

Номер четвертый в автономном полете

И. Афанасьев.
«Новости космонавтики»



18 июля в 23:50:00.094 ДМВ (20:50:00 UTC) с пусковой установки №6 стартового комплекса 17П32-6 площадки 31 космодрома Байконур был осуществлен пуск РН «Союз-2.1А» (14А14.1А №Т15000-020) с научным спутником «Фотон-М» №4 (34КСМ №Е15000-1).

Старт и полет носителя прошли штатно, на 527-й секунде от контакта подъема КА был доставлен на опорную орбиту с параметрами, близкими к расчетным:

- наклонение – 64.88°;
- высота в перигее – 260.2 км;
- высота в апогее – 573.1 км;
- период обращения – 92.61 мин.

В каталоге Стратегического командования США спутник получил номер **40095** и международное обозначение **2014-041А**.

Новая биотехнологическая лаборатория

Технологические спутники серии «Фотон», во многих отношениях уникальные для российской космической программы, как и их старшие собратья – биологические КА серии «Бион», изначально строились на базе архитектуры, впервые разработанной в конце 1950-х – начале 1960-х годов для первого советского пилотируемого корабля «Восток» и фоторазведчика «Зенит-2».

Общая черта технологического и биологического КА – возможность непрерывного проведения намеченных экспериментальных работ на всем протяжении полета – от запуска до посадки, причем спутники могут работать как полностью в автоматическом режиме, так и по командам с Земли. Различие в том, что на «Бионах» научная программа строится вокруг биологических исследований в космосе, а «Фотоны» предназначены в первую очередь для экспериментов в области космической технологии и биотехнологии в условиях микрогравитации и космического излучения. Эти КА обеспечивают получение новых знаний в области физики, а также отработку перспективных технологических процессов производства полупроводниковых материалов и биомедицинских препаратов с улучшенными характеристиками.

Работы по созданию КА серии «Фотон» начались в 1983 г. Первый запуск был произведен 16 апреля 1985 г. с космодрома Плесецк. После этого было запущено еще 15 аппаратов, причем 15 полетов были удачными, а один завершился аварией РН (табл.).

На начальном этапе эксплуатации спутников полезная нагрузка компоновалась из научного оборудования отечественных предприятий и организаций. Начиная с КА №5 по отдельным соглашениям с французскими и немецкими фирмами на борт устанавливались иностранные приборы массой 20–30 кг, что составило 4–5% общей полезной нагрузки КА. Впоследствии до 60–80% объема полезной нагрузки занимали коммерческие установки.

Международные научные работы велись в рамках долгосрочных соглашений с CNES и ЕКА (по «Фотону») и NASA (по «Биону»). В исследованиях участвовали ученые и разработчики научной аппаратуры из России, Бельгии, Швеции, Испании, Италии, Англии,

Германии, Канады, Китая, Нидерландов, США, Франции, Чехословакии и других стран.

На спутниках типа «Фотон» были успешно выполнены научные эксперименты по следующим направлениям:

- ◆ отработка космических технологий получения полупроводниковых материалов методами объемной и направленной кристаллизации, бестигельной зонной плавки, в том числе с использованием магнитного поля;
- ◆ выращивание кристаллов различных веществ;
- ◆ получение биологически активных веществ;

◆ изучение проблем физики невесомости;

◆ проведение экспериментов по клеточной биологии;

◆ изучение влияния открытого космоса на биообъекты.

Следует отметить, что все запущенные до 2007 г. аппараты, несмотря на введенную на рубеже веков модернизацию, улучшившую их тактико-технические характеристики и отраженную

в названии («Фотон» и «Фотон-М»), сохраняли общую конструктивную схему и имели одинаковое обозначение 34КС и единую заводскую нумерацию. Аппарат с заводским номером 15, запущенный 14 сентября 2007 г., стал последним в истории спутником с конструктивной схемой гагаринского «Востока».

«Фотон-М» №4 является аппаратом нового типа 34КСМ и построен по конструктивной схеме топографического спутника «Янтарь-1КФТ» («Комета»). Сохранив в своем составе шарообразный спускаемый аппарат, он получил приборно-агрегатный отсек от

Запуски КА серии «Фотон» и «Фотон-М»

Название	Межд. обозначение	Дата запуска	Время работы (сут.)	Космодром	Результат миссии
«Космос-1645»	1985-029А	16 апреля 1985 г.	13	Плесецк	Выполнена
«Космос-1744»	1986-036А	21 мая 1986 г.	14	Плесецк	Выполнена
«Космос-1841»	1987-037А	24 апреля 1987 г.	14	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №4	1988-031А	14 апреля 1988 г.	14	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №5	1989-032А	26 апреля 1989 г.	15	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №6	1990-032А	11 апреля 1990 г.	16	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №7	1991-070А	4 октября 1991 г.	16	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №8	1992-065А	8 октября 1992 г.	16	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №9	1994-033А	14 июня 1994 г.	18	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №10	1995-006А	16 февраля 1995 г.	15	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №11	1997-060А	9 октября 1997 г.	14	Плесецк	Выполнена
«Фотон» №12	1999-048А	9 сентября 1999 г.	15	Плесецк	Выполнена
«Фотон-М» №1	—	15 октября 2002 г.	—	Плесецк	Авария РН
«Фотон-М» №2	2005-020А	31 мая 2005 г.	16	Байконур	Выполнена
«Фотон-М» №3	2007-040А	14 сентября 2007 г.	12	Байконур	Выполнена
«Фотон-М» №4	2014-041А	18 июля 2014 г.	В полете	Байконур	

