

# ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ. ЛЮДИ

## HISTORY. EVENTS. PEOPLE

УДК 629.786

DOI 10.34131/MSF.21.3.108-127

### **К 35-ЛЕТИЮ ЗАПУСКА ПЕРВОГО МОДУЛЯ ОПК «МИР»: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОПК «МИР»**

В.Е. Фокин

В.Е. Фокин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Орбитальная станция «Мир» в течение 15 лет (1986–2001 гг.) служила единственной в мире пилотируемой космической лабораторией для долгосрочных научно-технических экспериментов и исследования человеческого организма в космосе. Ее работа началась 20 февраля 1986 года, когда был выведен на орбиту базовый блок этого многоцелевого международного комплекса. За этот период получены новые результаты, внесшие большой вклад как в отечественную фундаментальную науку, так и имеющие большую практическую значимость с точки зрения их внедрения в различные отрасли народного хозяйства, образования, здравоохранения, развития и совершенствования космических средств.

**Ключевые слова:** орбитальный пилотируемый комплекс, научно-прикладные исследования и эксперименты, геофизические исследования, космическая технология, материаловедение, технические эксперименты, медико-биологические исследования, астрофизика, космическая биотехнология, исследования природных ресурсов Земли и экологический мониторинг.

#### **The 35<sup>th</sup> Anniversary of the Launch of Mir's First Module: Main Results of Applied Scientific Research and Experiments Carried Out Onboard the Manned Orbital Complex. V.E. Fokin**

For 15 years (1986–2001) the orbital station “Mir” served as the only manned space laboratory for long-term scientific and technical experiments and human body research in space. This multipurpose international complex began to operate on February 20, 1986 when its base module was placed into orbit. The results, obtained during that period, have made a great contribution to domestic fundamental science and today they are of great practical value for various sectors of the national economy, education, health care, and development of space vehicles.

**Keywords:** manned orbital complex, applied scientific research and experiments, geophysical exploration, space technology, materials sciences, technical experiments, biomedical research, astrophysics, space biotechnology, earth natural resources exploration and environmental monitoring.

20 февраля 2021 года исполняется 35 лет со дня запуска базового блока (ББ) орбитального пилотируемого комплекса (ОПК) «Мир», олицетворяющего собой одно из наиболее выдающихся достижений советской и российской науки и техники в освоении космического пространства. Как известно, в то время многие пуски космической техники посвящали какой-либо знаменательной дате. Так и запуск «Мира» был приурочен к началу работы XXVII съезда КПСС. Базовый блок ОПК «Мир» был выведен на смену еще летавшей орбитальной станции «Салют-7».

**Базовый блок (17КС)** орбитального комплекса, запущенный первым, представлял собой основную часть станции – в нем жили и работали космонавты, из него «Мир» управлялся, снабжался электроэнергией и осуществлялась связь с Землей. Конструкция ОПК «Мир» организована именно вокруг этого базового блока с шестью стыковочными узлами – это и определяет принцип модульности, реализованный и на современной МКС и позволяющий собирать на орбите станции довольно внушительных размеров. Вслед за выводом в космос ББ ОПК «Мир» в течение 10 лет к нему были пристыкованы 5 научных модулей и один дополнительный усовершенствованный стыковочный отсек (табл. 1) и (рис. 1) [1].

Таблица 1

Эволюция конфигурации ОПК «Мир»

№ п/п	Модули станции	Дата старта	Дата стыковки	Масса, т	Длина, м	Диаметр мах., м
1	Базовый блок (17КС)	20.02.1986	–	20,1	13,1	4,15
2	Астрофизический модуль «Квант-1» (37КЭ)	31.03.1987	09.04.1987	11,1	5,8	4,15
3	Модуль дооснащения «Квант-2» (77КСД)	26.11.1989	06.12.1989	19,5	12,4	4,35
4	Модуль стыковочно-технологический «Кристалл» (77КСТ)	31.05.1990	10.06.1990	19,6	12,2	4,35
5	Исследовательский модуль «Спектр» (77КСО)	20.05.1995	01.06.1995	18,8	14,4	4,35
6	Стыковочный отсек (316ГК)	12.11.1995	15.11.1995	4,3	5,1	2,9
7	Научно-исследовательский модуль «Природа» (77КСИ)	23.04.1996	27.04.1996	19,3	11,5	4,15

**Экспериментальный астрофизический модуль «Квант-1» (37КЭ)** предназначался для выполнения программы астрофизических и других научных исследований и экспериментов. Модуль состоял из лабораторного отсека с переходной камерой и негерметичного отсека научного оборудования.

