

НАУЧНАЯ АППАРАТУРА КАРБОН, МРТ И СИГМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «БИОН-М» № 1 И «ФОТОН-М» № 4

© 2016 Ю.Н. Горелов, Л.В. Курганская, А.В. Щербак

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 16.12.2016

Дано краткое описание научной аппаратуры КАРБОН, МРТ и СИГМА, которая устанавливалась на КА «Бион-М» № 1 и «Фотон-М» № 4, и космических экспериментов, которые были проведены с применением этой аппаратуры. Изложены основные результаты эксперимента КАРБОН по исследованию воздействия факторов космического пространства на карбидокремниевые структуры (на КА «Бион-М» № 1) и эксперимента МРТ (многоканальный регистратор температур) по мониторингу теплового состояния локальных зон конструкции контейнеров с аппаратурой на внешней поверхности КА «Фотон-М» № 4. Приведены перечень и цели экспериментов, проведенные с научной аппаратурой СИГМА, а также перечень космических экспериментов, включенных в научную программу «Бион-М» № 2.

Ключевые слова: научная аппаратура, космический эксперимент, космический аппарат, экспериментальные данные

ВВЕДЕНИЕ

Для проведения фундаментальных и прикладных исследований в условиях космического полёта в интересах различных областей науки и техники нашли широкое применение автоматические КА «Фотон» и «Бион» разработки ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» [1, 2], на борту которых в 1970...2000-х годах были проведены уникальные медико-биологические и технологические эксперименты. В 2013 г. были проведены космические эксперименты (КЭ) в области космической медицины и биологии на КА нового поколения «Бион-М» № 1, а затем на разработанном на его базе КА «Фотон-М» № 4, полет которого состоялся в 2014 г. [3].

В состав научной аппаратуры (НА) на КА «Бион-М» № 1 и «Фотон-М» № 4 входила НА КАРБОН, МРТ и СИГМА для проведения КЭ, которые были разработаны специалистами и учеными самарских вузов и научных организаций [4].

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И НАУЧНАЯ АППАРАТУРА КАРБОН

Основная цель КЭ КАРБОН – исследование комплексного воздействия факторов космического пространства на стойкость карбидокрем-

ниевых структур (SiC) при их экспонировании в условиях открытого космического пространства [5]. В связи с этим подготовка КЭ потребовала решения следующих задач: во-первых, получение образцов структур SiC на изолирующих подложках (далее – Элементы Карбон) и разработка оборудования для измерения их параметров; во-вторых, разработка, изготовление и предполетные испытания НА КАРБОН. Указанные задачи были решены в полном объеме и при этом были разработаны технологические основы создания карбидокремниевых структур на изолирующих подложках с заданными параметрами, изготовлены летные образцы Элементов Карбон и были проведены необходимые до- и послеполетные исследования параметров и электрофизических характеристик этих образцов. Элементы Карбон (в виде пластинок с размерами 7×7 мм и 10×5 мм) были получены методом магнетронного напыления в виде тонких пленок (от 500 нм до 2 мкм) карбида кремния на изолирующих подложках (Al_2O_3 , SiO_2 , p-Si). На рис. 1 показана НА КАРБОН, установленная на КА «Бион-М» № 1 (на техническом комплексе космодрома Байконур).

Результаты КЭ КАРБОН показали, что образцы карбидокремниевых структур, которые экспонировались в условиях открытого космического пространства в течение 30-ти суточного полёта КА «Бион-М» № 1 на высоте 575 км, обладают высокой стойкостью к воздействию факторов космического пространства и, соответственно, для Элементов Карбон не было выявлено изменений в морфологии поверхностей пленок, в химическом составе и электрофизических характеристиках и не было обнаружено изменений в количестве и характере имевшихся дефектов поверхностей.

Горелов Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор, директор института проблем моделирования и управления (НИИ-310). E-mail: yungor07@mail.ru
Курганская Любовь Викторовна, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник НИИ-310. E-mail: limbo83@mail.ru

Щербак Андрей Владимирович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник НИИ-310. E-mail: anshch@yandex.ru

Основной результат проведенного КЭ состоит в том, что свойства такого уникального полупроводникового материала как карбид кремния – SiC в виде пленок на изолирующих подложках при воздействии факторов космического пространства сохраняются практически без заметных изменений. С использованием контрольных и летных образцов Элементов Карбон (после полета) были разработаны опытные образцы датчиков СВЧ-мощности, для которых в обоих случаях были получены высокие метрологические характеристики (точность, линейность и стабильность в широком диапазоне температур) [5].

Результаты КЭ КАРБОН только первый шаг по изучению влияния факторов космического пространства на свойства полупроводниковых материалов, который необходим для создания элементной базы экстремальной микро- и наноэлектроники, для разработки новых типов датчиков, полупроводниковых приборов и устройств в классе «SPACE». Поэтому дальнейшее изучение свойств карбидокремниевых и аналогичных им структур для других полупроводниковых материалов планируется провести в рамках КЭ КАРБОН-2 на КА «Бион-М» № 2 (см. Приложение) с экспонированием образцов на более высокой орбите (до 800 км). В этом КЭ также планируется проведение исследований не только с образцами-«мишенями» типа Элементов Карбон, но и с делениями на их основе.

Кроме того, на КА «Бион-М» № 1 также были проведены КЭ с использованием НА «БИОКОНТ-Б» (разработчик НА – ЦНИИМаш) с семенами редких растений Самарской области (постановщик КЭ – Ботанический сад Самарского университета) и с клеточными культурами человека (постановщик КЭ – Самарский государственный медицинский университет), результаты которых изложены в [6, 7].