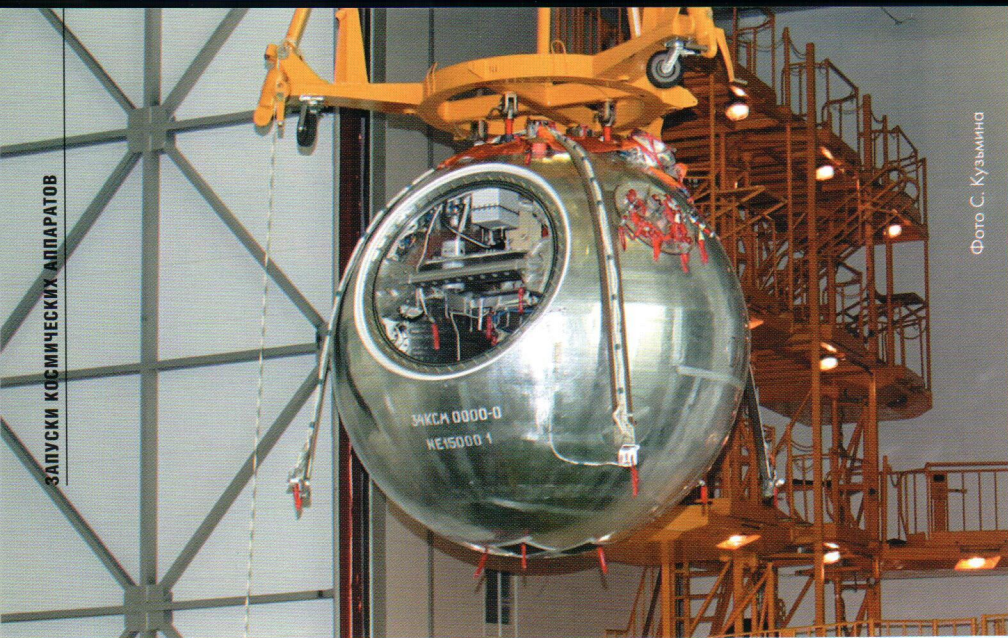


Фото С. Кузмина

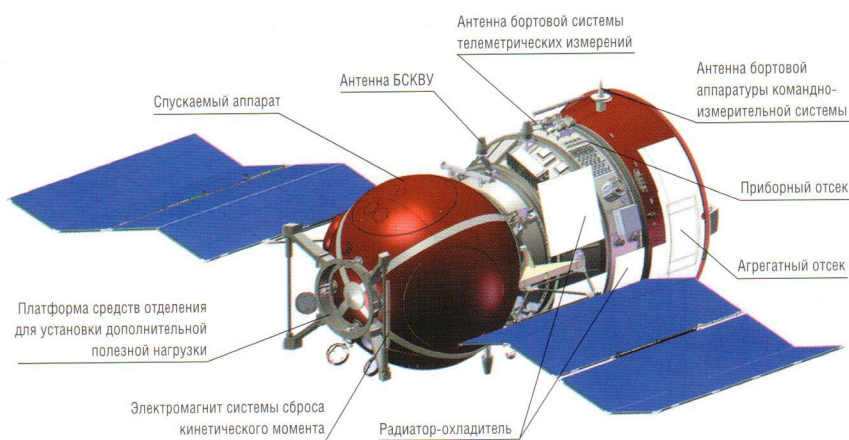
научной и обеспечивающей аппаратуры на заводе-изготовителе, космодроме и на месте посадки. Основные системы размещаются внутри СА на приборных рамах и корпусе, однако часть научных приборов может монтироваться как на внешней платформе средств отделения, так и непосредственно на корпусе спутника (в том числе на внешней оболочке СА).

Герметичный ПО в виде усеченного конуса расположен под СА и служит для размещения аппаратуры и приборов служебных систем спутника. Система электропитания (СЭП) представлена двумя четырехсекционными панелями СБ, установленными снаружи ПО, и буферными аккумуляторами. Среднесуточное энергообеспечение КА составляет 1400 Вт, в том числе обеспечивающей аппаратуры – до 500 Вт и научной аппаратуры – до 900 Вт.

Нижняя юбка служебного модуля КА образует негерметичный АО, разработанный на базе аналогичного отсека спутника «Янтарь-1КФТ» с учетом модификации конструкции радиатора-охладителя и термопанелей и изменения компоновки приборов и агрегатов.

В АО размещена жидкостная объединенная двигательная установка, которая состоит из основного корректирующе-тормозного двигателя, четырех блоков микродвигателей ориентации, топливных баков, шар-баллонов с гелием и азотом, гидро- и пневмомагистралей, агрегатов пневмо- и электроавтоматики. Компонентами топлива являются окислитель – азотный тетроксид и горючее – несимметричный диметилгидразин. Они подаются в двигатели путем вытеснения сжатым газом. Основной двигатель – многократного (до 50 раз) включения.

Рисунок «ЦСКБ-Прогресс»



возвращаемых спутников следующего поколения. Непосредственным прототипом нового технологического КА является биоспутник «Бион-М» № 1, запущенный 19 апреля 2013 г. (НК № 6, 2013, с. 28–34).

Создание модернизированного КА «Фотон-М» № 4 для продолжения исследований в области отработки технологий производства в космосе новых материалов и высокочистых веществ было предусмотрено Федеральной космической программой России на 2006–2015 годы. Заказчиками нового «Фотона» выступили Совет РАН по космосу и Федеральное космическое агентство, главным разработчиком и изготовителем – ОАО ГРЦ «Прогресс» (бывшее ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»).

По техническим характеристикам этот спутник значительно превосходит предыдущие аппараты. В частности, за счет оснащения КА солнечными батареями удалось увеличить продолжительность полета вчетверо, а среднесуточное энергопотребление научной аппаратуры – вдвое. Прошла доработку система терморегулирования – был введен жидкостный контур для отвода тепла от научной аппаратуры, снаружи спутника на верхнем конусе приборного отсека установлен дополнительный радиатор. Кроме того, за счет существенных доработок бортового комплекса управления значительно расширены сервисные возможности КА, связанные с управлением и контролем бортовой и научной аппаратуры.

Принципиальное отличие нового КА – объединенная двигательная установка мно-

гократного включения, впервые давшая возможность изменять параметры его орбиты после отделения от носителя. Если раньше спутник оснащался только тормозной двигательной установкой и мог работать лишь на той орбите, на которую был выведен (высотой примерно 225×390 км), то теперь он может ее корректировать (например, повышать до круговой). Проведение предпосадочной коррекции позволяет обеспечить более точное приземление спускаемого аппарата и существенно сократить время на доставку результатов экспериментов заказчикам.

Конструкция КА «Фотон-М» № 4 включает герметичный спускаемый аппарат (СА) и приборный отсек (ПО), негерметичный агрегатный отсек (АО), а также переднюю платформу средств отделения и солнечные батареи (СБ). В отличие от «Биона-М», «Фотон-М» не имеет специальной системы жизнеобеспечения: деятельность биологических объектов на борту поддерживается за счет естественных запасов воздуха.

