

УДК 629.784(100):001.89

## ЦЕЛЕВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС: ЗНАЧИМЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

© 2013 г. Легостаев В.П., Марков А.В., Сорокин И.В.

ОАО «Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С.П. Королёва» (РКК «Энергия»)  
Ул. Ленина, 4А, г. Королёв, Московская область, Россия, 141070, e-mail: post@rsce.ru

*Международная космическая станция (МКС) – единственная имеющаяся в настоящее время в распоряжении человечества постоянно действующая обитаемая космическая платформа на околоземной орбите. Одним из наиболее важных результатов Программы МКС является создание надежной международной кооперации, осуществляющей целевое использование комплекса. Российский сегмент МКС – развивающаяся техническая система, позволяющая обеспечить последовательное совершенствование условий проведения исследований на борту. В статье приводятся некоторые значимые научные результаты, полученные на модулях Российского сегмента МКС различных поколений, и освещаются планы целевого использования сегмента в следующем десятилетии.*

**Ключевые слова:** *Российский сегмент Международной космической станции, целевое использование, международное сотрудничество, программа научных и прикладных исследований, комплекс целевых нагрузок, универсальное рабочее место.*

## THE ISS RUSSIAN SEGMENT UTILIZATION: RESEARCH ACCOMPLISHMENTS AND PROSPECTS

Legostaev V.P., Markov A.V., Sorokin I.V.

S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (RSC Energia)  
4A Lenin Street, Korolev, Moscow region, 141070, Russia, e-mail: post@rsce.ru

*The International Space Station (ISS) is the only operational manned space platform currently available for humanity in the low Earth orbit. One of the most important outcomes of the ISS Program is the establishment of reliable international cooperation that implements the orbiting complex utilization. The Russian Segment of the ISS is an evolving engineering system which enables steady improvements in conditions for conducting in-orbit research. The paper describes technical and research accomplishments achieved on the Russian Segment of the ISS modules of different generations, and unveils plans for further utilization of the Segment in the coming decade.*

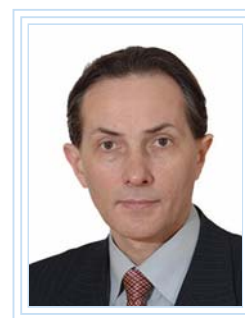
**Key words:** *Russian Segment of the International Space Station, utilization, international cooperation, research program, research facility, multipurpose workstation.*



ЛЕГОСТАЕВ В.П.



МАРКОВ А.В.



СОРОКИН И.В.

ЛЕГОСТАЕВ Виктор Павлович — академик РАН, первый заместитель генерального конструктора по научной работе РКК «Энергия», e-mail: [viktor.legostaev@rsce.ru](mailto:viktor.legostaev@rsce.ru)  
LEGOSTAEV Viktor Pavlovich — RAS academician, First Deputy General Designer in charge of research work at RSC Energia

МАРКОВ Александр Викторович — руководитель НТЦ РКК «Энергия»,  
e-mail: [alexander.v.markov@rsce.ru](mailto:alexander.v.markov@rsce.ru)  
MARKOV Alexander Victorovich — Head of STC at RSC Energia

СОРОКИН Игорь Викторович — д.т.н., заместитель руководителя НТЦ РКК «Энергия»,  
e-mail: [igor.v.sorokin@rsce.ru](mailto:igor.v.sorokin@rsce.ru)  
SOROKIN Igor Victorovich — Doctor of Science (Engineering), Deputy Head of STC at RSC Energia

Международная космическая станция (МКС) — многоцелевая научная лаборатория, обеспечивающая проведение фундаментальных и прикладных исследований на околоземной орбите.

Более чем за полвека, прошедших после первого полета человека в космос, были запущены тысячи космических аппаратов, созданы уникальные автоматические и пилотируемые научно-исследовательские комплексы. Человеку удалось не только увидеть Землю со стороны, но и исследовать ее. Стали доступны для изучения другие планеты, звезды и галактики во всем диапазоне электромагнитных колебаний — от жестких гамма-лучей до далекого инфракрасного и радиоизлучения. Ученым удалось получить важные данные о поведении в невесомости всех классов биологических объектов (от молекул белков, вирусов и бактерий до позвоночных животных), изучить особенности протекания в космосе физических процессов в жидкостях и газах, металлах и полупроводниках, в новых конструкционных материалах и покрытиях.

Основной задачей фундаментальных исследований, проводимых на МКС, является получение новых научных знаний о структуре Вселенной и материи, о глобальных факторах, влияющих на нашу планету и околоземное пространство, о климате и природных ресурсах Земли, об организме человека, его сопротивляемости неблагоприятным факторам внешней среды и адаптационным возможностям, о формах эволюции жизни в целом.

Кроме этого, МКС активно используется инженерным сообществом в качестве платформы для реализации прикладных научных исследований в целях:

- отработки новых типов бортовой целевой аппаратуры и методов ее наиболее эффективного применения;
- уточнения данных о действующих факторах космического пространства и изучения условий эксплуатации космических аппаратов;

- совершенствования методов и средств обеспечения длительных пилотируемых полетов и технологий сборки больших межорбитальных комплексов в интересах будущих планетных исследований;

- разработки новых космических технологий и их использования в промышленности и социальной сфере на Земле, включая непосредственное получение образцов продукции на орбите.

К настоящему времени создание Американского сегмента (АС) станции завершено, космические агентства-партнеры перешли к его полномасштабному целевому использованию. В то же время Российский сегмент (РС), при сравнимой с АС МКС интенсивности проведения научных исследований, сохраняет потенциал обновления и развития. Его строительство продолжается, введены и планируются к вводу новые модули, предоставляя ученым и инженерам новые технические и ресурсные возможности для исследований в космосе.

Ключевой особенностью процесса строительства РС МКС является последовательное расширение применения метода сменных полезных нагрузок на модулях, цель которого — повышение эффективности использования исследовательской аппаратуры. Этот метод основан на применении универсальных рабочих мест (УРМ) для интеграции элементов комплекса целевых нагрузок (КЦН) в составе модулей сегмента. Так, казалось бы, затянувшийся процесс строительства РС МКС все более выявляет свою позитивную сторону — возможность для России оставаться на острие новых космических технологий, создавать новое, двигаться вперед, не ограничиваясь на десятилетия техническими решениями 1980-х годов, воплощенными в большинстве эксплуатируемых сейчас модулей РС МКС. Это — путь к новым достижениям.

Для многих одним из наиболее важных результатов реализации Программы МКС является широкомасштабная международная кооперация, поддерживающая этот проект.

Структура кооперации рассматривается как модель для будущих международных программ в области исследования и освоения космического пространства.

Двенадцатилетний опыт эксплуатации МКС в пилотируемом режиме продемонстрировал как взаимозависимость, так и взаимовыручку партнеров, обеспечивающих решение общих задач при эксплуатации орбитального комплекса: интегрированными являются и транспортно-техническая инфраструктура, и планирование полетных операций, и экипаж. Явно выраженной в последнее время становится тенденция к интеграции работ по выполнению научных программ, прежде всего, через совместные космические эксперименты (КЭ) (с *ESA* и *JAXA* — «Матрешка»; с *ESA* и *DLR* — «Плазменный кристалл», «Контур-2», «Дальность»; с *JAXA* — «Кристаллизатор», «Аквариум»), использование ресурсов партнеров для решения задач в рамках национальных исследовательских программ.