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И НАУЧНАЯ АППАРАТУРА МРТ

Научная аппаратура МРТ (многоканальный регистратор температур) была разработана для КА «ФОТОН-М» № 4 с целью мониторинга в течение всего полёта теплового состояния конструкции контейнеров научной аппаратуры (КНА), которые устанавливаются на внешнюю поверхность спускаемого аппарата КА [8-10]; соответственно, контейнеры КНА-Ф № 1, 2 и 4. НА МРТ предназначена для измерения температур в локальных зонах КНА на всех этапах эксплуатации КА с целью текущего контроля условий проведения соответствующих КЭ в КНА, для интерпретации результатов которых необходимо знание температурных режимов НА. Для КА «Фотон-М» № 4 текущие значения температур с датчиков НА МРТ, размещавшихся в КНА, регистрировались (с дискретностью 10 с) как в течение всего 42-х

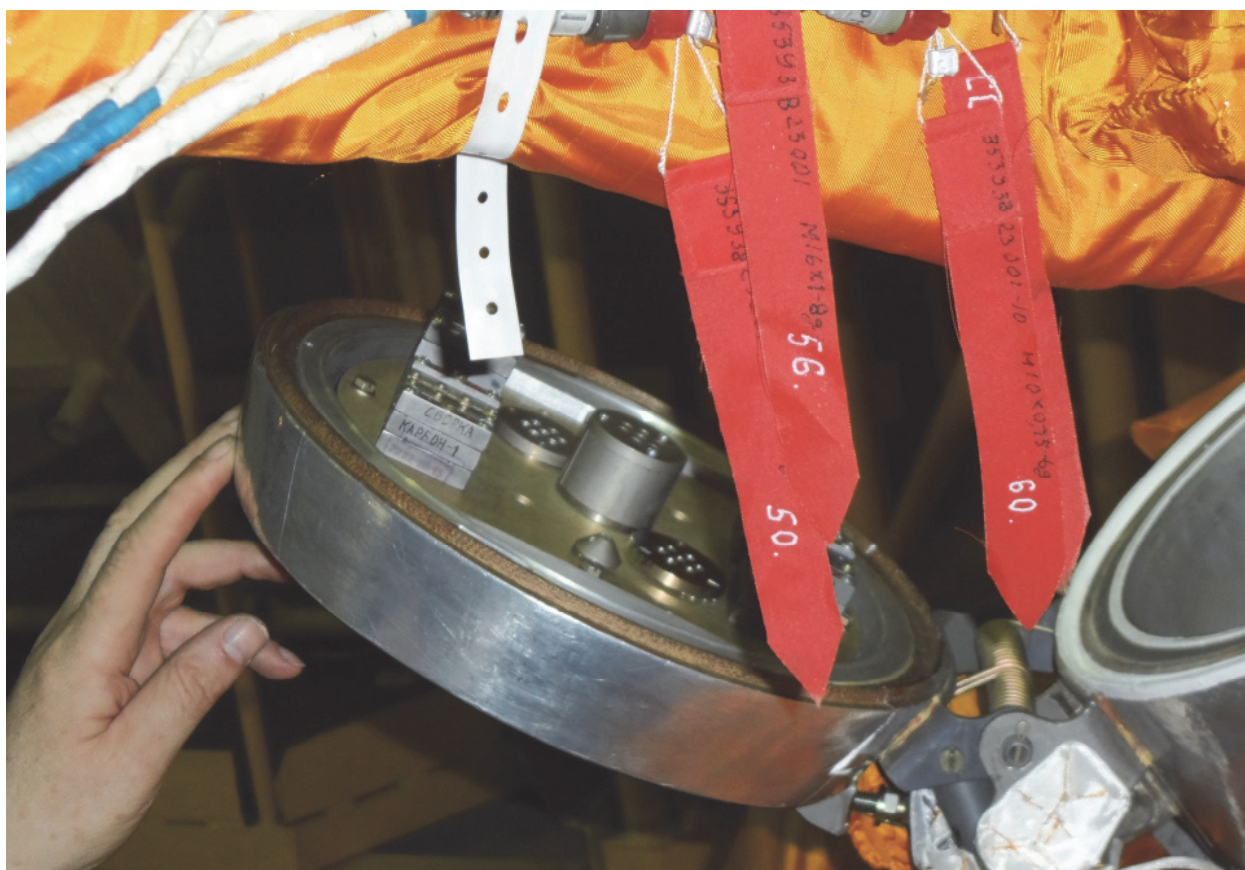


Рис. 1. Научная аппаратура КАРБОН на борту КА «Бион-М» № 1

суточного полёта, так и за трое суток до запуска КА на орбиту и еще спустя в течение семи суток после посадки и доставки спускаемого аппарата на завод-изготовитель КА – РКЦ «Прогресс».

В [8-10] описана универсальная автономная система для мониторинга теплового состояния локальных зон КНА. Там же описан технический облик этой системы и ее состав, что определило основные технические характеристики НА МРТ, разработанной для КА «ФОТОН-М» № 4.

В состав МРТ входят датчики температуры (типа HRTS-5760-B), которые устанавливаются в заданных локальных зонах КНА (см. на рис. 2; места их установки в КНА-Ф № 1, 2 и 4 идентичны), и блок регистрации данных, размещаемый в герметичном объеме КА (в спускаемом аппарате).