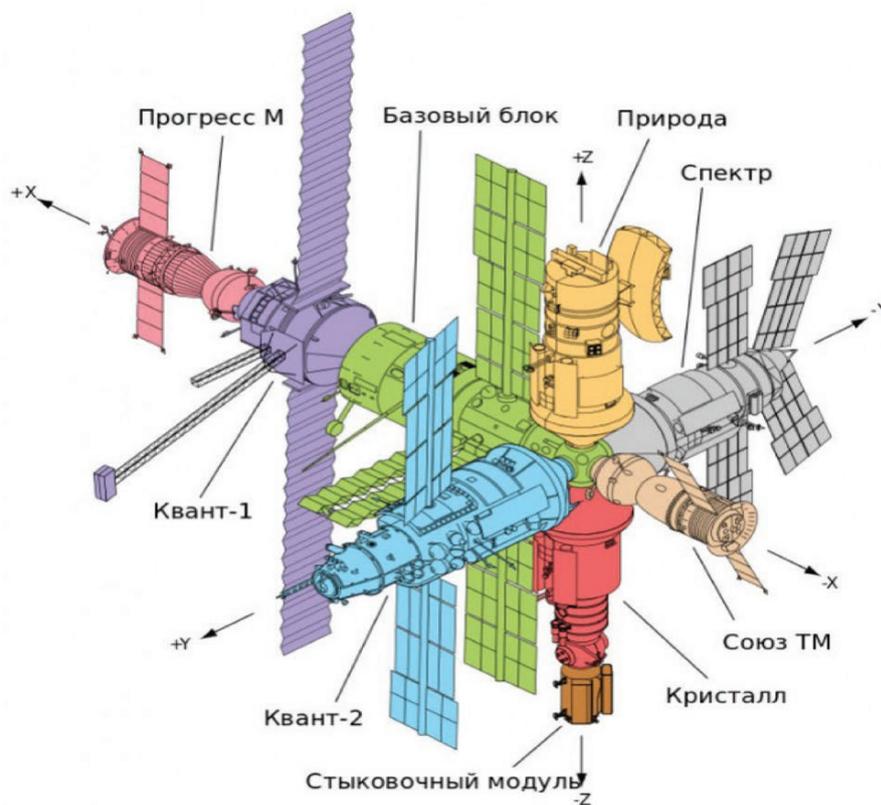


Рис. 1. Состав ОПК «Мир»

**Модуль дооснащения «Квант-2» (77КСД)** был предназначен для дооснащения орбитального комплекса «Мир» оборудованием и обеспечения выходов экипажа в открытый космос, а также для проведения научных экспериментов. Модуль состоял из трех герметичных отсеков: приборно-грузового, приборно-научного и шлюзового специального с открываемым наружу выходным люком диаметром 1000 мм. Модуль «Квант-2» и все последующие модули осуществляли стыковку к осевому стыковочному агрегату переходного отсека базового блока, затем с помощью манипулятора модуль переводился на боковой стыковочный агрегат переходного отсека.

**Модуль стыковочно-технологический «Кристалл» (77КСТ)** – в модуле размещалось преимущественно научное и технологическое оборудование для опытно-промышленного производства полупроводниковых материалов, очистки биологически активных веществ в целях получения новых лекарственных препаратов, выращивания кристаллов различных белков и гибридизации клеток, а также для проведения астрофизических, геофизических и технологических экспериментов. Модуль состоял из двух герметичных отсеков: приборно-грузового и переходно-стыковочного. Модуль

имел три стыковочных агрегата: осевой активный – на приборно-грузовом отсеке и два андрогинно-периферийного типа – на переходно-стыковочном отсеке (осевой и боковой). Таким образом обеспечивалась возможность стыковки корабля многоразового использования «Буран», но в связи с последующим закрытием программы «Энергия»–«Буран» этот узел, после незначительной доработки, был использован для стыковки с комплексом американских многоразовых транспортных космических кораблей «Спейс Шаттл».

**Исследовательский модуль «Спектр» (77КСО)** – аппаратура модуля позволяла вести исследования природных ресурсов Земли, верхних слоев земной атмосферы, собственной внешней атмосферы орбитального комплекса, геофизических процессов естественного и искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве и в верхних слоях земной атмосферы, космического излучения, медико-биологических исследований, изучения поведения различных материалов в условиях открытого космоса.

**Стыковочный отсек (316ГК)** – модуль был разработан и изготовлен в РКК «Энергия» специально для обеспечения возможности стыковки МТКК «Спейс Шаттл» с ОПК «Мир» и доставлен на станцию американским шаттлом «Атлантис» (STS-74).

**Научно-исследовательский модуль «Природа» (77КСИ)** предназначался для исследования поверхности и атмосферы Земли, атмосферы в непосредственной близости от ОПК «Мир», влияния космического излучения на организм человека и поведения различных материалов в условиях космического пространства, а также получения в условиях невесомости особо чистых лекарственных препаратов.

Комплекс научной аппаратуры ДЗЗ «Природа» создавался для реализации международного проекта изучения Земли из космоса. В его основу была положена, прежде всего, разработка научно-методического, программного и аппаратурного обеспечения исследований, проводимых с помощью систем ДЗЗ, позволяющих с высокой точностью, пространственным разрешением и надежностью определить геофизические параметры, необходимые для решения экологических и природоресурсных задач.

В итоге, к середине 1996 года окончательно сформировался облик станции «Мир» как научно-исследовательского комплекса, оснащенного уникальной научной аппаратурой (рис. 1 и 2). За время эксплуатации станции на ней была размещена научная аппаратура более 240 наименований производства 27 стран общей массой 11,5 тонны. В частности, комплекс научной аппаратуры включал в себя:

- крупный природоведческий комплекс, состоящий из двадцати четырех активных и пассивных приборов для наблюдения Земли, работающих в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах спектра;
- астрофизическую обсерваторию из шести телескопов и спектрометров;



Рис. 2. Орбитальный пилотируемый комплекс «Мир»

- четыре технологические печи;
- шесть медицинских диагностических комплексов;
- материаловедческую и биотехнологическую аппаратуру.

Программа полета станции формировалась таким образом, чтобы основные экспедиции, обеспечивающие постоянное присутствие экипажа на борту, сочетались с более короткими экспедициями посещения. Это позволяло оперативно планировать программы исследований в зависимости от уточняемых приоритетов решаемых задач и готовности научной аппаратуры к проведению экспериментов.