Важным организационным и политическим фактором стало понимание партнерами МКС как единственной имеющейся в настоящее время в распоряжении человечества постоянно действующей обитаемой космической платформы на околоземной орбите. Существует беспрецедентная возможность использования МКС для отработки некоторых ключевых технологий в целях осуществления следующих шагов в области космических исследований. Эти технологии могут быть отработаны на МКС, а затем использованы на космических аппаратах (КА), отправляемых с МКС в автоматические и пилотируемые облетные миссии к Луне или в точки Лагранжа системы Земля–Луна с последующим возвращением обратно. Такие полеты будут логически предшествовать дальнейшему освоению человечеством космического пространства за пределами низкой околоземной орбиты после 2020 года.

В статье анализируются некоторые значимые технические и научные результаты, полученные на модулях РС МКС различных поколений, в том числе в рамках научно-технического сотрудничества с партнерами по Программе МКС, и освещаются планы целевого использования сегмента в следующем десятилетии.

### Интеграция полезных нагрузок на РС МКС

Эффективность выполнения программ научных и прикладных исследований (НПИ) на пилотируемых космических комплексах (ПКК) в существенной степени зависит от технической оснащенности их модулей, бортовых ресурсов, выделяемых на выполнение исследо-

ваний, и реализуемых принципов интеграции полезных нагрузок. В конечном итоге, последний фактор – решающий, поскольку определяет идеологию целевого использования ПКК и обеспечивает возможность оптимизации ресурсов с учетом текущего технического состояния модулей.

В 2012 году в составе Российского сегмента МКС эксплуатировалось пять модулей: служебный модуль «Звезда» (СМ), стыковочный отсек-1 «Пирс» (СО1), малые исследовательские модули «Поиск» (МИМ2) и «Рассвет» (МИМ1), а также функционально-грузовой блок «Заря» (ФГБ). ФГБ, как составная часть РС МКС, имеет общую массу около 67 т, объем герметичных отсеков – более 200 м<sup>3</sup>. После завершения сборки он будет состоять из восьми модулей общей массой более 132 т, общим объемом герметичных отсеков сегмента около 470 м<sup>3</sup>. Все модули в той или иной степени являются или станут после введения в состав МКС научными лабораториями для проведения исследований и «контрольно-испытательными станциями» для отработки перспективных космических систем и технологий на орбите в соответствии с программой, сбалансированной по бортовым ресурсам и учитывающей технический потенциал РС МКС.

Процесс формирования НПИ на РС МКС был инициирован в 1995 году. Этому предшествовал конкурс среди научных организаций, промышленных предприятий и вузов. Более 80 организаций подали 406 заявок по основным направлениям исследований. Первоначальный отбор экспериментов осуществлял Координационный научно-технический совет (КНТС) [1], созданный совместным решением Российского космического агентства (в настоящее время – Федеральное космическое агентство, Роскосмос) и Российской академии наук (РАН). В 1996 году КНТС были определены области исследований на РС МКС. В 1999 году специалистами РКК «Энергия» была проведена оценка технической реализуемости полученных заявок. В конечном итоге разработанная «Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС» (ДП НПИ) была утверждена Роскосмосом и РАН. В настоящее время действует ее версия 2008 года, завершена разработка версии 2012 года.

В версии ДП НПИ 2008 года КНТС были определены следующие 10 направлений исследований на РС МКС: (1) Физические и химические процессы и материалы в условиях микрогравитации; (2) Геофизика и исследования околоземного пространства; (3) Медико-биологические исследования; (4) Дистанционное

зондирование Земли; (5) Исследования Солнечной системы; (6) Космическая биотехнология; (7) Технические исследования и эксперименты; (8) Исследование физических условий в космосе на орбите МКС; (9) Астрофизика и фундаментальные физические проблемы; (10) Образование и популяризация космических исследований. По версии ДП НПИ 2012 года направления расширены с введением соответствия классификации исследований, принятой у партнеров Программы МКС [1, 2].

Международное сотрудничество на МКС оказывает серьезное влияние на выполнение российской национальной программы НПИ. При имевшемся ранее дефиците пользовательских ресурсов РС МКС это влияние рассматривалось как сдерживающее для российской программы, при избытке ряда пользовательских ресурсов в настоящее время – как стимулирующее и позитивное. Увеличение с мая 2010 года российского экипажа МКС до трех человек и планируемое введение в состав РС МКС в 2013 году многоцелевого лабораторного модуля (МЛМ) «Наука» предполагают значительное увеличение времени экипажа, выделяемого для работ по программе научных исследований. Однако срывы поставок аппаратуры научной кооперацией – явление, к сожалению, традиционное в практике создания комплексов целевых нагрузок ПКК – не позволяют в желаемой степени использовать этот ресурс.

Для того чтобы обеспечить требуемые технические условия проведения исследований по указанным выше направлениям, каждый элемент КЦН должен быть интегрирован на модулях наиболее эффективным образом. На борту различных модулей РС МКС (в процессе его поэтапной сборки) это осуществляется различными способами с учетом неперемного условия, состоящего в последовательном наращивании предоставляемых ими технических и ресурсных возможностей для проведения исследований.

На СМ и СО1, начиная с введения их в состав МКС в 2000 и 2001 годах соответственно, и до настоящего времени отдельные элементы КЦН обеспечиваются бортовыми ресурсами не через специальные стойки, а напрямую, посредством универсальных электрических, тепловых, вакуумных и других интерфейсов (иными словами, с использованием «индивидуального подхода» к интеграции полезных нагрузок, что иногда требует изготовления и доставки на МКС специальных кабелей, блоков питания, механических адаптеров и иного обеспечивающего оборудования; элементы КЦН могут устанавливаться либо на панелях интерфейса модуля, либо – за ними).

На МИМ1 и МИМ2, в сравнении с СМ, были применены более совершенные принципы разработки и интеграции исследовательской аппаратуры, которые обеспечили увеличение эффективности целевого использования Российского сегмента [3]:

- интеграция аппаратуры на модулях осуществляется с использованием УРМ методом сменных полезных нагрузок;
- научная аппаратура на УРМ устанавливается и подключается непосредственно в ходе полета;
- УРМ оснащаются стандартными механическими, электрическими, информационными и другими интерфейсами для обеспечения функционирования полезных нагрузок;
- смена полезных нагрузок осуществляется по принципу ротации в соответствии с ходом реализации научной программы или в связи с выходом эксплуатируемого оборудования из строя.

Эти принципы были также использованы при решении вопросов интеграции полезных нагрузок на внешней поверхности СМ: здесь в 2009–2011 годах созданы и введены в эксплуатацию два УРМ нового поколения.

На МЛМ и последующих модулях метод сменных полезных нагрузок будет применен в полном объеме, обеспечивая более эффективное использование установленных на нем комплексов научной аппаратуры. Усовершенствованные УРМ в сочетании с робототехническими системами, двухосными поворотными платформами, автоматизированной шлюзовой камерой, а также выдвижными модуль-полками и стойками в гермоотсеках модулей позволят обеспечить на их внешней поверхности установку и эксплуатацию разнообразных активных и пассивных полезных нагрузок для выполнения программы НПИ.

### **Примеры наиболее значимых научных результатов**

Наиболее актуальными в последние годы становятся вопросы координации всех видов деятельности партнеров по целевому использованию МКС, а также представления его положительных результатов правительствам стран-участниц Программы, широкой международной общественности. Например, активная публичная защита Программы МКС партнерами на всех уровнях в 2009–2010 годах способствовала принятию принципиального решения о продлении срока эксплуатации МКС до 2020 года.

