы спектра активных галактических ядер (Ширшаков А.Е., Карчаев Х.Ж., Мошнеев А.А., Лоханов И.В., 2019).

За пять лет работы КА «СПЕКТР-РГ» провёл четыре полных сканирования небесной сферы. Построена самая подробная на сегодняшний день карта рентгеновских источников во Вселенной (рисунок 6). За создание лучшей в мире карты всего неба в рентгеновских лучах, за открытие миллионов неизвестных ранее сверхмассивных чёрных дыр на космологических расстояниях, за регистрацию рентгеновского излучения от десятков тысяч скоплений галактик, заполненных в основном «тёмным веществом», и за возможность детального исследования роста крупномасштабной структуры Вселенной в эпоху доминирования «тёмной энергии» орбитальная обсерватория «СПЕКТР-РГ» в 2021 году была удостоена самой престижной международной

награды в области астрофизики – премией имени Марселя Гроссмана (рисунок 7).

В 2022 году один из двух телескопов на борту обсерватории — германский eROSITA был переведён в «спящий» режим и обзор всего неба был приостановлен. Российский телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского продолжил работу в рамках обновлённой программы научных наблюдений, составленной с учётом уже полученных результатов и оптимизированной под характеристики телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского. Одной из основных её задач стал глубокий обзор нашей Галактики – Млечного пути. Помимо этого, проводились наблюдения наиболее интересных областей неба и источников, в том числе, впервые обнаруженных.

Обзор Галактики был завершён осенью 2023 года, после чего ART-XC им. М.Н. Павлинского вернулся к решению основной задачи проекта и возобновил программу обзора всего неба. Пятый полный осмотр небесной сферы был проведён с 19 октября 2023 по 24 апреля 2024 года.

К настоящему времени число научных статей по данным обсерватории «СПЕКТР-РГ» составляет 114, число «Астрономических телеграмм» (коротких оперативных сообщений) – около 30.

На текущий момент «СПЕКТР-РГ» сделал десять полных витков по гало-орбите вокруг точки Лагранжа  $L_2$  и передал на Землю более 1 петабайта данных (официальный сайт ИКИ РАН в сети Интернет <https://iki.cosmos.ru/news/spektr-rg-pyat-let-v-kosmose>).

## **список литературы**

*Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований* / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Г.М. Полищука и д-ра техн. наук, проф. К.М. Пичхадзе. М.: МАИ ПРИНТ, 2010. С. 257-298.

*Космический полёт НПО им. С.А. Лавочкина* / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. К.М. Пичхадзе и д-ра техн. наук, проф. В.В. Ефанова. М.: Изд-во МАИ ПРИНТ, 2010. С. 71-76.

Ширшаков А.Е., Карчаев Х.Ж., Мошнеев А.А., Лоханов И.В. На шаг впереди (к 80-летию ОКБ НПО имени С.А. Лавочкина) // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2019. № 2. С. 3-18.

Шустов Б.М., Сачков М.Е., Боярчук А.А., Мошнеев А.А., Гомес де Кастро А.И. Космические перспективы изучения ультрафиолетовой Вселенной: проект «Спектр-УФ» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 5. С. 4-15.

*Статья поступила в редакцию 28.10.2024*

*Статья после доработки 28.10.2024*

*Статья принята к публикации 28.10.2024*