### **Основные результаты по проведенным исследованиям и экспериментам**

Станция «Мир» надежно функционировала 5511 суток на орбите Земли, из них 4594 дня была обитаема, совершив 86 331 оборот вокруг планеты. В результате выполнения всех научно-исследовательских и прикладных программ на ОПК «Мир» в период 1986–2000 гг. было выполнено 375 наименований различных экспериментов, объем переданной на Землю по телеметрическим каналам научной информации составил 1690 Гбайт, а суммарная масса возвращенных грузов с результатами экспериментов превысила 4700 кг (табл. 2) [2].

Таблица 2

Распределение количества выполненных экспериментов  
по направлениям исследований

Направления исследований	Количество экспериментов	Общее количество сеансов
Геофизические исследования	34	4124
Исследования природных ресурсов Земли и экологический мониторинг	29	1392
Космическая технология и материаловедение	28	2466
Технические исследования и эксперименты	134	6700
Космическая биотехнология	23	132
Астрофизика	15	6289
Медицинские исследования	90	1977
Биологические исследования	23	496
ИТОГО	375	23 576

### Геофизические исследования

Геофизические исследования были направлены на углубленное исследование околоземной среды при различных гелио-, геофизических условиях, апробацию и отработку научной аппаратуры, технических средств контроля верхней атмосферы Земли при наличии антропогенных воздействий.

#### Основные направления

- проведение мониторинга природных и техногенных катастроф из космоса;
- проведение мониторинга верхней атмосферы;
- исследования Солнца и солнечно-земных связей;
- проведение радиационного мониторинга.

#### Основные достижения в области геофизики

- измерен зарядовый состав электрон-позитронных потоков под радиационным поясом. Показано, что ядерные взаимодействия первичных космических лучей с остаточной атмосферой Земли с образованием и последующим распадом ионов образуют наблюдаемые потоки электронов и позитронов под радиационным поясом;
- проведено исследование солнечно-магнитосферных связей в период максимума солнечной активности в 1991 году. Измерены потоки высокоэнергичных солнечных частиц в окрестности Земли после ряда мощных солнечных вспышек. Определены энергетические спектры протонов и показана возможность проникновения солнечных частиц в глубь магнитосферы Земли, практически, без изменений формы энергетического спектра;
- проведены детальные измерения пространственных, питч-угловых и энергетических распределений новой динамической структуры в магнитосфере Земли нестационарного пояса высокоэнергичных электронов (позитронов), образовавшегося после серии мощных солнечных вспышек в конце

марта 1991 года. Показано, практически, полное отсутствие позитронов в составе частиц этого пояса (не более 1 % от потока электронов);

- впервые обнаружена взаимосвязь между возмущениями потоков высокоэнергичных частиц, захваченных геомагнитным полем, и сейсмической активностью Земли. Зарегистрированы всплески высокоэнергичных частиц, предшествующие за несколько часов землетрясениям с магнитудой более 4 баллов по шкале Рихтера. Обнаруженное явление может способствовать решению проблемы прогноза землетрясений.

Осуществлялись геофизические исследования и радиационный мониторинг с участием более 10 организаций, исследовано распределение заряженных частиц в квазизахваченном поясе радиации. Разработаны и предложены к реализации методы прогноза землетрясений и других природных катастроф на основе изучения тонких геофизических эффектов. Разработана система радиационного контроля для МКС.

В отношении результатов, полученных в экспериментах по исследованию химического состава и динамики верхней атмосферы Земли, требуются дальнейшие шаги по продолжению этих важнейших работ на МКС, так как от понимания сложных процессов в верхней атмосфере зависит глобальная экологическая ситуация на Земле, а возможно, и будущее человечества. Установка на борту орбитальной станции сложных научных инструментов позволяет не только отрабатывать сложную технику и методы измерений (перед установкой подобной научной аппаратуры на автоматические космические аппараты), успешно проводить длительные полноценные измерения, но и обеспечивать ремонт при преждевременном выходе из строя дорогостоящей аппаратуры за счет выполнения экипажем разнообразных ремонтно-восстановительных работ.

### **Исследования природных ресурсов Земли и экологический мониторинг**

К исследованию природных ресурсов Земли и экологическому мониторингу относится изучение состояния атмосферы и поверхности Земли, исследование физических явлений, оказывающих существенное влияние на глобальные климатические и экологические изменения.

#### **Основные направления**

- изучение характеристик системы «океан–атмосфера»;
- исследование деструкционных процессов, а также зон экологических и стихийных бедствий;
- развитие новых технологий в плане методологического, методического и аппаратурного решений задач дистанционного зондирования из космоса;
- получение данных в интересах фундаментальных наук.

#### **Основные достижения в области исследований природных ресурсов и экологии**

- проведена фотосъемка земной поверхности общей площадью более 125 млн км<sup>2</sup> в различных зонах спектра;

- впервые реализована возможность проведения комплексного многоцелевого исследования поверхности и атмосферы Земли активными и пассивными аппаратными средствами дистанционного зондирования Земли, работающими в широком диапазоне области спектра от радиоволн до ультрафиолета;
- для минимизации потерь информации реализована комплексная схема передачи результатов измерений с использованием высокоскоростных цифровых каналов;

- создан банк данных фото-, видео-, спектрометрической и радиометрической информации о природных ресурсах Земли и экологической обстановке.

Полученные данные позволяют приступить к целенаправленному решению ключевых задач фундаментальных наук о Земле в таких направлениях, как глобальные измерения биосферы, газовые и аэрозольные загрязнения атмосферы, озоновая проблема, климатообразующие процессы, вихревые процессы в атмосфере, солнечная и геомагнитная активность, солнечно-земные связи.

В части исследования природных ресурсов Земли и экологии создан и обновляется банк данных по исследованию природных ресурсов Земли и экологическому мониторингу. Полученные данные используются для обновления карт, контроля посевов и экологической обстановки, а также в коммерческих целях.