Выполнение программ НПИ на Российском сегменте МКС [4] в настоящее время

уже в значительной степени интегрировано в процесс целевого использования орбитального комплекса всеми партнерами Программы. В рамках международного сотрудничества планируется и обеспечивается выполнение многих совместных космических экспериментов и исследовательских программ. Партнеры предоставляют друг другу необходимое оборудование и ресурсы своих сегментов (или модулей), увеличивая тем самым значимость и эффективность реализации собственных научных программ. Основные области совместного целевого использования МКС включают в себя научные исследования, летную отработку элементов и систем космической техники, а также образовательную деятельность. В контексте международного сотрудничества научные исследования на борту (независимо от их тематической направленности) принято разделять [5] на фундаментальные, проводимые в условиях микрогравитации и при воздействии иных факторов космического пространства, и прикладные, выполняемые в обеспечение будущих космических миссий. Важное место в исследованиях на МКС занимают НИОКР, осуществляемые промышленными компаниями, в сочетании с экспериментами коммерческой направленности, основной целью которых является получение какой-либо продукции (как правило, уже на Земле, с использованием результатов исследований, проведенных в космосе) и улучшение ее потребительских характеристик. Космические агентства-партнеры, и НАСА прежде всего, намерены расширить использование МКС путем облегчения доступа к ней ученым, коммерческим компаниям, бесприбыльным организациям и академическим учреждениям.

После перехода к полетам интегрированных экипажей из шести человек всеми партнерами были предприняты меры по усилению координации работ и демонстрации тех результатов исследований на МКС, которые несут очевидную пользу для человечества [2, 5]. Были выделены специфические области целевого использования МКС в интересах всего человечества, такие как медицинские исследования и внедрение космических медицинских технологий в земную медицину, наблюдения Земли, а также образовательная и гуманитарная деятельность. Достижения в этих областях и преследуемые при проведении совместных исследований цели рассматриваются как усиливающие значимость национальных научных программ партнеров на МКС, а также как важные интеграционные факторы.

Ниже приведены некоторые результаты исследований на РС МКС, значимые с точки зрения реальной пользы для человечества.

**Медико-биологические исследования** проводятся для выявления угроз и нахождения путей защиты здоровья экипажа при длительных (в том числе межпланетных) полетах. Благодаря новым знаниям, полученным при проведении на орбите медицинских экспериментов «Спрут-МБИ», «Спрут-2», «Кардио-ОДНТ», «Профилактика», «Пульс», «Сонокард», «Дыхание», «Типология», «Пневмокард», БИМС, «Фарма» и других [1, 4] (постановщиком является Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН – ГНЦ РФ ИМБП РАН), обеспечено:

- внедрение методов и средств медицинской диагностики, апробированных в космосе, в практику телемедицины и медицины катастроф;
- отработка методов реабилитации больных после длительного постельного режима;
- отработка методов восстановительной терапии для больных, страдающих пороками двигательной системы.

Разработанные методы и оборудование для контроля и оказания медицинской помощи используются в клиниках (медицинский комплекс «Гамма-1М», анализатор «Рефлотрон-4», аппаратура «Эхограф» (рис. 1), телемедицинское оборудование ТБК-1 и другие приборы). Методы восстановительной терапии для больных, страдающих пороками двигательной системы, также нашли широкое применение в медицинских учреждениях (компенсатор опорной нагрузки, миостимулятор «Стимул-01 НЧ», костюм аксиального нагружения «Регент», подошвенный имитатор опорных нагрузок «Пион» (рис. 2) и другое оборудование).

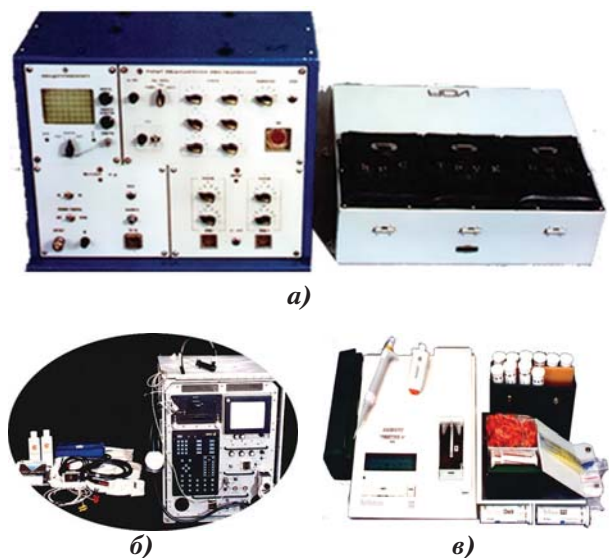


Рис. 1. Оборудование, отработанное в космосе и используемое в телемедицине и медицине катастроф: а – комплекс «Гамма-1М»; б – аппаратура «Эхограф»; в – анализатор «Рефлотрон-4»

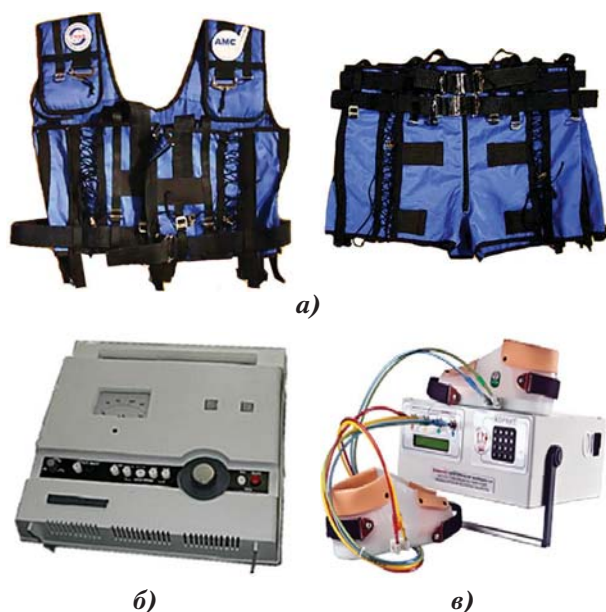


Рис. 2. Медицинское оборудование для восстановительной терапии больных, страдающих пороками двигательной системы, созданное с использованием методов, апробированных в космосе: а – костюм «Регент»; б – миостимулятор «Стимул-01 НЧ»; в – имитатор опорных нагрузок «Пион»

Аэромобильные госпитали Министерства чрезвычайных ситуаций для оказания экстренной помощи были разработаны на основе передвижного комплекса средств спасания и эвакуации экипажей на месте посадки (рис. 3).



Рис. 3. Элементы мобильного комплекса по оказанию экстренной медицинской помощи: а – ксенонный терапевтический контур КТК-01; б – переносная барокамера «Мальш»; в – аппарат для ингаляции «Ингалит»

Таким образом, основными приложениями полученных результатов являются:

- методы и оборудование диагностики и оказания медицинской помощи;
- средства профилактики и адаптации;
- методы и средства развертывания экстренной медицинской помощи.

**Биология и биотехнология.** Достижения в биологических исследованиях позволяют считать конец XX – начало XXI века «эрой биологии» [2, 5]. В течение всей истории эксплуатации МКС на Российском сегменте были проведены десятки биологических исследований, в том числе совместных с партнерами. Это широкий спектр работ, таких как выращивание кристаллов протеинов, клеточная и общая биология, физиология растений, разработка вакцин и многое другое. Вот некоторые примеры.

**Эксперимент «Биориск».** Главная цель этого эксперимента, проводимого Институтом медико-биологических проблем РАН, – исследование влияния факторов космического пространства на состояние систем «микроорганизмы–субстраты» применительно к проблеме экологической безопасности КА и планетарного карантина.