Сферический СА диаметром 2,2 м выполнен из алюминиевого сплава. На наружную поверхность сферы нанесено теплозащитное покрытие (ТЗП) для защиты от аэродинамического нагрева при спуске с орбиты. Для возвращения результатов экспериментов служит система парашютно-реактивной мягкой посадки, обеспечивающая вертикальную скорость касания грунта при приземлении не более 3 м/с. В корпусе СА имеются люки, предназначенные для монтажа и обслуживания



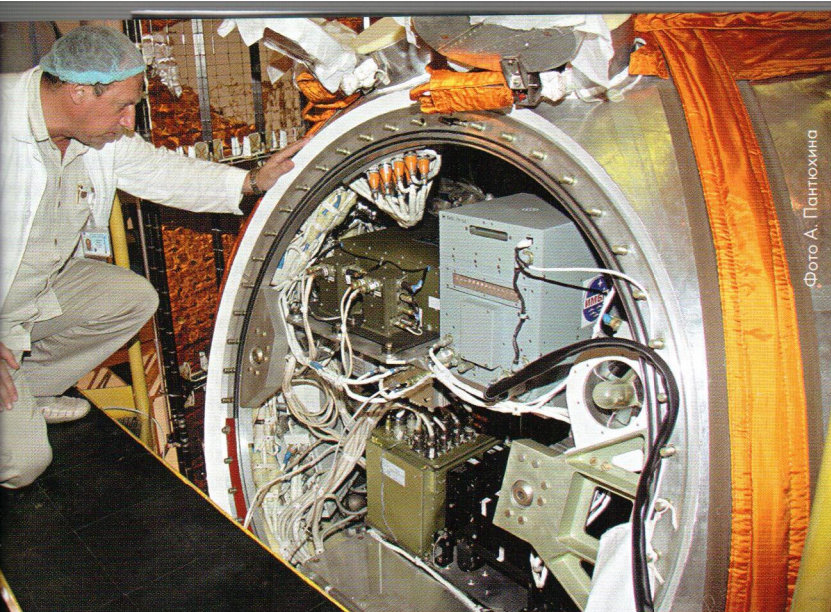


Фото А. Пантюхина

Снаружи служебного модуля установлены радиаторы (включая дополнительные) системы терморегулирования и антенны координно-измерительной и радиотелеметрической систем. Весь спутник закрыт матами вакуумно-вакуумной теплоизоляции.

Программа полета «Фотона-М» №4 предусматривала ориентацию после отделения от последней ступени РН в орбитальной системе координат и перевод спутника на рабочую околокруговую орбиту высотой до 575 км путем включения двигательной установки в апогее опорной орбиты. Вем перигея орбиты обеспечивает снижение уровня микроускорений, вызванных возмущающими воздействиями верхней атмосферы, а также резкое увеличение срока истического существования объекта. На орбиты орбиты система управления движением выключается – и аппарат совершает ориентированный полет в течение двух

месяцев, выполняя программу научных экспериментов. После ее окончания производится ориентация спутника, сход с орбиты, спуск и мягкая посадка СА в заданном районе на территории России.

Масса спутника 34КСМ может достигать 6840 кг. При этом масса научной аппаратуры, устанавливаемой внутри СА, не превышает 650 кг, а дополнительной полезной нагрузки (или научной аппаратуры), устанавливаемой снаружи СА, – не более 250 кг. Штатная работа спутника на целевой орбите обеспечивает уровень микроускорений в зоне размещения технологической аппаратуры от 10^{-5} до 10^{-6} g. Срок активного существования спутника – 60 суток.

У «Фотона-М» №4 стартовая масса – 6120 кг, масса возвращаемой научной аппаратуры в СА – 421 кг, заправка баков двигательной установки – 900 кг.

Эксперименты

Программой полета «Фотона-М» №4 предусмотрены многочисленные эксперименты с использованием 22 комплектов научной аппаратуры, установленной на борту. Среди разработчиков экспериментов и приборов – ведущие научно-исследовательские организации России: Институт медико-биологических проблем (ГНЦ РФ ИМБП РАН), ЦНИИ машиностроения (ФГУП ЦНИИмаш), НИИ стартовых комплексов (филиал ФГУП ЦЭНКИ – НИИСК), Самарский государственный аэрокосмический университет имени С. П. Королёва (СГАУ), Институт проблем управления сложными системами (ИПУСС) РАН и другие.

Эксперимент «Геккон-Ф4» (головные исполнители – Научно-исследовательский институт морфологии человека (ИМЧ) Российской академии медицинских наук (РАМН) и ИМБП РАН поставлен с целью изучить влияние микрогравитации на половое поведение, организм взрослых животных и эмбриональное развитие гекконов *Phelsuma ornata*. Пять представителей этого вида размещены в установке ГК-04. В задачи эксперимента входит создание условий для полового поведения, копуляции и размножения гекконов в орбитальных условиях, видеосъемка поведения животных и возможной откладки яиц, а также обеспечение максимальной вероятности выживания яиц. Планируется также проведение гистологические и иммуногистохими-

ческие исследования, позволяющие выявить возможные структурные и метаболические изменения в организме взрослых животных, а также особенности отложенных яиц и онтогенеза зародышей. В ходе эксперимента предполагаются микротомографические исследования проксимальных хвостовых позвонков гекконов и оценка возможности использования и разведения *Phelsuma ornata* в многолетних экспериментах.

В эксперименте «Флуотрек» (головной исполнитель – ИМБП, соисполнитель – ЗАО «Специальное КБ экспериментального оборудования» (СКБ ЭО) при ИМБП) изучается динамика изменения состояния внутриклеточных систем при действии факторов космического полета, производится многопараметрический флуоресцентный анализ состояния иммунокомпетентных клеток *in vitro* в условиях микрогравитации. Задачами эксперимента являются:

- ♦ регистрация мембранного потенциала митохондрий на разных этапах космического полета с помощью флуоресцентных зондов;
- ♦ регистрация внутриклеточного pH методом зондовой флуориметрии;



Фото А. Пантюхина

▲ «Метеорит»



Фото Роскосмоса

▲ «Биофрост»

- ♦ анализ влияния температуры на внутриклеточные процессы регуляции функционального состояния клетки *in vitro* при действии факторов космического полета.