Проведенные лётно-конструкторские испытания НА МРТ подтвердили как её работоспособность в условиях космического полёта, так и правильность принятых технических решений при её создании. Основные результаты проведенного КЭ с НА МРТ, полученные после обработки и анализа экспериментальных данных о температурах в локальных зонах КНА (КНА-Ф № 1, 2 и 4), связаны с выявлением основных факторов, определявших тепловое состояние конструкции КНА при полёте КА «ФОТОН-М» № 4. К ним относятся как положение КНА на поверхности КА, полёт которого происходит в режиме ориентации панелей солнечных батарей на Солнце, так и текущее положение плоскости орбиты относительно направления на Солнце. Кроме того, на текущие значения температур оказывает влияние и расположение датчиков в КНА, а именно, в каждом из КНА датчики № 1, 2, 3, 4 и 5 располагаются на днищах КНА, которые экранируются платами полезной нагрузки, а датчики № 6 и № 7 – на стенках КНА выше плат полезной нагрузки и непосредственно над датчиками № 4 и 2 (см. рис. 2).

Анализ данных, полученных с помощью НА МРТ, показал: во-первых, что характер изменения текущих температур и их характерные значения для КНА-Ф № 1 и № 2 идентичны и существенно не различаются, что обусловлено местом расположения этих КНА на внешней поверхности КА; во-вторых, в целом можно выделить три характерных участка, а именно: 1) участок от момента старта до конца 2...3-го витков; 2) участок орбитального полёта, начиная с 3...4-го витка до начала 694-го (спускового) витка; 3) участок спуска с орбиты и до посадки спускаемого аппарата [11].

На первом участке, начиная с момента старта ракеты-носителя и до отделения первой ступени, температуры поднялись на 2...4°C от начальных, но затем к концу первого витка снизились практически до нулевых значений. Снижение температур (примерно до -10°C) наблюдается до конца второго витка, а затем с 3...4-го витка для

них устанавливается режим колебаний, близкий к гармоническим колебаниям с орбитальным периодом обращения КА вокруг Земли. Аналогичные значения температур и характер их изменения зарегистрированы и на предпусковых витках полёта КА.

На третьем участке, то есть в течение спуска с орбиты, когда все КНА герметично закрываются крышками, наблюдается высокий градиент роста температур во всех КНА, но только до значений порядка +20°C. При этом только для одного датчика в КНА-Ф № 4 было зарегистрировано максимальное значение, равное +28°C.

На орбитальном участке полёта КА «ФОТОН-М» № 4, начиная с 4-го и до 694-го витка, как было отмечено выше, имеют место квазигармонические внутривитковые колебания температур с почти одинаковыми амплитудами для всех датчиков. Но с течением времени средние значения температур возрастали и достигли положительных почти постоянных значений на интервале между 200-м и 350-м витками, что было обусловлено изменением положения плоскости орбиты КА относительно Солнца за счет ее прецессии. При этом в диапазоне витков от 220 до 340 орбита КА «ФОТОН-М» № 4 в течение всех указанных витков не находилась в тени Земли. На рис. 3 показаны диапазоны внутривитковых колебаний температур в зависимости от номера витка в КНА-Ф № 4. Аналогичная картина наблюдается и для КНА-Ф № 1 и 2, а именно: на 220...340 витках – максимумы $\approx +5...6^\circ\text{C}$; минимумы $\approx +1...2^\circ\text{C}$, и, соответственно, в начале и конце полёта – максимумы $\approx -12^\circ\text{C}$; минимумы $\approx -20^\circ\text{C}$.

Анализ полученных данных о текущих температурах в локальных зонах КНА при полёте КА «ФОТОН-М» № 4 показал, что существенными факторами, которые определяют тепловой режим в указанных контейнерах, являются их положение на внешней поверхности КА, панели солнечных батарей которого в течение полёта ориентированы на Солнце, и светотеневая обстановка на витках или, что то же самое, текущее отклонение нормали к плоскости орбиты КА от направления на Солнце. При этом временные ряды данных о текущих значениях температур носят ярко выраженный колебательный характер с орбитальным периодом движения КА и с высоким уровнем корреляции между ними, а также явная зависимость средневитковых значений температур от текущего положения плоскости орбиты КА относительно Солнца.

Результаты эксперимента с НА МРТ представляют практический интерес для разработки аналогичной НА и для КА «Бион-М» № 2 для обеспечения контроля текущего теплового состояния аппаратуры с биообъектами, размещаемой в КНА.