Было продемонстрировано, что эволюционно разнесенные криптобиотические и покоящиеся стадии живых существ (бактерии, грибы, животные и растения) могут избежать губительного воздействия открытого космоса даже после экспонирования в этих условиях в течение двух лет и семи месяцев (рис. 4). Это новый вклад в фундаментальные знания о пределах жизнеспособности биологических систем различного уровня организации и возможности распространения биологической формы жизни во Вселенной [1, 6]. Было также показано, что при длительном пребывании в экстремальных условиях космического пространства сохраняют свою жизнеспособность не только споры микроорганизмов, но и покоящиеся формы других организмов, стоящих в эволюционном ряду на более высоких уровнях развития (семена высших растений, личинки комара, яйца низших ракообразных), что имеет важное значение для формирования концепции планетарной защиты при межпланетных полетах.

**Эксперимент «Растения».** Эксперимент, постановщиком которого также является ГНЦ РФ – ИМБП РАН, посвящен исследованию роста и развития высших растений, а также отработке технологии их культивирования в условиях микрогравитации в оранжерее «Лада» (рис. 5).

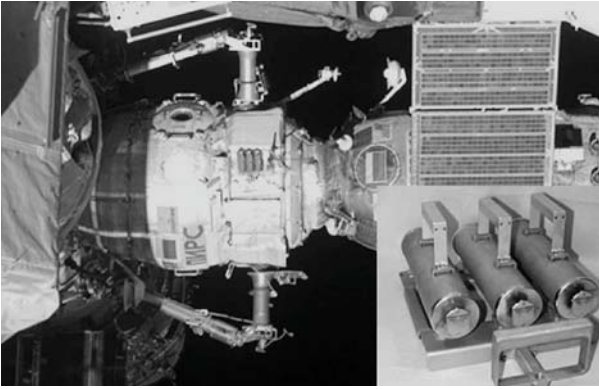


Рис. 4. Контейнеры «Биориск-МСН» для экспонирования на внешней поверхности МКС



Рис. 5. Оранжевая «Лада» на борту служебного модуля МКС

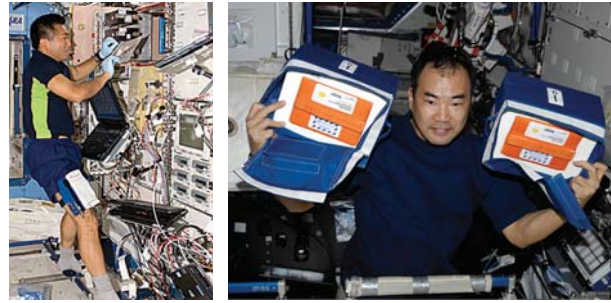
Анализ результатов по выращиванию четырех последовательных поколений гороха линии 131 показывает, что растения могут длительное время, сопоставимое с длительностью марсианской экспедиции, выращиваться в условиях космического полета без потери репродуктивных функций и формировать жизнеспособные семена [1, 7].

Наиболее важные результаты этого эксперимента:

- впервые в условиях космического полета получено четыре последовательных поколения семян генетически маркированной линии гороха;
- характеристики роста и развития растений гороха различных линий в течение полного цикла онтогенеза в оранжевой «Ладе» не изменяются по сравнению с наземным контрольным вариантом;
- впервые показано, что факторы космического полета не влияют на генетический аппарат растений в первом–четвертом «космическом» поколениях.

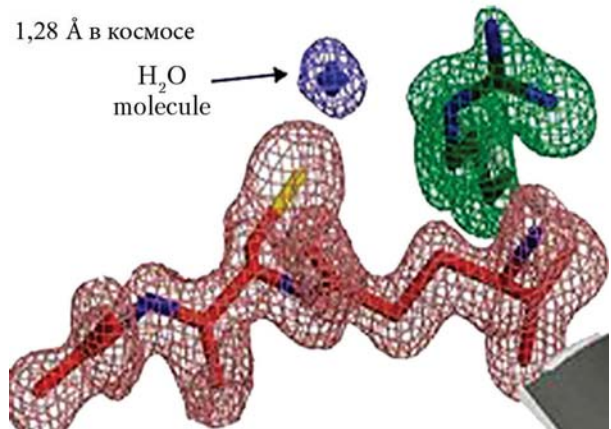
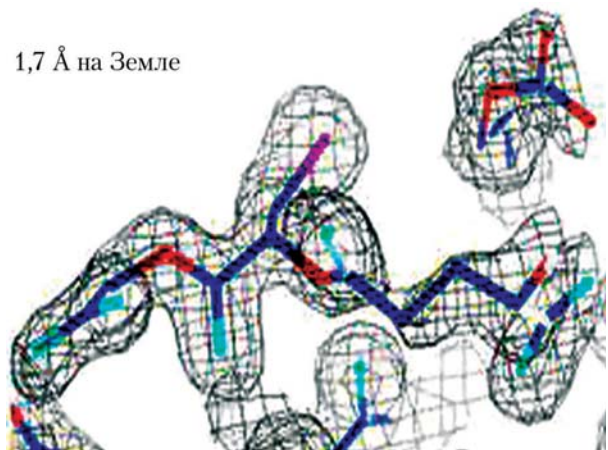
**Эксперимент «Кристаллизатор-PCG».** Главная цель эксперимента [1, 4] — получение высококачественных кристаллов протеинов в условиях микрогравитации на борту японского экспериментального модуля *Kibo* с последующим исследованием их пространственной структуры

на Земле методами рентгеноструктурного анализа с высоким пространственным разрешением (рис. 6).



а)

б)



в)

Рис. 6. Российско-японский эксперимент по высококачественной кристаллизации протеинов на МКС «Кристаллизатор-PCG»: а — установка для кристаллизации протеинов PCRF в составе стойки *Ryutai* на модуле *Kibo*; б — укладки с аппаратурой «Кристаллизатор-PCG» на борту МКС; в — электронная карта белка HQL-79, составленная при исследовании его кристаллов, полученных на Земле и на борту МКС [5, 8]

Условия реализации этого эксперимента состоят в том, что Роскосмос и JAXA обеспечивают финансирование своей части работ самостоятельно с сохранением баланса вкладов сторон в реализацию КЭ, включая научный аспект.

В результате выполнения эксперимента для российских ученых из Института кристаллографии РАН (ИК РАН) обеспечивается:

- доступ к технологии высококачественной кристаллизации протеинов методом встречной диффузии и ее освоение с использованием разработанной и изготовленной в Японии бортовой аппаратуры; освоение новых методов предполетной подготовки космического эксперимента;

- высокая производительность аппаратуры (в одном блоке *JAXA-PCG* обеспечивается кристаллизация одновременно 144 протеинов; для сравнения — в одном блоке российской аппаратуры «Модуль-1, -3» проводится обработка от 8 до 12 протеинов, а в одном блоке аппаратуры «Луч-2» — 16 протеинов) позволяет существенно расширить спектр исследований как по номенклатуре, так и по статистической значимости результатов;

- доступ к наиболее современному оборудованию для рентгеноструктурного анализа выращенных на МКС кристаллов — циклотрону *Spring-8* в Японии, обеспечивающему более высокую точность и разрешающую способность исследований (повышение разрешения даже на 0,1 Å может оказаться принципиальным для получения научно и практически важного результата).

**Наблюдения Земли.** МКС использовалась как платформа для проведения визуально-инструментальных наблюдений Земли из космоса с начала работы на ней экипажа экспедиции МКС-1 с 2000 года. За 12 прошедших лет на борту выполнен ряд важных исследований динамики атмосферы и акватории Мирового океана, наблюдений районов сельскохозяйственной деятельности, а также областей, подвергшихся воздействию природных и техногенных катастроф.