Большая работа выполнена по экологическому контролю. Проведены съемки для оценки возможностей экспертизы проблем опустынивания Калмыкии, загрязнения Байкала, иссушения Аральского моря, нарушения среды в нефтедобывающих районах Сибири, а также экологического контроля Курской, Воронежской областей и Цимлянского водохранилища.

Уникальный комплекс «Природа» позволил развить работы по следующим направлениям:

- реализация программы по совершенствованию средств дистанционного зондирования Земли и экологическому мониторингу позволила снизить затраты на геологическое изучение территории и инвентаризацию сельскохозяйственных и лесных угодий, запасов воды, прогнозировать урожай, определять и прогнозировать биопродуктивность новых районов промысла в океане, контролировать опасное антропогенное воздействие на биосферу;

- обеспечение оперативного сбора информации о состоянии атмосферы, морей и океанов, ледового и снежного покровов в интересах прогнозирования погоды, а также контроля озонного слоя Земли;

- повышение эффективности решений по сооружению мелиоративных и водохозяйственных объектов за счет создания соответствующих картографических материалов, повышению надежности и безопасности транспортных операций, оперативности выявления катастрофических явлений (пожары, сели, лавины, наводнения, загрязнения атмосферы и т.п.), а также повышению эффективности методов поиска полезных ископаемых, созданию новых методов долгосрочных метеорологических прогнозов;

- развитие наземных объектов космической инфраструктуры (в том числе наземных комплексов приема, обработки, хранения и распределения космических данных, экспериментальной базы), что должно обеспечить высокую эффективность использования космических данных в соответствии с национальными целями и задачами.

### **Космическая технология и материаловедение**

Целью исследований по данному направлению была оценка перспективности использования микрогравитации и космического вакуума как технологической среды для получения нового класса материалов с улучшенными свойствами по сравнению с земными аналогами.

#### **Основные направления**

- изучение в космических условиях кинетических процессов тепло-массопереноса в различных средах, фазовых переходов и поверхностных явлений с целью развития теоретических аспектов материаловедения и совершенствования существующих наземных и космических технологий;
- исследования и экспериментальная проверка новых физических и технологических принципов обработки материалов в космических условиях;
- создание и экспериментальная отработка бортовой научной аппаратуры и технологических установок, предназначенных для проведения работ как внутри, так и снаружи космических аппаратов;
- получение в условиях космического полета новых веществ и материалов, сплавов, стекол, полупроводников, диэлектриков, композиционных материалов и др. с уникальными характеристиками по однородности структуры и распределения примесей, электрофизическим параметрам, плотности дислокаций для нужд высоких технологий.

#### **Основные достижения в области космической технологии и материаловедения**

Для проведения космических экспериментов была разработана и изготовлена уникальная научная аппаратура, предназначенная для работы на борту ОПК «Мир» в условиях микрогравитации. Были разработаны опытные технологические установки и аппаратура «Диффузия», «Кристалл», «Поток», «Сфера», «Реакция», «Сплав», «Корунд», «Галлар», «Кратер-В», «Оптizon-1», «Зона-02», «Зона-03», «Кристаллизатор», «Пион-МА», «Магма».

Во время полета станции на ней выполнялись эксперименты, имеющие приоритетное значение. Следует отметить следующие достижения:

- впервые разработана и изготовлена зеркальная печь «Оптizon-1» с оптическим принципом нагрева обрабатываемых и исследуемых образцов мощностью до 1,2 кВт, с использованием забортного вакуума для вакуумирования рабочей камеры. На установке впервые проведены процессы бестигельной зонной плавки в космосе полупроводниковых материалов германия, кремния, антимонида индия (Ge, Si, InSb); выполнены эксперименты по жидкофазному спеканию порошков металлов;

- отработана мощная технологическая установка «Кратер-ВМ» для получения полупроводниковых материалов диаметром до 52 мм;
- зафиксирована и изучена вибрационная конвекция в околокритической жидкости (аппаратура «Алис-2»);
- в условиях микрогравитации изучена динамика пылевых макрочастиц, находящихся в разреженном, инертном газе при облучении их ультрафиолетовым излучением Солнца (эксперименты «Плазменный кристалл-1» и «Плазменный кристалл-1М»);
- в условиях микрогравитации получены упорядоченные кристаллические структуры, образованные металлическими пылевыми частицами в низкотемпературной плазме разряда постоянного тока (эксперимент «Плазменный кристалл-2»);
- при проведении КЭ «Дакон» зарегистрирована динамика теплового поля в газовой среде, обусловленная конвекцией в условиях микрогравитации, проведена оценка периодической составляющей микроускорений, вызванная орбитальным вращением станции, измерена и изучена термогравитационная конвекция в газовой среде.

В области космической технологии выполнено более 2450 сеансов экспериментов и исследований по физике жидкости, тепломассопереноса и кристаллизации в условиях микрогравитации. Проведена отработка технологии получения новых ценных материалов с характеристиками, превосходящими земные аналоги (кристаллы арсенида галлия, теллурида кадмия и оксида цинка) для последующего изготовления опытных образцов изделий электронной техники.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы и предложения для проведения дальнейших работ:

- намечены пути решения проблемы стабилизации микрогравитационной обстановки для условий МКС;
- разработка эффективных методов и средств магнитогидродинамических и других внешних воздействий на расплавы с целью управления процессами тепломассопереноса и кристаллизации в условиях микрогравитации, повышение на этой основе воспроизводимости результатов экспериментов и качества материалов;
- дальнейшее развитие и углубление фундаментальных исследований для получения новых знаний об особенностях процессов и явлений в жидкостях и твердых телах в условиях пониженной микрогравитации, в том числе при росте кристаллов и получении других материалов;
- расширение диапазона пониженной гравитации при решении материаловедческих задач за счет «свободно летающих» космических аппаратов.