Эксперимент «Метеорит» (ИМБП при участии МГУ имени М. В. Ломоносова и Института генетики и селекции промышленных микроорганизмов) нацелен на исследование возможности выживания микроорганизмов на материалах, имитирующих основы метеоритов и астероидов. В ходе эксперимента предстоит изучить влияние преадаптации носителей плазмид в условиях космического полета на сегрегационную стабильность плазмид и их мобилизационную активность,

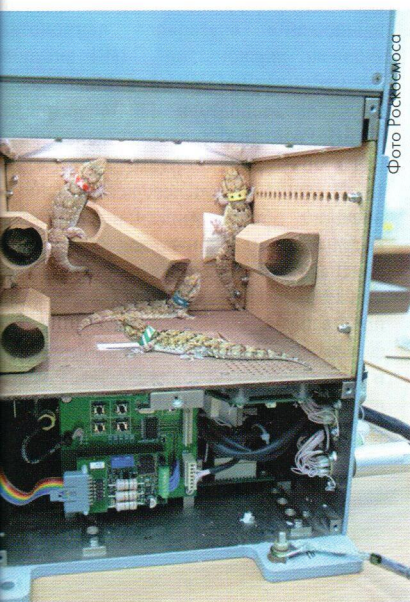


Фото Роскосмоса



Фото А. Пантюхина

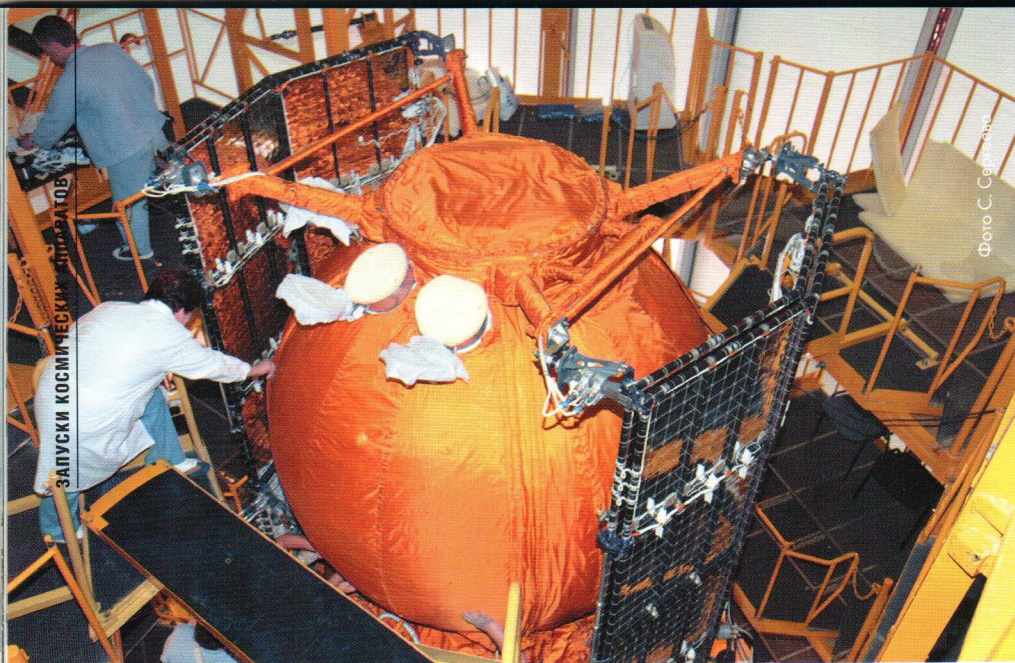


Фото С. Седякина

ревертирующую способность микроорганизмов и возможность использования фуллеренов в качестве носителя тест-культур.

Цель эксперимента **«Биофрост»** (ИМБП) – изучить влияние условий космического полета на микробный комплекс, выделяемый из многолетнемерзлых отложений. Задачи эксперимента:

- ❖ подтвердить ранее полученные результаты о влиянии условий полета на численность жизнеспособных гетеротрофных микроорганизмов;
- ❖ сравнить состав выделяемого микробного комплекса до и после полета;
- ❖ провести модельные эксперименты по изучению влияния ионизирующих излучений низкой интенсивности на микроорганизмы в составе исследуемых образцов;
- ❖ дать комплексную оценку воздействия групп факторов на микрофлору исследуемых образцов;
- ❖ определить чувствительность микроорганизмов к различным факторам (группам факторов) в зависимости от возраста образца мерзлоты;
- ❖ установить вероятные причины наблюдаемых изменений и сравнить полученные данные с результатами модельных экспериментов.

Эксперимент **«Микология»** подготовлен в ИМБП при участии МГУ имени М. В. Ломоносова и Института генетики и селекции промышленных микроорганизмов с целью структурно-функционального исследования роста и развития чистой грибной культуры и грибной споровой массы (*Pleurotus ostreatus*), а также слоевища грибных симбиотических организмов (лишайники *Peltigera aphthosa* и *Hyrogymnia physodes*) в условиях космического полета.

Эксперимент **«Биотрансформация»** разработан ИМБП (головной исполнитель) в кооперации с ОАО «Институт прикладной биохимии и машиностроения» и ООО НПП «БиоТехСис» в целях изучения процесса биodeградации полиэтиленовой пленки микроорганизмами без внесения дополнительных ингредиентов и принудительного удаления продуктов метаболизма в условиях космического полета.

Задачи эксперимента: оценить эффективность микробной декомпозиции биodeградируемого полимера в условиях космического

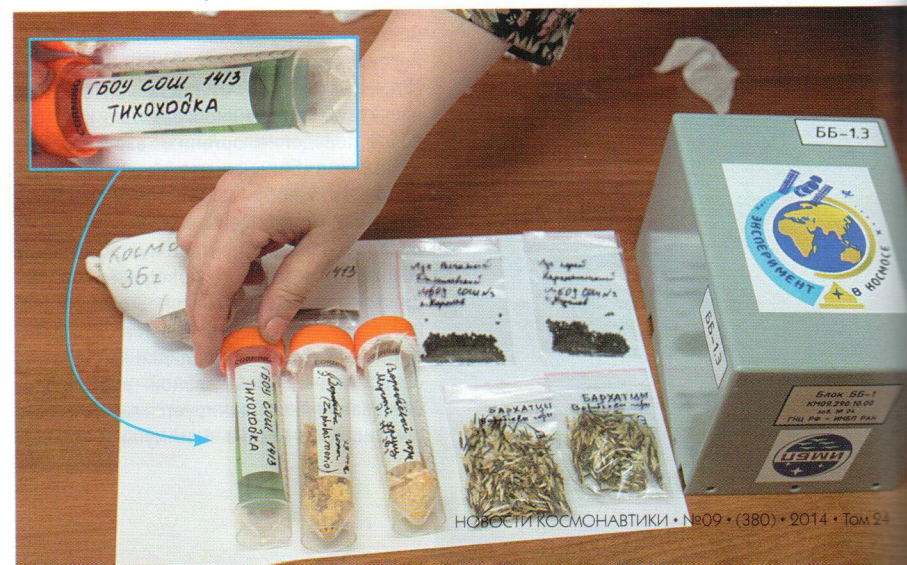
полета; изучить химический состав продуктов биodeградации и возможности микробной доочистки жидких продуктов первичной биотрансформации. Объекты исследования – культуры аэробных бактерий, осуществляющие микробную декомпозицию биodeградируемого полимерного материала, используемого в качестве упаковочного средства.