Ниже приводится ряд примеров значимых результатов (рис. 7), полученных при проведении экипажем РС МКС визуально-инструментальных наблюдений Земли.

**Эксперимент «Ураган».** Основной целью эксперимента [4, 9] являются визуальные наблюдения и съемка выбранных районов поверхности Земли с помощью цифровой фото-, видеоаппаратуры и спектрометрического оборудования, обеспечивающего различное пространственное разрешение (рис. 7, а, б). Объектами наблюдений служат области, где возможны потенциально опасные явления природного или антропогенного происхождения, которые могут привести к дальнейшему катастрофическому развитию событий с непредсказуемыми последствиями.

В настоящее время для проведения эксперимента на борту РС МКС используется фотоспектрометрическая система «Ураган ФСС» [4, 9].

Полученные результаты, прежде всего, используются для:

- исследования динамики пульсирующих ледников, линий разломов земной коры — центров землетрясений, областей экокатастроф, территорий, пострадавших от наводнений и связанных с высокой пожароопасностью, эрозии почв, процессов рекультивации земель, областей и объектов интенсивной антропогенной деятельности, воздействия на экологическую обстановку при строительстве дорог, трубопроводов, туннелей и т.д.;

- оценки эффективности мер противодействия последствиям природных катастроф.

Ярким примером оперативного применения полученных при выполнении эксперимента фотоматериалов являются данные бортовой съемки о динамике развития паводковой обстановки в г. Крымске Краснодарского края во время катастрофического наводнения в июле 2012 года (рис. 7, в). Информация с борта РС МКС была востребована при проведении поисково-спасательных операций подразделениями Министерства чрезвычайных ситуаций, а также при расследовании причин возникновения катастрофы.

**Эксперимент «Сейнер».** Цель эксперимента [1, 4] — отработка методов взаимодействия членов экипажа РС МКС с судами рыбопромыслового флота в процессе поиска и освоения рыбопродуктивных акваторий Мирового океана. Визуально-инструментальные наблюдения на МКС с использованием цифровых фотокамер координируются по месту и времени проведения с судовыми измерениями гидробиологических (первичная продукция) и оптических (хлорофилл) индикаторов в тестовой акватории с последующей оперативной передачей на Землю результатов измерений (рис. 7, г, д).

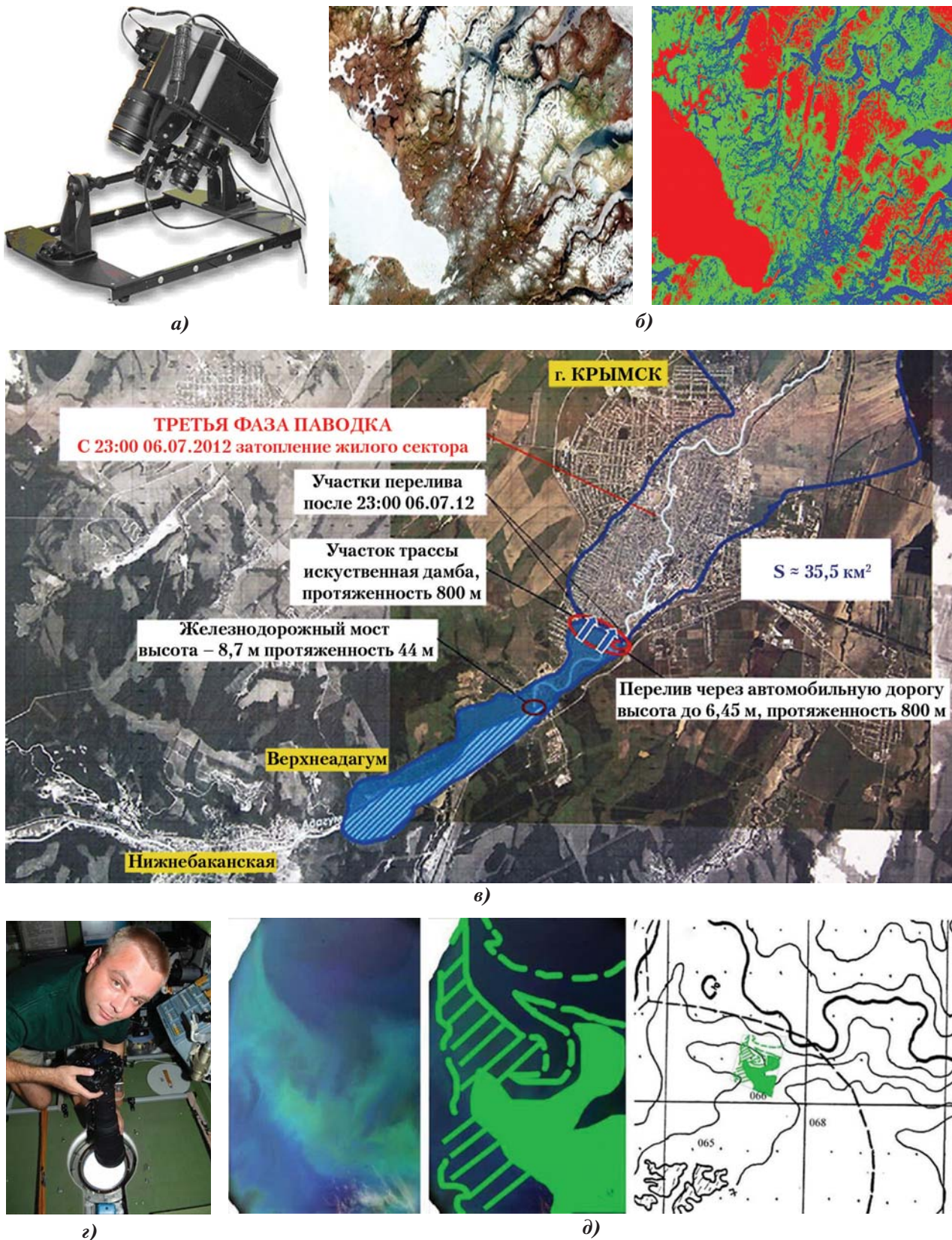
К основным приложениям полученных результатов относятся:

- наблюдение вод Мирового океана в полосе географических широт  $\pm 54^\circ$  с целью поиска и определения текущих координат рыбопродуктивных акваторий;

- регистрация формы, структуры и морфометрических характеристик цветовых контрастных образований, наблюдаемых из космоса в определенных рыбопродуктивных акваториях океана;

- географическая привязка изображений, полученных при наклонном безориентированном фотографировании акваторий.





**Рис. 7. Визуально-инструментальные наблюдения Земли на РС МКС:** а – фотоспектрометрическая система «Ураган-ФСС», оснащенная специальным механическим интерфейсом для ее установки у иллюминатора СМ; б – цифровое изображение земной поверхности в естественных и условных цветах после обработки с использованием спектральной информации; в – пример оперативной съемки с борта МКС зоны затопления во время катастрофического наводнения в г. Крымске Краснодарского края в июле 2012 г.; г – проведение эксперимента «Сейнер» с помощью цифрового фотографического оборудования (М. Сураев, МКС-21/22); д – примеры цветоконтрастных образований, которые отражают процесс формирования полей фитопланктона в зонах взаимодействия вод Фолклендского течения и вод шельфовой зоны Фолклендских островов: снимок юго-восточного сектора Атлантики, сделанный членами экипажа МКС 10 января 2010 г. и выявленные поля фитопланктона

На основе данных космической съемки во ФГУП «ВНИРО» выполняются подготовка и анализ данных для создания информационной базы температурных условий основных промышленных районов Мирового океана, осуществляется комплексное дешифрирование полученных материалов для выработки рекомендаций при планировании научно-поисковых и промышленных экспедиций рибодобывающих компаний.