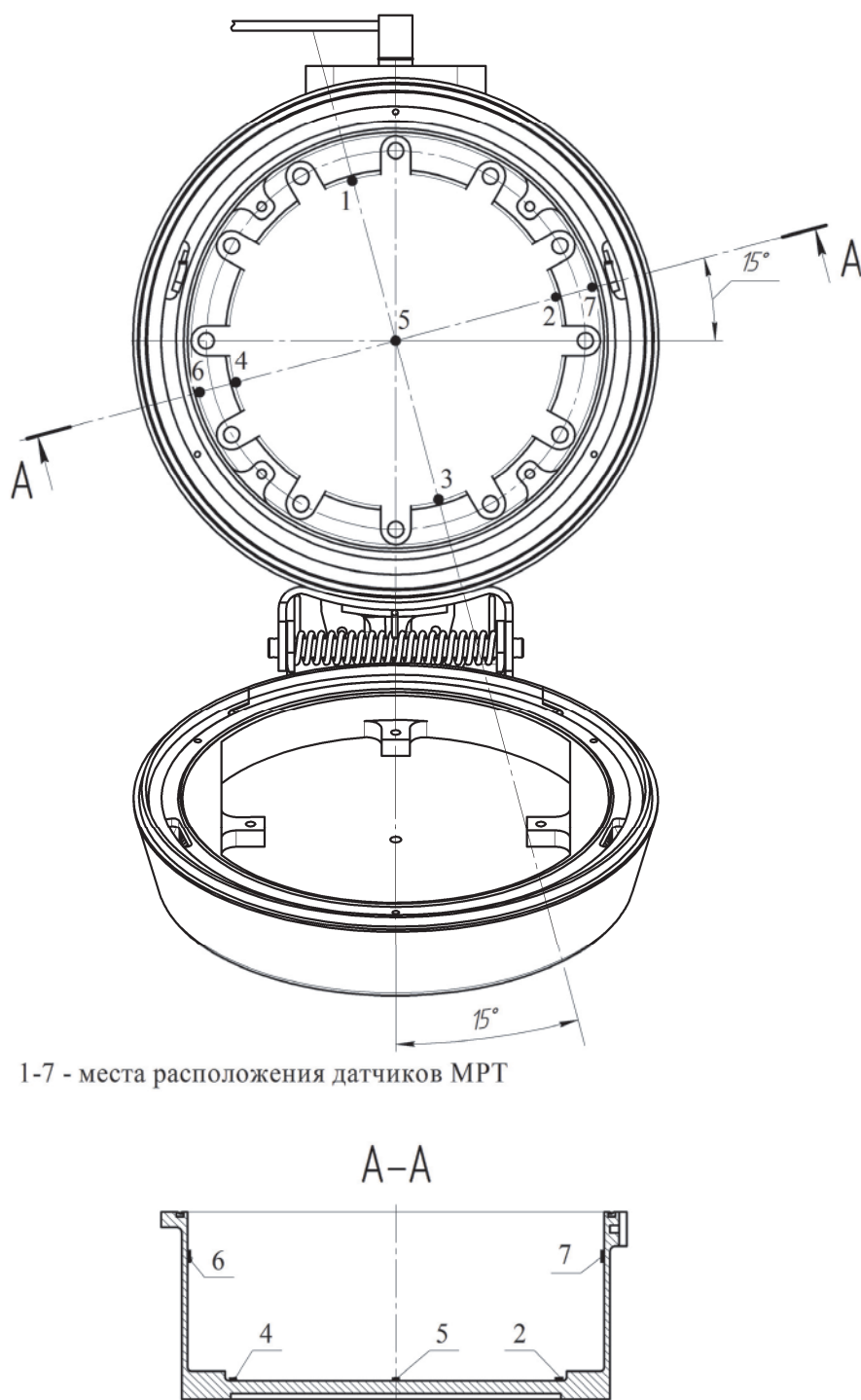


Рис. 2. Схема размещения датчиков НА МРТ в КНА

КОСМИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ПРОВЕДЕННЫЕ НА КА «ФОТОН-М» № 4 С ПОМОЩЬЮ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ СИГМА

В состав НА СИГМА, которая была разработана для проведения ряда медико-биологических КЭ [4], входили три геометрически идентичных и автономных модуля СИГМА-01, СИГМА-02 и СИГМА-03, каждый из которых, в свою очередь, состоит из трех последовательно устанавливаемых друг на друга секций. В состав модуля

СИГМА-01 входят секции С-1/1, С-1/2 и С-1/3, в которых размещаются автономные источники питания (батареи) (АИП), элементы системы терморегулирования и блоки регистрации и хранения данных. Контейнеры (5 мл пробирки) с исследуемыми биообъектами (клеточные культуры в ростовой среде) попарно размещаются в универсальных блоках регистрации (УБР), которые имеют автономные подсистемы измерения и регистрации параметров биообъектов. Вместе с объединительной платой УБР-1,2,...,6 размещаются в секции С-1/3 (верхняя секция), а АИП – в