### **Технические исследования и эксперименты**

Технические эксперименты – направление космических исследований, имеющее целью совершенствование космической техники и освоение новых космических технологий.

**Основные направления**

- исследование условий полета орбитальной станции и их влияние на эксплуатационные характеристики материалов и узлов космических аппаратов;
- исследования и экспериментальная проверка новых физических и технических принципов для служебного и научного оборудования, экспериментальная отработка новых приборов и агрегатов;
- исследование стойкости материалов и элементов конструкции под влиянием комплексного воздействия условий длительного космического полета, а также стойкость, в том числе микробиологическая, материалов интерьера орбитальной станции;
- исследование особенностей атмосферы станции, в первую очередь в жилых отсеках;
- исследования эффективности работ операторов при выполнении научных исследований и ремонтных операций;
- исследования и экспериментальная отработка технологии, методов и средств строительства, технического обслуживания и ремонта в условиях космического полета;
- экспериментальная отработка крупногабаритных космических устройств и систем, предназначенных для достройки космической станции и для использования в качестве исследовательских инструментов.

**Основные достижения в области технических исследований**

Основной итог в части проведения технических исследований и экспериментов состоит в том, что в результате многолетней эксплуатации ОПК «Мир» получены результаты, дающие несомненный экономический эффект, состоящий в следующем:

- снижение риска полетов на станции за счет получения данных о ее реальном состоянии, позволяющих обоснованно принимать решение о продлении гарантий;
- снижение затрат на наземную экспериментальную отработку новых систем и технологий;
- создан и испытан на борту комплекс универсальных инструментов для ремонтно-восстановительных работ;
- отработано средство передвижения космонавтов в открытом космосе;
- отработан и введен в эксплуатацию телескопический манипулятор с ручным приводом («грузовая стрела»);
- впервые получены данные по состоянию собственной внешней атмосферы станции на удалении до 10 м от ее поверхности;
- определены общие уровни микроускорений на станции;
- отработаны средства управления поворотными платформами в интерактивном режиме с Земли;
- созданы крупногабаритные ферменные конструкции (материалы с эффектом памяти);

- отработаны методы развертывания больших рамочных антенн;
- созданы капиллярно-заборные устройства для надежного запуска в невесомости ракетных двигательных установок;
- доказано самоочищение топливных компонентов от газовых включений;
- использование достижений космической промышленности другими отраслями.

Кроме того, новейшие технологии и системы, экспериментально отработанные на ОПК «Мир», использовались при строительстве РС МКС для его штатной эксплуатации, что позволило значительно снизить расходы по его созданию.

### **Космическая биотехнология**

Космическая биотехнология – комплекс новейших технологий, направленных на получение в условиях микрогравитации уникальных биологических материалов, биообъектов различного назначения, в том числе лекарственных, профилактических и диагностических препаратов.

Она составляет одну из важнейших областей исследований и экспериментов на пилотируемых орбитальных комплексах, направленных на использование микрогравитации и других факторов космического полета, позволяющих реализовать принципиально новые способы получения биоматериалов, которые в наземных условиях затруднены или невозможны.

#### **Основные направления**

- культивирование продуцентов ценных биопрепаратов с параллельным исследованием биологической динамики клеток и генетических характеристик под воздействием различных факторов космического полета (включая геомагнитные поля) с целью получения клеток-продуцентов с новыми свойствами;
- исследование механизма слияния клеток различными методами рекомбинации и получения клеточных продуцентов ценных биопрепаратов;
- кристаллизация белковых и других биообъектов с целью получения высококачественных крупных изомерных монокристаллов белков (протеинов);
- исследование и отработка процессов очистки биологически активных веществ (БАВ) с помощью электрофореза.

Задачей исследований на ОПК «Мир» являлось получение прямых экспериментальных данных об эффективности и особенностях протекания биотехнологических процессов в условиях космического полета.

Для их реализации были созданы 16 типов специализированных биотехнологических установок, в том числе:

- установки «Таврия», ЭФУ «Робот», «Светлана», «Геном», «Ручей» – для исследования и отработки электрофоретических процессов разделения и очистки белков и клеток;
- аппаратура «Айнуур», «Биокрист» – для кристаллизации протеинов различными методами;

- приборы «Рекомб», «Вита» – для исследований процессов культивирования и рекомбинации животных клеток и микроорганизмов;
- оборудование «Максат», «Биомагнистат» – для фундаментальных исследований влияния различных факторов космического полета на генетические свойства клеток, а также другая научная аппаратура.

#### **Основные достижения в области биотехнологии**

- по разделению и тонкой очистке биопрепаратов:
  - подтверждена возможность разделения животных клеток;
  - получены исследовательские образцы генно-инженерного интерферона без микропримесей и неактивных форм, опасных для иммунной системы;
  - получены практически важные результаты на промышленноценных биообъектах – гемагглютинине вируса гриппа и микроорганизмах;
  - продемонстрирована перспективность исследований по применению в космосе электрофизических методов получения промышленных количеств особо чистых биопрепаратов;
  - получены данные для проектирования полномасштабных установок;
- по кристаллизации биообъектов:
  - получены биологические монокристаллы, имеющие лучшие характеристики, чем полученные в земных лабораториях;
- по получению рекомбинантных (гибридных) клеток-продуцентов БАВ:
  - высокая эффективность процессов конъюгативного переноса генетического материала в орбитальных условиях позволяет получать достаточное количество исходной рекомбинантной биопродукции для направленной селекции на Земле;
- по получению и культивированию клеток-продуцентов БАВ с новыми свойствами:
  - получены новые с улучшенными свойствами штаммы-продуценты средств защиты растений и биодеградантов нефтесодержащих загрязнений;
  - получены культуры клеток растений с повышенной продуктивностью биологически активных веществ многоцелевого назначения;
  - выявлены изменения основных морфологических и генетических характеристик культивируемых клеток.