Только за период экспедиций МКС-29–32 (2011–2012 годы) на основании данных фотосъемки, выполненной членами экипажей РС МКС, в общей сложности построено 245 недельных карт температуры поверхности океана (ТПО). Для комплексного анализа материалов эксперимента «Сейнер» построено 150 долгопериодных карт анализа ТПО (среднемесячных, карт аномалий, тенденций, разницы и градиентов ТПО). При отсутствии в настоящее время научно-исследовательских российских экспедиций в отдаленных, перспективных для промысла районах Мирового океана информационная база, накопленная в процессе выполнения эксперимента «Сейнер», является единственным достоверным источником данных о текущем состоянии поверхностного слоя исследуемых акваторий, о распределении гидробиологических параметров, которые влияют на промысловую обстановку.

**Физические эксперименты.** На орбите существует возможность исключить или ограничить действие гравитации как экспериментального фактора при проведении исследований в области физических наук. Эти исследования ранжируются в широком диапазоне, от физики жидкости и горения до физики элементарных частиц. В течение последних лет, благодаря наличию на борту обоих сегментов МКС высокотехнологичных комплексов научного оборудования для исследований поведения жидкости, процессов горения, для материаловедческих экспериментов, увеличилось количество физических экспериментов, выполняемых партнерами в рамках как национальных, так и совместных исследовательских программ. Из всего многообразия полученных значимых результатов в этой области исследований приведем лишь два примера (рис. 8).

**Эксперимент «Плазменный кристалл».** Основная цель эксперимента – исследование плазменно-пылевых кристаллов и жидкостей в условиях микрогравитации. Он проводится в течение 11 лет и является примером плодотворного сотрудничества ученых многих стран, прежде всего, России (Объединенный институт высоких температур РАН – ОИВТ РАН), Германии и Франции [1, 4, 5, 10].

Экспериментальная установка «Плазменный кристалл-3 Плюс» (рис. 8, а) позволяет

ученым изучать процессы кристаллизации и плавления в пылевой плазме в условиях микрогравитации, непосредственно наблюдая эти явления (рис. 8, б) [8]. В состав научной аппаратуры входят экспериментальный блок, турбонасос для откачки из него газа и два видеоманитофона *TEAC*, являющихся частью оборудования для выполнения эксперимента в режиме «теле-сайенс». Видеозаписи процесса формирования плазменных кристаллов, наряду с такими физическими параметрами, как давление газа, мощность высокочастотного излучения и размер пылевых частиц, передаются на Землю для анализа.

Наиболее существенные результаты эксперимента следующие:

- впервые обнаружено формирование трехмерных упорядоченных структур сильно заряженных частиц микронного размера с большим параметром неидеальности (трехмерный плазменный кристалл);
- открыто одновременное сосуществование гранецентрированных и гексагональных структур;
- обнаружены нелинейные волны плотности пылевой компоненты;
- обнаружено конвективное движение заряженных макрочастиц в плазменной жидкости.

Потенциальные приложения этих результатов лежат в области нанотехнологий (очистка, осаждение, сепарация), производства новых материалов и покрытий, термоядерного синтеза (удаление пылевых частиц из зоны реакции), разработки перспективных лазеров (рабочее тело из аэрозоля радиоактивных частиц) и др.

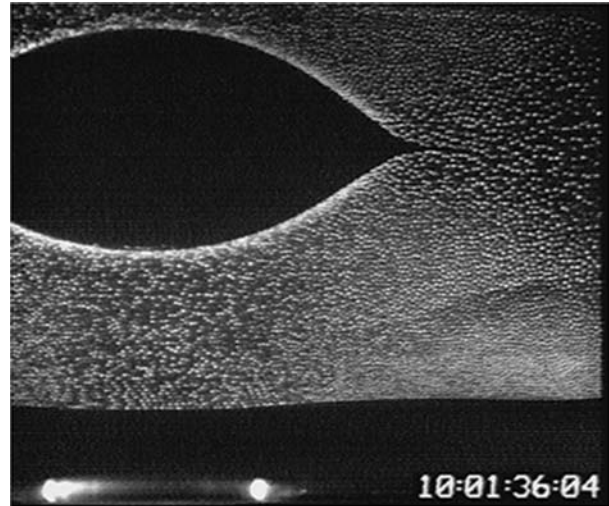
**Эксперимент «БТН-Нейтрон».** Основная цель эксперимента, проводимого Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН) – комплексное исследование радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, выявление ее взаимосвязи с солнечной активностью, состоянием магнитосферы и ионосферы Земли [1, 4, 10]. Ее решение имеет большое практическое значение для разработки новых образцов космической техники и для земных приложений, прежде всего в области здравоохранения.

За время проведения эксперимента «БТН-Нейтрон» (рис. 8, в) получены следующие основные результаты:

- измерена последовательность энергетических спектров отсчетов во всех детекторах прибора со временем экспозиции 60 с, которая привязана к Всемирному времени;
- измерены профили интегральных темпов счета во всех детекторах прибора с разрешением 60 с, привязанные к Всемирному времени;
- построены карты нейтронного излучения на орбите МКС с пространственным разрешением  $5 \times 5^\circ$  по долготе и широте в географических координатах.



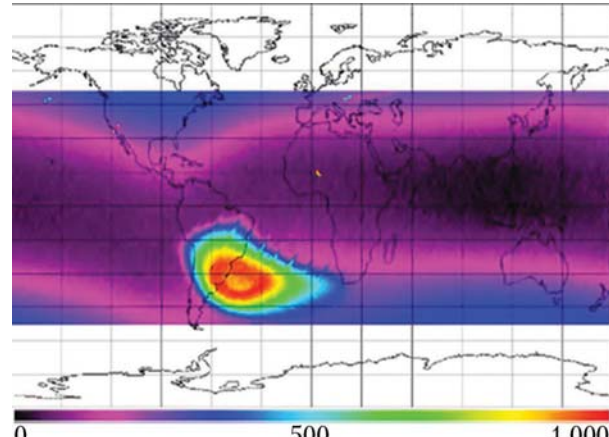
а)



б)



в)



г)

**Рис. 8. Физические эксперименты на РС МКС:** а – проведение эксперимента «Плазменный кристалл» (С. Волков, МКС-27/28) с научной аппаратурой «ПК-3 Плюс»; б – пример формирования плазменно-пылевой кристаллической структуры в рабочей камере; в – установка аппаратуры эксперимента «БТН-Нейтрон» на внешней поверхности РС МКС (М. Творин, МКС-14); г – карта скорости счета быстрых нейтронов в энергетическом диапазоне от 400 КэВ до 10 МэВ

На рис. 8, г в качестве примера приведена одна из карт скорости счета нейтронов в заданном энергетическом диапазоне.

Задачей эксперимента «БТН-Нейтрон-2» (2015 г.) являются комплексные измерения энергетического спектра и временной переменности нейтронов на внешней поверхности (действующая аппаратура БТН-М1) и внутри РС МКС (разрабатываемая аппаратура БТН-М2). Основная идея, заложенная в конструкцию аппаратуры БТН-М2, состоит в размещении блока детектирования нейтронов и гамма-лучей внутри объема, который может быть окружен различной комбинацией съемных поглощающих экранов.