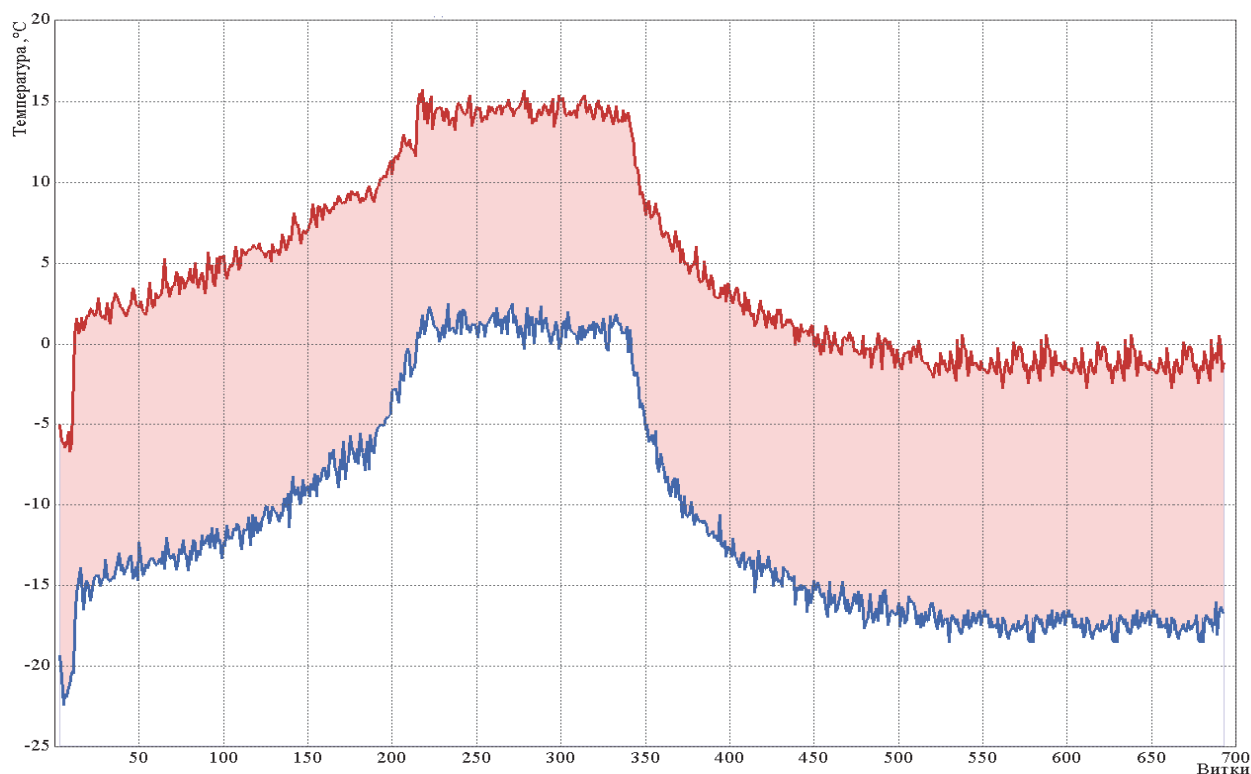


Рис. 3. Диапазоны внутривитковых колебаний температур в КНА-Ф № 4

секциях С-1/1 (нижняя секция) и С-1/2 (средняя секция), обеспечивающие гарантированное автономное функционирование УБР с момента их включения (и снаряжения) в течение не менее 65 суток. Масса снаряженного модуля – 12,4 кг. На рис. 4 и 5 показан внешний вид модуля СИГМА-01, извлеченного из транспортировочного контейнера (после доставки с места посадки),

перед его демонтажом и в процессе последующего демонтажа.

Модуль СИГМА-02 включает секции С-2/1, С-2/2 и С-2/3, из которых секции С-2/2 и С-2/3 идентичны секциям С-1/2 и С-1/3 модуля СИГМА-01. Ресурс АИП секции С-2/2 обеспечивает автономное функционирование УБР-7,8,...,12 в течение не менее 35 суток, а после 35-х суток



Рис. 4. Послеполётная проверка модуля СИГМА-01 перед его демонтажом (на фото авторы статьи)

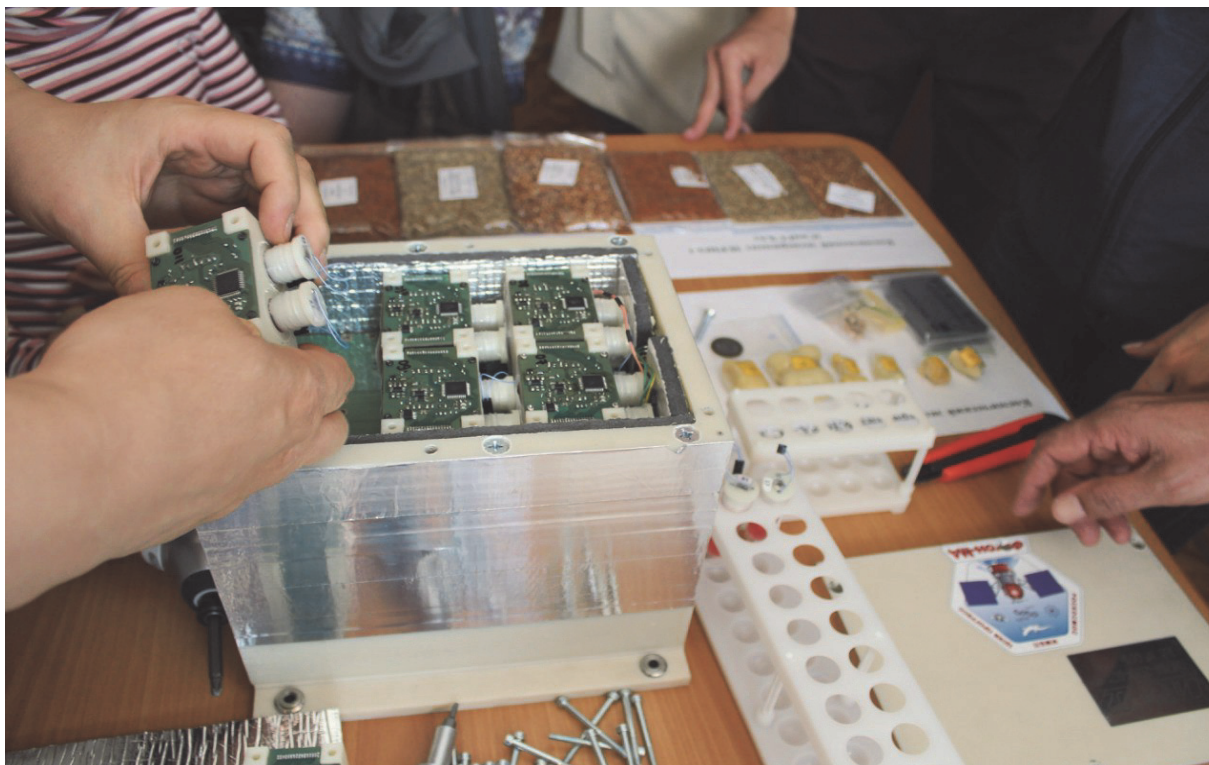


Рис. 5. Послеполётный демонтаж модуля СИГМА-01 НА СИГМА

подсистема терморегулирования УБР отключается, если АИП полностью выработали ресурс. В секции С-2/1 модуля СИГМА-02 размещаются контейнеры с различными биообъектами (образцы семян и почв в грипперах, а также герметично закрытые пробирки с биообъектами и т.п.). Масса снаряженного модуля – 11,5 кг.