В рамках биотехнологических исследований в ходе более 130 сеансов отработаны технологии получения высококачественных биопрепаратов и новых материалов с уникальными свойствами. Ведутся интенсивные исследования по использованию космических факторов для получения и переработки биопрепаратов с целью повышения их качества и улучшения свойств. Доказано повышение производительности в сотни раз и в десятки раз – степени их очистки по сравнению с земной. Показана также принципиальная возможность успешно конструировать в условиях космоса микроорганизмы с заранее заданными свойствам для внедрения на предприятиях микробиологической промышленности.

Продолжение исследований в области космической биотехнологии в ближайшие годы целесообразно сосредоточить на следующих направлениях:

- углубление фундаментальных исследований по получению эффективных клеток (микроорганизмов)-продуцентов БАВ;
- выделение и очистка БАВ;
- исследование биотехнологических процессов как основополагающих факторов для технико-экономического обоснования возможности широко-масштабного использования космических аппаратов для получения народнохозяйственной продукции;
- для обеспечения успешного проведения биотехнологических исследований на космических станциях больше внимания необходимо уделять разработке соответствующего оборудования и приборов.

### **Астрофизика**

К астрофизическим исследованиям относится получение данных о структуре вещества Вселенной, о высокоэнергетических процессах, протекающих в космических объектах, проведение мониторинга неба.

#### **Основные направления**

- измерение фоновых и вспыхечных потоков линейчатого гамма-излучения;
- долгосрочный мониторинг неба в рентгеновском диапазоне;
- определение угловых координат с максимальной возможной точностью;
- исследование источников в ИК-диапазоне.

#### **Основные достижения в области астрофизики**

- зарегистрирована вспышка Сверхновой 1987А в Большом Магеллановом Облаке;
- проведены исследования широкого класса астрофизических объектов;
- построены широкополосные рентгеновские спектры различных типов рентгеновских источников;
- получены рентгеновские изображения области Центра нашей Галактики;
- измерены периоды девяти рентгеновских пульсаров;
- открыто одиннадцать неизвестных ранее рентгеновских источников нашей Галактики, получивших название KS (Kvant Source);
- проведены исследования двух самых ярких галактических источников со сверхсветовым разлетом рентгеновских струй;
- проведены исследования пространственно-временного распределения потоков нейтронов в околоземном космическом пространстве;
- накопление экспериментальных данных для отождествления источников гамма-всплесков с определенными астрофизическими объектами и определения механизма генерации излучения.

В области астрофизики и планетных исследований получены спектры и рентгеновские изображения центра нашей Галактики. Открыто 10 новых рентгеновских источников и зарегистрированы новые кандидаты в «черные

дыры». Обнаружен и изучен постоянный аномальный компонент лучей низких энергий. Результаты, полученные в ходе реализации программ научных исследований на ОПК «Мир», являются значительным вкладом в фундаментальную науку о космосе (в том числе в теорию эволюции звезд и Вселенной, в теорию происхождения космических лучей, нейтральной компоненты межзвездного газа и др.) и могут служить основанием для разработки различных феноменологических моделей, применяемых не только в астрофизике, но и используемых в таких областях, как физика критического состояния вещества или физика экстремальных явлений (высоких температур, сверхвысоких давлений и т.д.).

### **Медицинские исследования**

Медицинские исследования были направлены на изучение влияния условий и факторов длительного космического полета на организм человека и его работоспособность.

#### **Основные направления**

- исследования сердечно-сосудистой и дыхательных систем;
- исследования опорно-двигательного аппарата;
- исследования пищеварительной системы;
- иммунно-микробиологические исследования;
- метаболические исследования;
- психофизиологические исследования;
- сенсомоторные исследования;
- гематологические исследования;
- санитарно-гигиенические исследования.

#### **Основные достижения в области медицинских исследований**

• медицинские обследования космонавтов позволили объективно оценить состояние сердечно-сосудистой системы на различных этапах полета. Своевременно выявленные изменения являлись основанием для их коррекции, при необходимости медикаментозной;

• подтверждена возможность компенсации негативных эффектов невесомости в мышечной системе с помощью адекватных мышечных нагрузок (средств профилактики), ключевую роль при этом играют физические тренировки;

• бортовые эксперименты позволили выявить наиболее значимые изменения водно-солевого метаболизма при длительных полетах;

• выполнение операторской деятельности во время полета сопряжено с повышением психофизиологических затрат. Выявлена высокая вероятность снижения надежности деятельности космонавтов в начальный период пребывания в невесомости и при длительных перерывах в проведении профессиональных операций;

• по результатам проведенных исследований удалось создать концептуальную модель адаптации вестибулярной и взаимодействующих с ней сенсорных систем к условиям невесомости;

- в ходе многолетней эксплуатации орбитального комплекса микрофлора среды подвергается специфической эволюции, в ходе которой происходит смена доминирующих по численности и распространенности видов. Создана коллекция «полетных штаммов»-биоаггессоров, предназначенная для испытаний образцов новой космической техники.

### **Биологические исследования**

Освоение человеком космического пространства неразрывно связано с проведением исследований в области космической биологии, в том числе на борту пилотируемых и беспилотных космических аппаратов. Эти исследования позволили изучить фундаментальные закономерности функционирования биологических систем в условиях измененной гравитации.