Стоит также отметить, что в результате других значимых работ, проводимых ИКИ РАН, в 2013 году на РС МКС будет доставлена аппаратура «Плазменно-волновой комплекс», разработанная в сотрудничестве с научными ор-

ганизациями шести стран и предназначенная для проведения эксперимента «Обстановка» по комплексному исследованию плазменно-волновой среды на орбите МКС [4, 8].

**Технические эксперименты и космическое образование.** Необходимо упомянуть и другие области исследований на МКС (и на Российском сегменте, в частности), в которых получены важные практические результаты.

Орбитальная лаборатория наиболее приспособлена для отработки разнообразных новых технологий, которые могут быть использованы в интересах будущих космических миссий и иметь «земные» приложения. В течение последних 12 лет на РС МКС выполнено почти 50 технических экспериментов — это широкий спектр исследований от экспериментов по отработке робототехнических устройств до апробирования новых методов мониторинга окружающей среды и новых технологий получения изображений.

Чрезвычайно интересной и перспективной областью целевого использования РС МКС при проведении технических исследований является отработка технологий предполетной подготовки и запуска микро-, нано- и пикоспутников с использованием транспортно-технической структуры МКС. На Российском сегменте было успешно выполнено семь экспериментов такого рода [1, 4]. Последние яркие примеры — запуск с борта грузового корабля «Прогресс» и успешная эксплуатация на орбите научного микроспутника «Чибис-М», разработанного ИКИ РАН [4, 8], а также запуск экипажем МКС при проведении внекорабельной деятельности (Г. Падалка, экспедиция МКС-31/32) микроспутника «Сфера» для геофизических исследований [4].

Научная и инженерная деятельность на МКС предоставляет много возможностей для решения образовательных задач [4, 5]. Образовательные эксперименты призваны стимулировать интерес учащихся и студентов всех возрастов к естественным наукам и математике, технике, образовательным проектам, что является общей целью деятельности всех агентств-партнеров.

Ожидания российских ученых в отношении перспективы будущих исследований связаны с введением в строй нового поколения модулей РС МКС с их улучшенными пользовательскими характеристиками.

### Многоцелевой лабораторный модуль

Многоцелевой лабораторный модуль «Наука» станет наиболее оснащенной российской научной лабораторией на МКС. В 2013 году МЛМ должен заменить СО1 на надирном стыковочном узле СМ, завершив первый этап сборки РС МКС. Модуль предоставит новые возможности для установки научного оборудования как существующего, так и последующих поколений [2–4]. Основное назначение МЛМ — качественное и количественное наращивание технических и ресурсных возможностей РС МКС для реализации программ НПИ с использованием усовершенствованных универсальных рабочих мест внутри и на внешней поверхности модуля. Принципиальным для РС МКС новшеством станет целевое применение современных робототехнических систем (манипулятора *ERA*, автоматизированной шлюзовой камеры) и предоставление беспрецедентных возможностей по хранению грузов. После введения МЛМ в состав Российского сегмента будет обеспечена возможность его дальнейшего развития — интеграции модулей «второго этапа» [3, 4].

Многоцелевой лабораторный модуль — научная лаборатория для проведения экспериментов по большинству определенных ДП НПИ направлений исследований. Внутренние УРМ организованы с использованием стоек для элементов КЦН российской разработки, которые позволят интегрировать требуемое количество научной аппаратуры, включая полезные нагрузки, разработанные международными партнерами с использованием стандартов АС МКС для установки в стойки *EXPRESS*, и заменять их в полете после завершения эксперимента (полномасштабная реализация метода сменных полезных нагрузок). То же справедливо и для внешних УРМ.

В состав гермоотсека МЛМ входит 14 внутренних УРМ и шесть мест хранения элементов КЦН (рис. 9), которые создаются с использованием пространства за панелями интерьера модуля (места хранения при необходимости могут быть реорганизованы в УРМ). Они оснащаются целевым оборудованием, таким как перчаточный бокс; высоко- и низкотемпературные инкубаторы для биологических и биотехнологических исследований; универсальная многозонная вакуумная печь для экспериментов в области космического материаловедения; усовершенствованная поворотная виброзащитная платформа для предохранения целевых нагрузок от бортовых вибраций при проведении экспериментов. В состав модуля входят УРМ, оснащенные механическими адаптерами для установки элементов КЦН в модифицированные (в сравнении с используемыми на МИМ1) [3] механические адаптеры-стойки с выдвижными модуль-полками (рис. 9). Одно из рабочих мест в МЛМ, размещенное вблизи прозрачного для УФ излучения иллюминатора диаметром 426 мм, предназначено для экспериментов по наблюдению Земли и геофизике.

Внешние УРМ на МЛМ (до тринадцати) организованы с использованием существующих и проверенных на СМ, СО1 и МИМ2 методов и технических средств. Они используют все многообразие внешних механических интерфейсов, отработанных на РС МКС: УРМ-Д [3], ферменные конструкции различных типов, базовые точки манипулятора *ERA*, магнитомеханические замки, замки для установки аппаратуры на поручнях и т.д. (см. рис. 10). Новыми компонентами системы обслуживания внешних полезных нагрузок станут шлюзовая камера и манипулятор *ERA*, которые будут использоваться в дополнение к работе экипажа по интеграции полезных нагрузок на внешней поверхности МЛМ во время внекорабельной деятельности.