Основные технические характеристики УБР: 1) температура контейнеров с биообъектами – $37 \pm 0,2$ °С; 2) измеряемые параметры: импеданс (модуль – от 1 кОм до 1 МОм; фазовый угол от -90° до $+90^\circ$; диапазон частот – 0...100кГц; число каналов – не менее 40; мутность среды – от 5 до 1000 FTU; цветность среды – от 0° ... 120° ; напряжение питания – 3,6 В).

Послеполётный анализ состояния модулей СИГМА-01 и СИГМА-02 показал, что на момент посадки КА они находились в рабочем состоянии, а остаточные ресурсы АИП для СИГМА-02 составляли до 2...3-х суток [5].

В состав модуля СИГМА-03 входят секции С-3/1, С-3/2 и С-3/3, в которых размещаются контейнеры и упаковки с различными биообъектами. Секции С-3/2 (средняя) и С-3/3 (верхняя) являются гипоманнитными камерами. Масса модуля после снаряжения – 10,4 кг.

Проведенные лётные испытания НА СИГМА на борту КА «Фотон-М» № 4 подтвердили как ее работоспособность, так и правильность принятых технических решений при её создании. С НА СИГМА было проведено 12 КЭ, в том числе, с клеточными культурами (2 КЭ), с разными видами микроорганизмов (4 КЭ), с семенами растений (6 КЭ). Эксперименты были разработаны учеными

и специалистами из пяти вузов и научных организаций [10] (см. рис. 6), а именно: Самарского государственного медицинского университета – КЭ КЛЕТКА, КЭ ФЛОРА-М и КЭ ЭНДОФЛОРА; Самарского государственного университета (с 2015 года в составе Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва) – КЭ ФЛОРА-БС, КЭ ПОЧВА; Самарской государственной сельскохозяйственной академии – КЭ ЗЕРНО-1); Самарского НИИ сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова – КЭ ГЕНЕТИКА-1, КЭ ГОРОХ-1, КЭ КАРТОФЕЛЬ и КЭ МИКРОБ-1 и Института медико-биологических проблем РАН – КЭ МИКРОБ-2 и КЭ ЛИМФОЦИТ.

Все космические эксперименты, проведенные с помощью НА СИГМА в течение полёта КА «Фотон-М» № 4, были выполнены в полном объеме, а их результаты, в том числе экспонированные в полёте биообъекты, до настоящего времени изучаются разработчиками КЭ [12-14]. Предварительные результаты проведенных экспериментов во многом определили содержание научной программы для КА «БИОН-М» № 2 в части проведения вузами и научными организациями Самарской области КЭ с клеточными культурами, микроорганизмами и семенами растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье дано краткое описание научной аппаратуры КАРБОН, МРТ и СИГМА, с помощью которой на КА «Бион-М» № 1 и «Фотон-М» № 4 было проведено более полутора десятков техно-



Рис. 6. Участники космических экспериментов, проведенных с помощью НА СИГМА на КА «Фотон-М» № 4 (2 сентября 2014 г.)

логических и медико-биологических космических экспериментов, разработанных учеными и специалистами вузов и научных организаций Самарской области. Изложены основные результаты технологических экспериментов, а именно: КЭ КАРБОН по исследованию воздействия факторов открытого космического пространства на карбидокремниевые структуры на КА «Бион-М» № 1 в 2013 году и КЭ МРТ (многоканальная регистрация температур) по мониторингу теплового состояния локальных зон конструкции контейнеров с аппаратурой на внешней поверхности КА «Фотон-М» № 4. Приведены краткое описание НА СИГМА и перечень экспериментов, проведенных с этой научной аппаратурой. Результаты перечисленных в данной статье КЭ позволили постановщикам этих экспериментов сформировать предложения в научную программу «Бион-М» № 2 (запуск планируется в 2021 году), которые после проведения необходимых экспертиз Межведомственной комиссией по отбору экспериментов и исследований в проект «Бион-М» № 2 (комиссия Роскосмоса и Совета РАН по космосу) были включены в указанную программу. В соответствии с решением Совета РАН по космосу №10310-17 от 03.12.2014 г. был сформирован «Комплекс научной аппаратуры для проведения медико-биологических и технологических экспериментов на борту КА «Бион-М» № 2», в том числе НА КАРБОН-2, НА МРТ-2 и НА СИГМА-2 (см. Приложение). К настоящему времени по указанной НА в Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королёва были проведены работы по этапу эскизного проектирования, результаты которого в октябре 2016 г. были приняты как АО «РКЦ «Прогресс», так и ГК «Роскосмос».