Эксперимент **«Биоэлектричество»** поставлен ИМБП при участии НПП «БиоТехСис» для изучения процесса получения электричества с помощью микроорганизмов–электрогенов в условиях невесомости. В нем исследуются:

- ❖ процессы формирования биопленок, содержащих микроорганизмы–электрогены на поверхности электродов в условиях невесомости;
- ❖ влияние невесомости на величину электродных потенциалов микробного топливного элемента;
- ❖ вклад седиментационного потенциала (потенциала Дорна) в величину электрического напряжения микробного топливного элемента;
- ❖ энергетические характеристики процесса получения электричества с помощью электрогенов в условиях невесомости.

Электрохимическими объектами исследований являются электроды (аноды и катоды) и катионообменные мембраны, образующие микробный топливный элемент, а биологическими – микробные ассоциации и/или чистые культуры микроорганизмов–электрогенов.

▼ На «Фотоне-М» отправились в космос эксперименты – победители школьного конкурса



В эксперименте **«Биорадиация-Ф»** (подготовлен ИМБП при участии НПО ВНИИФТРИ и ряда других учреждений) изучаются биологически значимые характеристики космического ионизирующего излучения и эффекты его воздействия на биообъекты в условиях открытого пространства и внутри спутника. Объекты исследований: сухие семена, яйца шелкопряда, другие биообъекты, не требующие поддержания жизнедеятельности в условиях космического полета. В ходе эксперимента решаются задачи:

- ❖ проведение полетных радиобиологических экспериментов на «спящих» биообъектах и радиационно-физическое сопровождение этих и других экспериментов на борту;
- ❖ отработка методов и средств измерения спектра линейной передачи энергии космического излучения;
- ❖ подбор средств и методов контроля радиационных условий с учетом вклада в дозу вторичных нейтронов космических излучений;
- ❖ исследование радиационно-защитных свойств перспективных материалов в натуральных условиях;
- ❖ подтверждение методов расчета прохождения космических излучений через вещество защиты космических аппаратов с учетом вклада вторичных нейтронов;
- ❖ верификация модельных описаний радиационных условий в околоземном космическом пространстве.

Научная аппаратура

Из 22 наименований научной аппаратуры, размещенной на «Фотоне-М» №4, 18 установлены внутри СА, два снаружи, а еще два имеют компоненты в СА и на его поверхности. 14 установок подключены к электрической сети КА, остальные являются автономными.

Биомедицинские исследования

Научная аппаратура **ГК-04** разработана ИМБП РАН. Постановщик эксперимента – СКТБ «Биофизприбор». Цель эксперимента – фундаментальные исследования для научного обоснования новых подходов к медицинскому контролю, медицинскому обеспечению, профилактике неблагоприятных изменений в организме в космическом полете, а также получения новых данных по фундаментальным проблемам космической и гравитационной физиологии. Результаты предполагается использовать для профи-

тики изменений у живых организмов и заболеваний, вызванных воздействием неживых факторов дальних космических полетов, а также решения вопросов регенерации и лечения живых организмов в рамках будущих межпланетных полетов.

«Биокультиватор» также разработан ИМП, постановщик эксперимента – НПП «БиоТехСис». Целью являются фундаментальные исследования процесса биодegradации пластиков микроорганизмами.

«Биоконт-ФЗ» разработан ЦНИИмаш, постановщики – ОАО «Биохиммаш» и ИМП. Цель эксперимента – фундаментальные исследования влияния факторов космического полета на жизнедеятельность и продуктивную способность хозяйственно-ценных микроорганизмов, в том числе в отсутствие питательного поля, а также исследование влияния космического полета на развитие эмбрионов рептилий.

Оба эксперимента проводятся с целью создания необходимых условий для дальних межпланетных перелетов, а результаты будут нужны для создания замкнутой самоподдерживающейся среды на борту пилотируемых аппаратов, включающей переработку различных веществ с помощью бактерий.

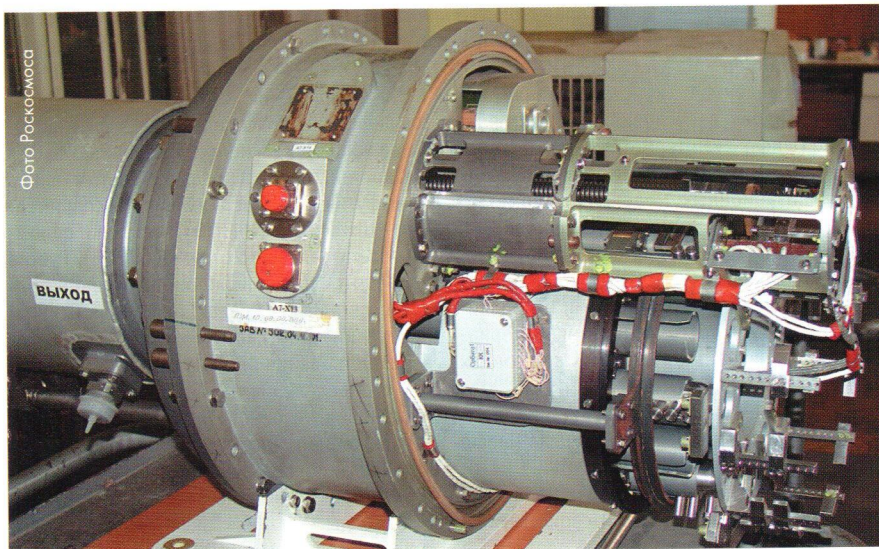
«Биоконт-Б2» – также разработка ЦНИИмаш, постановщики – ИМП и МГУ. На установках будут проведены эксперименты «Грависенсор» и «Фитопротеомика» на двух видах мхов: *Placomitrepapens* и *Ceratodon purpurens*. Первый посвящен исследованию фототропической реакции на освещение проростков мха белым, дальним красным, красным, ближним светом. Во втором будут продолжены исследования роста растений при отсутствии освещения в условиях микрогравитации, когда гравитационные и фоточувствительные рецепторы ростовых клеток не возбуждаются.