#### **Основные направления**

- проведение фундаментальных исследований для углубления знаний о принципах организации жизни на уровнях от молекулярного и субклеточного до организменного, популяционного и межпопуляционного;
- выявление особенностей жизненных процессов, возникающих под действием факторов космического полета, которые представляют интерес для практического применения в биотехнологии, сельском хозяйстве и других направлениях прикладной биологии;
- отработка отдельных звеньев биолого-технических систем жизнеобеспечения для перспектив развития пилотируемой космонавтики;
- исследования по экспериментальной экологии, раскрывающие механизмы разрушающего техногенного воздействия на природу и пути предупреждения его нежелательных эффектов.

#### **Основные достижения в области космической биологии**

- изучение фундаментальных закономерностей функционирования биологических систем в условиях измененной гравитации, которые позволили обосновать и продемонстрировать возможность осуществления длительных космических полетов, показать возможность использования искусственной силы тяжести в качестве эффективного способа поддержания оптимального функционального состояния организма в длительных космических полетах;
- накоплен огромный опыт в формировании и реализации комплексных программ биологических исследований;
- проведен цикл фундаментальных исследований в области гравитационной биологии на различных биологических объектах, включая микроорганизмы, культуры тканей, растения, различные виды животных.

В области медицины и биологии совершенствовались медицинские аспекты безопасности и обеспечения высокой работоспособности экипажей в длительных полетах. На основе выполненных исследований в практическую медицину внедрено 60 приборов, препаратов, методик, математических программ. В ходе эксплуатации ОПК «Мир» была отработана технология медико-биологического обеспечения длительных полетов человека в космосе и установлены абсолютные мировые рекорды продолжительности

непрерывного пребывания человека в условиях космического полета – 438 суток. Апробирована практика передачи смены от одного экипажа другому в ходе полета.

### **Международное сотрудничество**

Полученные в рамках международных программ данные представляют не только несомненный теоретический интерес, но и имеют практическое применение.

Выполнено 7600 сеансов экспериментов в области медицины, биологии, технологии, техники, астрофизики, биотехнологии. Проведено 27 международных экспедиций, в ходе которых выполнялись такие научные программы, как: «Мир-НАСА», «Мир-Шаттл», «Евромир», «Кассиопея», «Пегас», «Персей», «Аустромир» и др. На станции в рамках международного сотрудничества работали представители 12 стран и организаций: США, Германии, Англии, Франции, Японии, Австрии, Болгарии, Сирии, Афганистана, Казахстана, Словакии и ЕКА [3].

В области медицины и биологии полученные с участием Австрии, Германии, Франции результаты могут быть использованы в космической, экспериментальной, клинической, спортивной медицине и в здравоохранении для создания новых методов и перспективных аппаратурных комплексов. Используемые в экспериментах оригинальные методические приемы и уникальная аппаратура могут найти применение при экстремальных ситуациях на Земле. Новые возможности метода дозиметрического контроля в полях космического излучения позволили применить его не только в последующих космических полетах, но и в радиационной экологии, авиации, в научных центрах, обеспечивающих контроль радиационной безопасности населения и др.

В процессе проведения работ по исследованию природных ресурсов Земли и экологическому мониторингу в рамках международных программ с Болгарией, Германией, Италией, Казахстаном, Польшей, Украиной, Францией, Швейцарией, США получены результаты, позволившие отработать методики:

- планирования и проведения комплексных космических наблюдений и квазисинхронных подспутниковых измерений;
- приема и обработки больших информационных массивов (до нескольких Гбайт в сутки);
- распространения больших информационных массивов среди пользователей, в том числе зарубежных, по электронным информационным сетям обмена данными и др.

Это существенно повысило эффективность проводимых исследований за счет, прежде всего, минимизации непродуктивных временных затрат и повышения качества реализации экспериментальных работ.

Практически все эксперименты по внеатмосферной астрономии проводились в рамках программ международного сотрудничества, и результаты

данных экспериментов можно с полным основанием занести в актив России как головного участника крупных международных космических программ в различных областях космических исследований, что повышает эффективность как российских, так и зарубежных программ.

В результате проведения технических исследований и экспериментов был накоплен ценный опыт для использования жидко-металлических эмиттеров для контроля электростатического потенциала космического аппарата, которые могут использоваться во всех областях применения технологии ионных микрочуеы (микроанализ, прецизионная обработка, микроимплантация, ионнолучевая литография и пр.), а также как источник частиц для ионнолучевых двигателей. Использование масс-спектрометра с ионным микрозондом в будущем позволит создать материаловедческие модули для проведения анализа материалов на борту космических аппаратов. Использование любительской радиосвязи позволило получить дополнительный канал обмена информацией, который может быть использован при нештатных ситуациях. Совместные эксперименты с Францией позволили измерить и зарегистрировать микроускорения и вибровозмущения, возникающие в отсеках ОПК «Мир» в различных режимах ее работы, а также осуществить сравнение чувствительности электронных элементов на Земле и в космосе. Эти данные дополнили информацию по российским измерениям. В экспериментах Европейского космического агентства (ЕКА) был отработан и уже переведен в штатную систему газоанализатор высокой технологии, позволяющий контролировать состояние атмосферы на станции путем сравнения реальных данных с калибрационными и дающий надежную оценку опасных для экипажа выбросов в атмосферу станции.

### **Основные результаты подготовки экипажей ОПК «Мир» к выполнению научных экспериментов и исследований**

Подготовка советских, российских и международных экипажей к выполнению научных экспериментов и исследований осуществлялась в основном в ЦПК имени Ю.А. Гагарина, а также в космическом центре им. Л. Джонсона и на базах международных партнеров. В проведении тренировок принимали участие ученые-постановщики экспериментов и специалисты, инструкторы по подготовке экипажей из ЦПК, а также кураторы аппаратуры и разработчики бортовых инструкций из РКК «Энергия».