Статья подготовлена по материалам XV конференции по космической биологии и авиакосмической медицине с международным участием «Проект БИОН-М № 1: результаты и перспективы экспериментов и исследований» (Москва, 18-20 ноября 2014г.).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Космические эксперименты Самарских вузов и научных организаций РАН, включаемых в научную программу КА «БИОН-М» № 2

В соответствии с решением Совета РАН по космосу в перечень НА для проведения космических экспериментов на КА «Бион-М» № 2 была включена следующая НА (разработчик НА - Самарский университет, НИИ-310):

1) **КАРБОН-2** для проведения космического эксперимента с целью исследования влияния факторов открытого космического пространства на электрофизические и оптические свойства и характеристики опытных образцов тонкопленочных приборных структур (КЭ разрабатывается в развитие КЭ КАРБОН);

2) **МРТ-2** (многоканальный регистратор температур) для проведения КЭ с целью регистрации теплового состояния научной аппаратуры, расположенной на внешней поверхности КА (НА разрабатывается в развитие КЭ МРТ);

3) **СИГМА-2** для проведения комплекса медико-биологических экспериментов по следующим направлениям:

- с культурами клеток *in vitro*;

- микробиологические исследования;
- исследования влияния факторов космического полета (ФКП) на семена и клеточную ткань растений.

Научная аппаратура СИГМА-2 – многомодульная НА, предназначенная для проведения космических экспериментов Самарского государственного медицинского университета (СамГМУ), Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва (Самарский университет) и Самарского НИИ сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова (СамНИИСХ), а именно, следующих КЭ:

- «**МУЛЬТИИНКУБАТОР**» с целью исследования влияния ФКП на морфо-функциональное состояние, пролиферативный и дифференцировочный потенциал гемопоэтических стволовых клеток (Постановщик КЭ – СамГМУ с участием ОМЦ «Династия»); **объекты исследования** – комбинированные культуры клеток, составляющие нормальное окружение гемопоэтических клеток костного мозга: комбинации гемопоэтических (флотирующих) и мультипотентных мезенхимально стромальных (адгезивных) клеток;

- «**ЭНДОФЛОРА-2**» с целью изучения эффектов воздействия ФКП на биопротипы энтеробактерий и стафилококков – типичных представителей эндогенной микрофлоры человека, в т.ч. в условиях совместного культивирования (Постановщик КЭ – СамГМУ с участием Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН); **объекты исследования** – тест-культуры микроорганизмов, типичных представителей эндогенной микрофлоры человека (всего 9 культур).

- «**ФИТО-2**» с целью оценки влияния совокупности ФКП на анатомо-морфо-функциональные параметры и на химический состав лекарственных растений в онтогенезе (на примере календулы лекарственной и эхинацеи пурпурной) (Постановщик КЭ – СамГМУ); **объекты исследования** – семена календулы лекарственной и эхинацеи пурпурной.

- «**РОДИОЛА**» с целью изучения влияния ФКП на характер и динамику накопления различными штаммами клеточной биомассы корневища родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) веществ вторичного синтеза, представляющих интерес для фармацевтической промышленности, а также для получения в клетках положительных генетически закрепленных мутаций и разработки новых, эффективных, генетически стабильных штаммов и их дальнейшего использования при создании современных лекарственных препаратов и пищевых биологических добавок для человека и животных (Постановщики КЭ – СамГМУ и СамНИИСХ); **объекты исследования** – штаммы клеточной биомассы корневища родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.).

- «**ФЛОРА-БС2**» с целью оценки влияния ком-

плекса различных комбинаций ФКП на всхожесть семян, послеполетное развитие всходов и дальнейшее прохождение фаз онтогенеза – первого поколения редких растений природной флоры, выращенных из экспонированных на «Бийон-М» №1 и «Фотон-М» № 4 семян, для выявления эффекта повторного воздействия ФКП в ряду поколений (Постановщик КЭ – Ботанический сад Самарского университета); **объекты исследования** – семена растений (более 30 видов).

- «**ГЕНЕТИКА-2**» с целью изучения влияния ФКП на физиологию, биохимию и генетику растительных клеток и тканей зерновых, зернобобовых и технических культур для последующего создания высокопродуктивных генотипов и сортов, устойчивых к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды для использования в агропромышленном комплексе Российской Федерации (Постановщик КЭ – СамНИИСХ); **объекты исследования** – клеточные культуры (калус) различных генотипов продовольственно-значимых сельскохозяйственных культур: озимой мягкой пшеницы, озимой ржи, озимого тритикале, озимого ячменя, яровой мягкой пшеницы, яровой твердой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы, сои, гороха, картофеля.

- «**БИОМИКРОБ**» с целью изучения влияния ФКП на генетику, физиологию и морфологию грибов почвенной ризосферы *Trichoderma viride* и *Trichoderma harzianum* и последующего создания на их основе высокопродуктивных биологических препаратов нового поколения для использования в агропромышленном комплексе Российской Федерации (Постановщик КЭ – СамНИИСХ); **объекты исследования** – активированная культура штаммов грибов *Trichoderma viride* и *Trichoderma harzianum*.

Кроме того, с помощью НА СИГМА-2 также планируется провести еще один КЭ – «**ТРАНСКРИПТОМ-МСК**» (Постановщик КЭ – ГНЦ РФ – ИМБП РАН).