Автономная аппаратура «Флюор-П» разработана ИМП, постановщик эксперимента – СКБ ЭО при ИМП. Предназначена для фундаментальных исследований кинетики внутриклеточных параметров клеток человека и животных в условиях микрогравитации. Результаты планируется направить на изучение влияния долгосрочных (в том числе межпланетных) космических перелетов на жизнедеятельность живых организмов с целью профилактики возможных заболеваний, вызванных негативными факторами полета.

Автономная аппаратура МТЭ разработана ИМП. Постановщик эксперимента – НПП «БиоТехСис». Прикладные исследования получения электричества с помощью микроорганизмов-электрогенов и отработка процесса генерации электричества в условиях невесомости, изучение альтернативного источника электричества во время долгосрочных космических перелетов.

Автономная аппаратура СПД создана ИМП для фундаментальных исследований влияния космической радиации на биологические образцы, не требующие поддержания их жизнедеятельности в полете (сухие семена высушенных растений, яйца шелкопряда и др.), для изучения влияния долгосрочных космических перелетов на жизнедеятельность живых организмов с целью профилактики возможных заболеваний, вызванных негативными факторами полета.

Аппаратура ППН-1Д-Ф, 1К-Ф, 2Д-Ф, 2К-Ф, 3Д-Ф и 3К-Ф создана ИМП и размещена



▲ Установка «Полизон-2»

на внешней поверхности СА. Первый из шести ее компонентов предназначен для фундаментальных исследований влияния космического полета на биологические свойства микроорганизмов и на абиогенный синтез пептидов и нуклидов в целях профилактики изменений живых организмов и заболеваний, вызванных воздействием негативных факторов дальних космических полетов, а также решения вопросов лечения живых организмов в рамках будущих межпланетных полетов.

Остальные пять составляющих предназначены для фундаментальных исследований биологически значимых характеристик космического ионизирующего излучения и эффектов его воздействия на биообъекты в условиях открытого пространства, а также исследования и отработки новых методов и средств космической дозиметрии для последующего применения в перспективных космических миссиях. Полученные результаты планируется применить для изучения влияния долгосрочных (межпланетных) космических перелетов на жизнедеятельность живых организмов с целью профилактики возможных заболеваний, вызванных негативными факторами полета.

Дозиметр РДЗ-БЗ разработан ИМП для измерения дозы космического излучения и уточнения уровня внешнего радиационного воздействия.

Автономная аппаратура ББ-1Ф (разработчик – ИМП, постановщики – ПИЯФ имени Б. П. Константинова, Институт биологии развития имени Н. К. Кольцова РАН и др.) предназначена для проведения биологических экспериментов по изучению влияния микрогравитации на живые системы различных уровней эволюционного развития (беспозвоночные, культуры клеток растительной ткани, микроорганизмы и насекомые). На ней будут поставлены эксперименты МДФ (исследование воздействия 60-суточного полета на плодовых мушек *Drosophila melanogaster*) и «Полиген-Ф» (изучение связей между параметрами приспособленности популяций дрозофилы и их генетической структурой, а также определение генетических критериев идентификации живых организмов, обладающих максимальной устойчивостью к условиям космического полета), а также космические эксперименты образовательной программы.

Автономная аппаратура «Метеорит» размещена снаружи на теплозащитном покрытии СА. Она создана ИМП РАН для фундаментальных биологических исследований, а именно – изучения изменений, происходящих в горных породах при падении метеоритов на Землю, а также проверки теории о возникновении жизни на Земле.

Автономная аппаратура «Сигма» (внутри и снаружи КА) подготовлена ИПУСС РАН для биологических и микробиологических экспериментов с регистрацией температуры биообъектов на всех этапах полета.

Исследования в области космического материаловедения

Научная аппаратура ББТС15 изготовлена филиалом ЦЭНКИ – НИИСК и предназначена для фундаментальных исследований в области космического материаловедения. В автоматической электровакуумной электропечи «Полизон-2», оснащенной магазином на 12 капсул с исходным сырьем, планируются эксперименты:

- ◆ исследование влияния условий и параметров микрогравитации на процессы выращивания монокристаллов полупроводников (Ge, GaSb) с высокой однородностью свойств (шифр «Однородность», постановщик эксперимента – НИЦ космического материаловедения Института кристаллографии РАН). Получение в условиях микрогравитации монокристаллов Ge:Ga и GaSb:Te с субмикронной однородностью распределения легирующей примеси для оптимизации существующих земных технологий выращивания монокристаллов для высокоэффективных термофотоэлектрических преобразователей;

- ◆ выращивание в условиях микрогравитации высокосовершенных кристаллов белков методом направленной кристаллизации (шифр «Микроструктура», постановщик – ИК РАН). Получение в условиях космического полета кристаллов биомолекул фосфолипидов (с целью создания лекарств нового поколения для лечения онкологических заболеваний), лакказы (создание нанобиосенсоров), рибосомы – инактивирующих белков (получение лекарств нового поколения – иммунотоксинов).

Результаты двух указанных выше экспериментов в обозримом будущем планирует-

ся внедрить в промышленное производство монокристаллов в условиях космических полетов (например – на КА «ОКА-Т»):

- ❖ направленная кристаллизация интерметаллидов в условиях микрогравитации (шифр «Интерметалл», постановщик – ИХПМЭ). Уточнение существующих кристаллизационных моделей интерметаллических сплавов при их неравновесной направленной кристаллизации из расплава. Результатом должно стать получение новых сплавов с заданными свойствами и моделирование возможности получения материалов в промышленных масштабах в условиях космического полета;

- ❖ влияние пониженной гравитации и вибрации на рост кристаллов фуллерена (шифр «Фуллерит-ИФТТ», постановщик – ИФТТ РАН). Получение в условиях микрогравитации новых материалов с заданными свойствами – кристаллов фуллеренов с низкой плотностью структурных дефектов. Моделирование возможности промышленного получения материалов в условиях космического полета.

Аппаратура «Калибр» – разработка ВНИИ оптико-физических измерений РАН, постановщики экспериментов – ВНИИОФИ и ЦНИИмаш. Служит для фундаментальных исследований по материаловедению – измерения температурных кривых нагрева – охлаждения процессов плавления/кристаллизации эвтектических сплавов Ga-In и Ga-Sn и чистого Ga. Результаты исследований влияния микрогравитации на температурные характеристики фазовых переходов предполагается использовать как реперные точки при калибровке аппаратуры радиометрических измерений для создаваемой в настоящее время Глобальной системы наблюдения Земли (GEOSS).