Для подготовки экипажей по программе ОПК «Мир» в ЦПК был создан полноразмерный комплексный тренажер ОПК «Мир» и его модулей, оснащенных действующими макетами служебной и научной аппаратуры, а также необходимые комплексные и специализированные тренажеры.

В этот период специалистами ЦПК и других организаций были разработаны и использованы имитационные модели выполнения научных экспериментов, тренажеры автоматизированных рабочих мест экипажей и спе-

специализированные базы данных. Кроме того, в ЦПК был проведен комплекс работ по совершенствованию учебно-лабораторной базы по всем научным программам.

Как показали результаты научных экспериментов на ОПК «Мир», эффективное выполнение научной программы возможно только в том случае, когда члены экипажа являются активными участниками научных исследований и экспериментов. В свою очередь, это достигается в том случае, когда в процессе подготовки космонавты не ограничиваются формированием навыков выполнения алгоритма эксперимента, но приобретают в необходимом объеме сведения из области фундаментальных знаний об исследуемом явлении, знакомятся с принципами построения научной аппаратуры, ее устройством и функционированием.

Опыт осуществления продолжительных пилотируемых полетов на ОПК «Мир» свидетельствует о том, что принятый порядок работ по организации обучения экипажей, существующие и специально созданные технические и учебно-методические средства подготовки, а также уровень подготовки инструкторов ЦПК позволили обеспечить своевременную и качественную подготовку космонавтов к выполнению всего комплекса научных экспериментов и исследований.

В ходе подготовки экипажей ОПК «Мир» были заложены основные принципы многосегментной подготовки на базах международных партнеров, используемой в настоящее время в процессе подготовки российских и международных экипажей по программе МКС.

### **Вместо заключения**

16 июня 2000 года с ОПК «Мир» на КК «Союз ТМ-30» вернулась последняя экспедиция (Сергей Залетин и Александр Калери), а 16 ноября Юрий Коптев, на тот момент генеральный директор Роскосмоса, предложил затопить станцию. К концу 2000 года станция практически выработала свой ресурс. В принципе имелась возможность поддерживать ее работоспособность еще 2–3 года, однако от этого отказались по финансовым соображениям, началась программа по своду станции с орбиты и ее затоплению.

23 марта 2001 года примерно в 9:00 по московскому времени ОПК «Мир» вошла в плотные слои атмосферы, разрушилась и затонула в заданном районе Тихого океана (40° ю.ш., 160° з.д.).

### **Выводы**

ОПК «Мир» разрабатывалась как станция модульного типа, рассчитанная на эксплуатацию и выполнение экспериментов на борту при любой промежуточной конфигурации. Целевые модули создавались как специализированные для определенного вида исследований и аппаратуры. Поэтому особенностью проведения экспериментов на ОПК «Мир» являлся их многоцелевой ха-

рактически и большое разнообразие направлений работ. Принципиально новое качество придавало станции размещение многофункционального международного научного оборудования, благодаря которому было получено множество результатов в традиционных направлениях исследований: геофизике и изучении атмосферы, океана и земной поверхности, астрофизике, биологии и медицине, материаловедении и биотехнологии.

На практике ОПК «Мир» сконцентрировал опыт решения разнообразных прикладных проблемных задач в условиях космоса и значительно расширил сферу применения научных методов в области, ранее недоступные человечеству. Полет станции дал импульс и стал источником ряда принципиальнейших научных открытий и изобретений, реализованных не только в ракетно-космической технике, но и во многих других направлениях человеческой деятельности. В основе этих достижений – многократно отработанные принципы стыковки транспортных кораблей, организация эффективной системы подготовки космонавтов, регулярного снабжения станций грузами на основе высоконадежных ракет-носителей, постоянной работы групп управления полетом.

Полученный в ходе реализации программы ОПК «Мир» опыт планирования, организации и проведения подготовки космонавтов лег в основу подготовки российских и международных экипажей по программе МКС.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] «Мир»: [электронный ресурс]: [страница, посвященная орбитальному комплексу «Мир» на официальном сайте НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина] // НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина. – URL: <http://www.gctc.ru/main.php?id=312> (дата обращения: 22.12.2020).
- [2] Орбитальный комплекс «Мир»: [электронный ресурс]: [страница, посвященная орбитальному комплексу «Мир» на официальном сайте РКК «Энергия» им. С.П. Королева] / РКК «Энергия» им. С.П. Королева. – URL: <https://www.energia.ru/ru/history/flights/mir.html> (дата обращения: 22.12.2020).
- [3] Лындин В.И. Орбитальная станция «Мир». Цифры и факты. // Новости космонавтики. – 2001. – № 5.

#### REFERENCES

- [1] “Mir”: [electronic source]: [web page dedicated to the Mir orbital complex on the official website of Yu.A. Gagarin Test&Research CTC] // Yu.A. Gagarin Test&Research CTC. – URL: <http://www.gctc.ru/main.php?id=312> (accessed date: 22.12.2020).
- [2] “Mir” orbital complex: [electronic source]: [web page dedicated to the Mir orbital complex on the official website of S.P. Korolev RSC Energia] / S.P. Korolev RSC Energia. – URL: <https://www.energia.ru/ru/history/flights/mir.html> (accessed date: 22.12.2020).
- [3] Lyndin V.I. “Mir” orbital station. Figures and Facts // Novosti Kosmonavtiki [Space Exploration News] – 2001. – No 5.