К настоящему времени в соответствии с требованием Государственного заказчика – Роскосмос кооперацией соисполнителей научной программы КА «БИОН-М» № 2 подготовлены, прошли экспертизу и представлены к защите материалы дополнения к эскизному проекту на космический комплекс «БИОН-М», в том числе материалы эскизного проекта по научной аппаратуре СИГМА-2 (в подготовке которых принимали участие и постановщики КЭ от СамГМУ, ОМЦ «Династия», СамНИИСХ, ИМБП РАН)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирилин А.Н., Анишаков Г.П., Ахметов Р.Н., Сторож А.Д. Космическое аппаратостроение: Научно-технические исследования и практические разработки ГНЦ РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» [под ред. д.т.н. А.Н. Кирилина]. Самара: Изд-ский дом «АГНИ», 2011. 280 с.

2. Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Стратилатов Н.Р., Абрашкин В.И., Ёлкин К.С. Космические аппараты «Бион» и «Бион-М»: вчера, сегодня, завтра / В кн. Космический научный проект «Бион-М1»: медико-биологические эксперименты и исследования [под ред. А.И. Григорьева]. М.: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2016. С.9-16.
3. Сычев В.Н., Ильин Е.А., Ярманова Е.Н. и др. Проект «Бион-М1»: общая характеристика проекта / В кн. Космический научный проект «Бион-М1»: медико-биологические эксперименты и исследования [под ред. А.И. Григорьева]. М.: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2016. С. 58-69.
4. Курганская Л.В. Научная аппаратура для проведения космических экспериментов на борту КА «Бион-М» № 1 и «Фотон-М» № 4 // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского государственного университета. 2014. № 1. С. 67-75.
5. Абрашкин В.И., Горелов Ю.Н., Курганская Л.В., Щербак А.В. Эксперимент «КАРБОН» на космическом аппарате «БИОН-М» № 1 // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т.15. № 6. С. 210-217.
6. Абрашкин В.И., Горелов Ю.Н., Курганская Л.В. и др. О предварительных результатах космического эксперимента с семенами высших растений на КА «Бион-М» №1 // Вестник СамГУ. 2013. № 9/1 (110). С. 140-150.
7. Волова Л.Т., Курганская Л.В., Россинская В.В. и др. Изучение влияния условий космического полета на клеточную популяцию хондробластов человека *in vitro* // Технологии живых систем. 2013. Т. 10. № 8. С. 54-58.
8. Абрашкин В.И., Курганская Л.В., Щербак А.В. Автоматная система мониторинга теплового состояния научной аппаратуры на космическом аппарате // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 6. С. 240-243.
9. Курганская Л.В., Щербак А.В. Бортовая система регистрации теплового состояния научной аппаратуры на внешней поверхности космического аппарата // Известия ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение. 2013. Вып. 3. С. 5-9.
10. Горелов Ю.Н., Курганская Л.В. Научная аппаратура МРТ и СИГМА для проведения экспериментов на борту КА «Фотон-М» № 4 // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2014, т.21, в.4. С.346-348.
11. Курганская Л.В. Космический эксперимент с научной аппаратурой «МРТ» на борту КА «Фотон-М» № 4 // Вестник СамГУ. 2014. № 10 (121). С. 140-152.
12. Волова Л.Т., Болтовская В.В., Россинская В.В. и др. Процессы жизнедеятельности клеток соединительных и опорных тканей человека *in vitro* // В кн. Космический научный проект «Бион-М1»: медико-биологические эксперименты и исследования [под ред. А.И. Григорьева]. М.: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2016. С. 458-467.
13. Горелов Ю.Н., Кавеленова Л.М., Курганская Л.В. и др. Результаты космического эксперимента с семенами редких растений природной флоры // В кн. Космический научный проект «Бион-М1»: медико-биологические эксперименты и исследования [под ред. А.И. Григорьева]. М.: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2016. С. 486-493.
14. Милёхин А.В., Мальчиков П.Н., Катюк А.И. Первичные результаты космического эксперимента с семенами хозяйственно-полезных сельскохозяйственных культур на космическом аппарате ФОТОН-М № 4 // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т.17. № 4(3). С.596-601.

SCIENTIFIC EQUIPMENT CARBON, MRT AND SIGMA TO CONDUCT SPACE EXPERIMENTS ABOARD THE SPACECRAFT «BION-M» № 1 AND «FOTON-M» № 4

© 2016 Yu.N. Gorelov, L.V. Kurganskaya, A.V. Shcherbak

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

This is a brief description of the scientific equipment CARBON, MRT and SIGMA, which was mounted on the spacecraft «Bion-M» № 1 and «Foton-M» № 4, and space experiments that were performed using this instrument. Describes the main results of the experiment, the CARBON on the study of the influence of space factors on a silicon carbide structure (on the spacecraft «Bion-M» № 1) and experiment MRI (multi-channel temperature logger) for monitoring the thermal state of local zones of construction of containers with equipment on the outer surface of the spacecraft «Foton-M» № 4. The list and purpose of the experiments conducted with scientific equipment SIGMA, as well as a list of space experiments involved in research program «Bion-M» № 2.

Keywords: scientific equipment, space experiment, spacecraft, experimental data.

Yury Gorelov, Doctor of Technics, Director of Institute for Modeling and Control Sciences. E-mail: yungor07@mail.ru
Lubov Kurganskaya, Candidate of Physics and Mathematics, Leading Research Fellow of Institute for Modeling and Control Sciences. E-mail: limbo83@mail.ru
Andrey Shcherbak, Candidate of Physics and Mathematics, Senior Research Fellow of Institute for Modeling and Control Sciences. E-mail: anshch@yandex.ru