Аппаратура «Виброкон-ФМ» разработана ЦНИИмаш для фундаментальных исследований по изучению влияния управляемых вибраций на тепломассоперенос в жидкой фазе при моделировании направленной кристаллизации и процессов растворения в

многофазных средах в условиях микрогравитации. С помощью указанной аппаратуры планируются следующие эксперименты:

- ◆ определение значений коэффициентов диффузии и распределения диффундирующей жидкости в системе несмешивающихся жидкостей, граничащих друг с другом (шифр «Диффузия-ФМ», постановщики экспериментов – ЦНИИмаш и Институт механики сплошных сред Уральского отделения РАН). Работа проводится для углубления понимания процессов в жидких средах, используемых при получении промышленных продуктов, и совершенствования ряда технологий;

- ◆ определение микрогравитационной обстановки на основе прямых наблюдений за движением пробных тел (шифр «Динамика-ФМ», постановщики – ЦНИИмаш и Институт прикладной математики РАН имени М. В. Келдыша). Цель эксперимента – получение дополнительных данных для оптимизации математических моделей расчета микрогравитационного воздействия на различные жидкости (возможно применение для решения задач, связанных с учетом влияния микрогравитации).

Аппаратура СВС-ФМ разработана ЦНИИмаш, постановщик эксперимента – Институт структурной макрокинетики РАН. Назначение – фундаментальные исследования процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в условиях невесомости. Запланированы два эксперимента по сверхвысокотемпературному синтезу перспективных пористых композитных материалов с заданной структурой. Цель работы – моделирование возможности получения материалов в промышленных масштабах в условиях космического полета.

«Белка» создана в НИИСК для экспериментов по выращиванию кристаллов белков методом жидкостной диффузии и диффузии из газовой среды. Цель – прикладные исследования по возможности выращивания особо больших кристаллов белков в жидкостной и газовой среде.

«Кристалл» разработан в СКБ ИРЭ РАН и предназначен для получения высококачественных кристаллов белков способом температурного управления процессом кристаллизации. Шесть экспериментов поставлены НИЦ КМ на белке лизоциме – ферменте, разлагающем бактериальные стенки.

Научная аппаратура для различных исследований

Аппаратура ИМ-ФМ: разработчик – ЦНИИмаш, постановщики эксперимента – ИПМ РАН и ЦНИИмаш. Прикладные исследования с целью разработки аппаратуры, необходимой для широкого круга экспериментов на борту КА, в том числе для регистрации микроускорений на МКС.

«Виброзащита». Разработчик – ЦНИИмаш, постановщики экспериментов – Институт проблем механики РАН и ЦНИИмаш. Фундаментальные исследования влияния вибраций на процессы тепломассопереноса. Результаты нужны для изучения процессов, используемых при получении промышленных продуктов, в целях совершенствования ряда технологий.

КСКМ. Разработчик – Самарский государственный аэрокосмический универси-

тет – проводит прикладные исследования, направленные на измерения магнитного поля внутри СА, расчет микроускорений в низкочастотной части спектра от 0 до 0.01 Гц в заданных точках внутри СА, имитацию компенсации микроускорений. Эксперимент призван получить более точные данные измерений различных параметров космического полета с целью уточнения воздействия факторов космического полета на отдельные элементы КА.

Автономная аппаратура МРТ (внутри и снаружи КА). Разработчик – ИПУСС РАН – проводит многоканальную регистрацию значений температур в локальных зонах комплекса научной аппаратуры на всех этапах эксплуатации КА.

Запуск. Проблемы и их преодоление

В июне 2013 г., когда «Фотон-М» еще находился в цехах завода «Прогресс», его запуск намечался на апрель 2014 г. В июле–августе на предприятие прибыла научная аппаратура, в комплекте с которой спутник прошел необходимые испытания. Согласно опубликованному тогда же данным сайта госзакупок, непосредственно на подготовку и запуск КА, на управление им в полете, поиск и эвакуацию спускаемого аппарата было выделено 409.0 млн руб. Стоимость ракеты-носителя для «Фотона-М» №4 была определена в 881.9 млн руб, а сборочно-защитного блока 17С13А8 – в 60.3 млн руб.

Окончательная дата старта была объявлена 29 апреля 2014 г.: агентство «Интерфакс-АВН» сообщило, что старт намечен на 18 июля, а посадка – на 16 сентября. 20 мая аппарат прибыл на космодром и после этого проходил подготовку к пуску в новой чистой камере МИКА площадки 112. Часть научной аппаратуры устанавливалась на борт спутника непосредственно на космодроме – вплоть до 16 июля.

Утром 17 июля «Фотон-М» в составе космической головной части был перевезен на технический комплекс подготовки РН для сборки ракеты космического назначения. Вечером того же дня «Союз-2.1А» со спутником вывезли на стартовый комплекс. Технический руководитель запуска В. А. Капитонов отметил: «В связи с тем, что на борту спутника находятся биологические существа и время их нахождения в аппарате до пуска строго определено, график подготовки носителя по сравнению с другими автоматическими аппаратами очень жесткий. В этот раз мы нарушаем традицию: обычно с 31-й площадки космодрома Байконур вывоз ракеты начинается в 7:30 утра, сегодня – в 7:00 вечера».

Старт состоялся в расчетное время. После отделения КА согласно полетному заданию бортовой комплекс управления произвел включение бортовой вычислительной системы, раскрытие солнечных батарей, включение приборов системы управления движением, подготовку объединенной двигательной установки к работе, перевод КА в солнечную ориентацию и включение средств навигационных измерений. Было подано питание на блоки научной аппаратуры. Все бортовые системы функционировали штатно.

Однако на четвертом витке связь наземного комплекса управления с КА по каналу



Фото С. Сергеева



▲ Фрагмент днища бака окислителя центрального блока РН «Союз-2.1А», обнаруженный в районе падения №368

командной радиолнии была нарушена. Иными словами, «Земля» утратила возможность управления аппаратом. «Телеметрия с «Фотона» приходит, но команды он не воспринимает, — сообщил неназванный источник в Роскосмосе. — Говорить о потере [спутника] рано, еще есть шансы на восстановление связи, но в любом случае выполнение программы запланированных научных экспериментов уже под угрозой».

«Программа биологических экспериментов начала реализовываться сразу, как полетел аппарат, — пояснил пресс-секретарь ИМБП Олег Волошин. — Научная аппаратура... сейчас работает полностью в норме. Мы получаем телеметрию, на Земле начат контрольный эксперимент по принимаемым данным. Та аппаратура, которая работает в автоматическом режиме, в частности в экспериментах с гекконами, выполняет свою программу». Таким образом, нештатная ситуация на борту нарушила планируемый ход миссии, но оставила надежду на нормальное завершение полета.

Следует отметить, что для управления научной аппаратурой КА «Фотон-М» №4 в полете могут быть использованы:

- ◆ разовые команды, подаваемые в сеансах связи с наземного комплекса управления;

- ◆ команды управления, которые закладываются в программы управления и выдаются в заданное время независимо от зон радиовидимости.

Количество команд, необходимых для управления научной аппаратурой (выдаются в виде импульсов напряжения 27 В), определяется при согласовании исходных данных на аппаратуру. Сбор, преобразование, запоминание и передача на наземные приемные средства значений телеметрических параметров научной аппаратуры осуществляет радиотелеметрическая система (РТС) спутника. Она же обеспечивает контроль состояния и работоспособности научной аппаратуры в режимах запоминания информации с последующим воспроизведением ее в сеансах связи (два-три раза в сутки) и в режиме непосредственной передачи информации.

Каналы РТС, предназначенные для сбора телеметрической информации научной аппаратуры, опрашиваются с частотой 100 Гц в режиме непосредственной передачи и 3 Гц — в режиме запоминания. Количество выделенных для конкретного типа научной аппаратуры каналов РТС определяется на стадии согласования исходных данных на аппаратуру.

Итак, начиная с четвертого витка «Фотон-М» вынужденно работал в автономном режиме. Телеметрия со спутника поступала нормально и свидетельствовала о штатной работе большинства служебных и научных систем. Судя по всему, электропитания для бортовых и научных приборов хватало и система обеспечения теплового режима справлялась со своей задачей.

Эксперименты на борту проводились автономно, по программе бортовых устройств. Большая их часть подачи команд с Земли не требовала вообще. «Мы получаем с борта телеметрическую информацию, которая свидетельствует, что гекконы и мушки-дрозофилы живы и здоровы, регулярно едят. Так как условия их пребывания в биокапсуле пока вполне комфортны, можно допустить, что вскоре они займются воспроизведением потомства. В конце концов это и была одна из основных целей научной программы», — сказал в интервью РИА «Новости» представитель ИМБП. Как шутили представители СМИ, «ученые гекконов видят, но послать им привет не могут».

Поскольку команды управления на спутник не проходили, не было возможности заложить программу и выполнить подъем орбиты, который планировался на третьи сутки полета. Из-за относительно низкого перигея нарушалась «чистота» невесомости, а эксперименты по влиянию космического излучения на биологические организмы проводились не в ожидавшейся радиационной обстановке.

Главным вопросом было, удастся ли обеспечить включение двигательной установки на торможение и сход с орбиты. Без этого КА смог бы вернуться на Землю только в результате естественного торможения в верхних слоях атмосферы. Срок его баллистического существования существенно превышал расчетную двухмесячную длительность миссии, не говоря уже о перспективе посадки в произвольном районе земной поверхности.

«Пять гекконов — четыре самки и один самец — умрут от голода через два с половиной месяца, если наземным службам не удастся установить связь с КА, даже если на аппарате не вышла из строя система жизнеобеспечения, — сообщил представитель одного из поставщиков научного оборудования. — Животные не выживут, если будут находиться на орбите более двух с половиной месяцев. У них просто кончится пища. Другие виды могли бы выжить и при большем времени отсутствия питания, но этим гекконам требуется регулярное питание».

К счастью, спустя неделю после запуска, 26 июля в 08:05 ДМВ специалисты восстановили двустороннюю связь со спутником, была проведена закладка программ в соответствии с планом. Глава самарского «Прогресса» А.Н. Кирилин сообщил РИА «Новости»: «Связь с «Фотоном-М» №4 восстановлена в полном объеме. По результатам последующих сеансов связи, которые будут проведены в воскресенье [27 июля], будет принято решение — поднимать или не поднимать орбиту КА».

Как отметил в тот же день руководитель Роскосмоса О.Н. Остапенко, проведено «несколько сеансов связи, связь установлена, она устойчивая». Глава ведомства отметил, что есть несколько версий причин сбоя связи, которые сейчас анализируют специалисты.

Олег Остапенко заверил, что 90% научной программы на спутнике «Фотон-М» №4 будет выполнено. «Первая задача — выполнить всю программу научных испытаний, которая была заложена. Мы сейчас это дело обеспечиваем», — отметил он. Вторая задача, по словам главы Роскосмоса, — обеспечить безаварийную посадку аппарата и получить данные и результаты испытаний.

По состоянию на 28 июля было проведено 17 сеансов связи. Состояние всех систем КА оценивалось как штатное. Эксперименты продолжались в соответствии с программой полета. От подъема орбиты с учетом мнения заказчиков эксперимента отказались.

1 августа О.Н. Остапенко сообщил: «Сейчас аппарат работает по полной схеме... «Фотон» отработает тот срок, который был заложен». Глава Роскосмоса отметил, что на борту выполняется 18 из 22 запланированных экспериментов. «Четыре будут выполняться чуть позже. Но это не значит, что мы задерживаемся, так было заложено, — уточнил Олег Николаевич. — Для проведения одного из 22 экспериментов планировалось изменить орбиту. Но учитывая то, что возникла такая нештатная ситуация, рисковать не стали и оставили как есть».

Отвечая на вопрос, будет ли проводиться эксперимент, для которого планировалось изменить орбиту, О.Н. Остапенко сказал: «Мы пока согласовываем это со специалистами и будем его проводить».

На 6 августа вся научная аппаратура КА «Фотон-М» №4 работала в соответствии с программой. По данным телеметрической информации, давление, температура в отсеках КА, напряжение электропитания находятся в пределах нормы. Замечаний к работе бортовой обеспечивающей и научной аппаратуры спутника не было. Вся телеметрическая информация в полном объеме поступала в ЦУП.

По материалам ИМБП, ЦЭНКИ, ГРЦ «Прогресс», Роскосмоса, ИТАР-ТАСС, «Интерфакс», РИА «Новости», «Интерфакс-АВН», «Известия.ru», <http://zakupki.gov.ru>, <http://lenta.ru/news/2014/07/24/foton>



Фото С. Сергеева