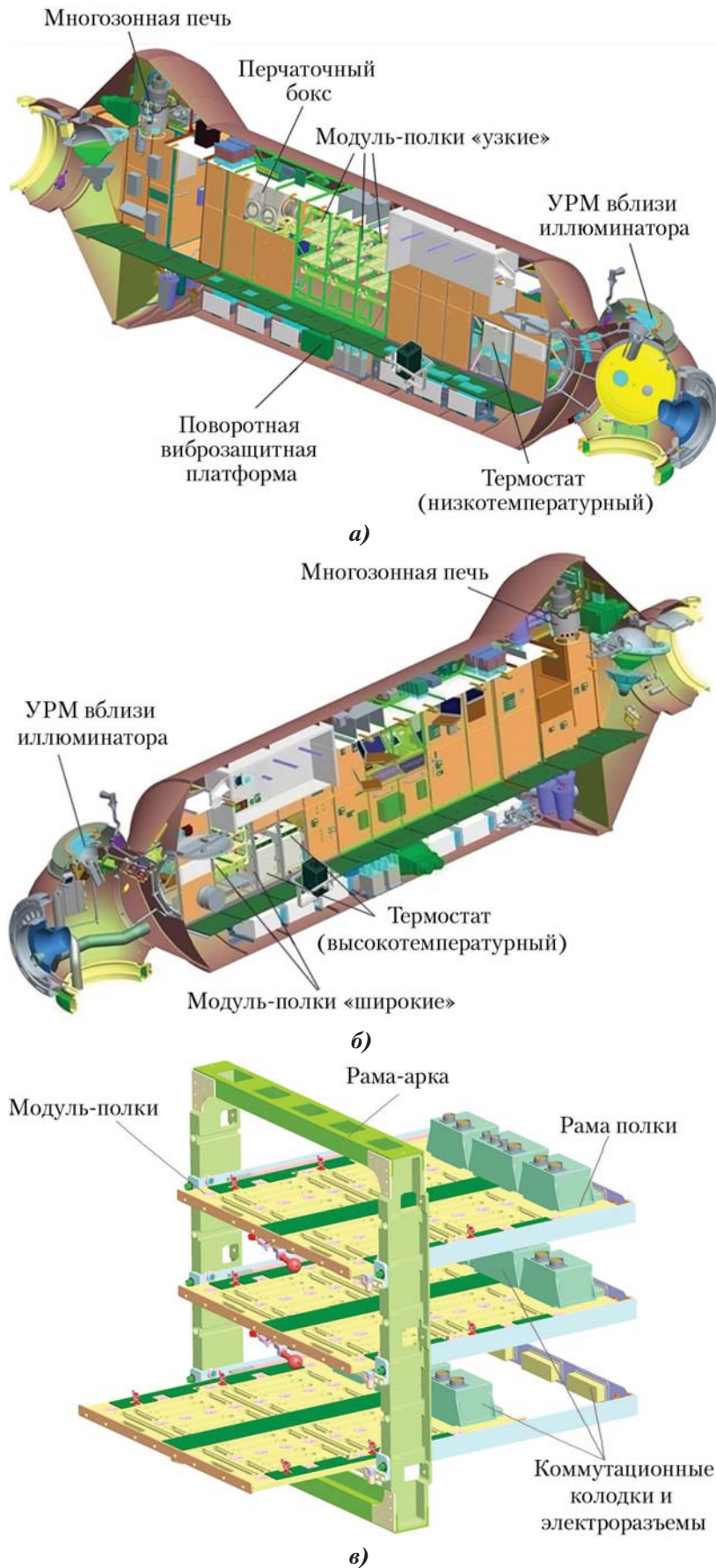


Рис. 9. Размещение целевого оборудования в МЛМ: а – правый борт; б – левый борт; в – усовершенствованная стойка МЛМ с выдвижными модуль-полками

Научное оборудование МЛМ будет доставляться преимущественно транспортными грузовыми кораблями «Прогресс».

Как уже отмечалось, на МЛМ может быть обеспечено размещение и функционирование любых типов полезных нагрузок, которые позволят проводить исследования в любых направлениях на РС МКС за исключением направлений (5) «Исследования Солнечной системы» и (9) «Астрофизика и фундаментальные физические проблемы» из ДП НПИ (версия 2008 года), поскольку положение модуля на орбите в составе МКС не позволяет выполнять наблюдения в верхней полусфере.

### Планы целевого использования РС МКС

Следующий (второй) этап целевого использования РС МКС связан с запуском, интеграцией в состав орбитального комплекса и эксплуатацией еще трех российских модулей – узлового и научно-энергетических (НЭМ1 и НЭМ2).

Узловой модуль (УМ), имеющий шесть стыковочных портов, должен быть доставлен к МКС и будет пристыкован к надирному порту МЛМ в качестве многоцелевого адаптера для модулей РС МКС следующего поколения. Модуль с герметичным объемом 19 м<sup>3</sup> и усовершенствованной системой обеспечения теплового режима имеет сферический корпус диаметром 3,3 м, оснащенный активными и адаптивными стыковочными узлами (рис. 10).

Два научно-энергетических модуля должны стать наиболее сложными и современными элементами РС МКС. Имея массу при запуске 21 т и объем герметичных отсеков 94 м<sup>3</sup> каждый, после стыковки с УМ они завершат процесс сборки Российского сегмента МКС (согласно текущим планам – не ранее 2017 года).

Модули будут оснащены высокоэффективными солнечными батареями, установленными в двухступенном подвесе и производящими совместно до 24 кВт электроэнергии. Беспрецедентно большой (для российских модулей традиционной конструкции) герметичный объем НЭМ позволит обеспечить интеграцию любых типов научной аппаратуры и оборудования, которые могут доставляться российскими транспортными кораблями «Союз» и «Прогресс». НЭМ рассматривается как базовый элемент серии космических комплексов для будущих пилотируемых полетов за пределы низкой околоземной орбиты.

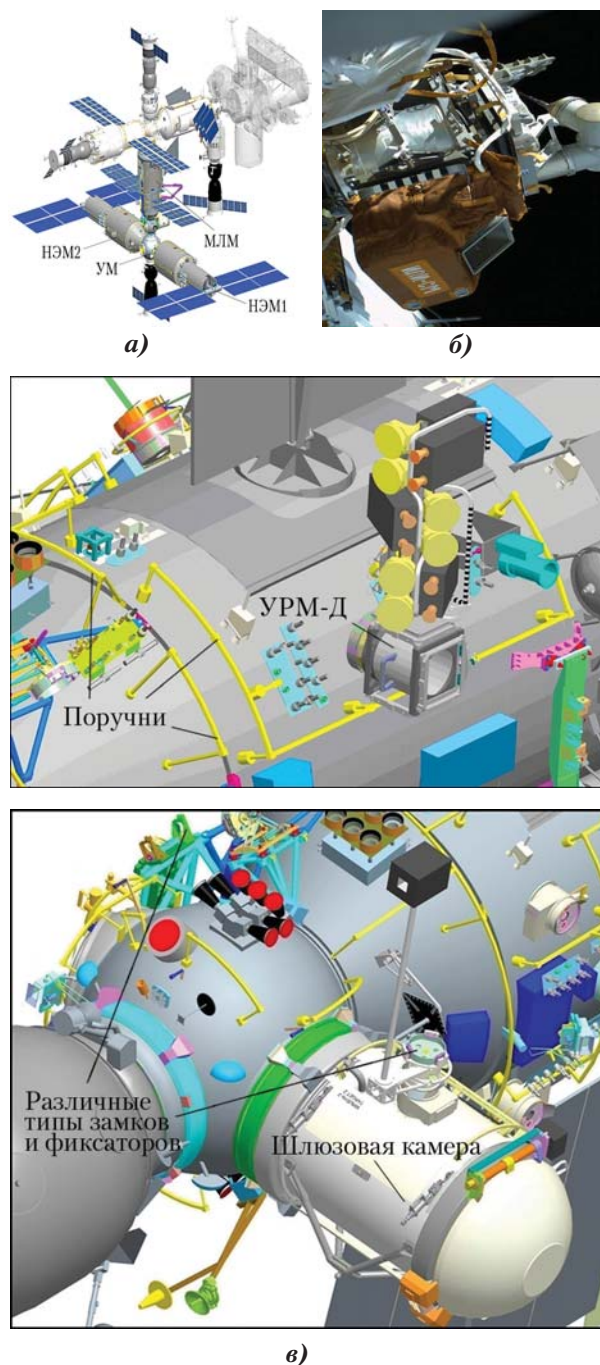


Рис. 10. Многоцелевой лабораторный модуль как основа для дальнейшего развития РС МКС: а – РС МКС «второго этапа» с МЛМ, УМ, НЭМ1 и НЭМ2 в составе; б – пример размещения научной аппаратуры на УРМ-Д в составе СМ (аппаратура «Роботик», ИПИ-СМ, 2009 г.); в – элементы внешних УРМ на МЛМ

Главной задачей при целевом использовании новейших модулей будет отработка технологий в интересах будущих пилотируемых космических полетов [11]. Среди них разработка и создание:

- регенеративных систем жизнеобеспечения;
- отказоустойчивых компьютеров;
- усовершенствованных систем производства и распределения электроэнергии;

- электроракетных двигателей;
- робототехнических средств, систем и операций с их использованием;
- средств технической поддержки пилотируемых полетов;
- усовершенствованных систем связи и навигации;
- усовершенствованных систем автономного сближения и стыковки;
- систем медицинского контроля и защиты здоровья экипажа нового поколения;
- космических скафандров нового поколения;
- жилых модулей с улучшенными характеристиками;
- других систем и средств.

С точки зрения наращивания потенциала целевого использования РС МКС, принимая во внимание технические и ресурсные возможности его новых модулей, а также высокий уровень научно-технической кооперации с партнерами по программе, в ряду наиболее значимых перспективных проектов рассматриваются:

- проведение на борту своего рода продолжения международного эксперимента «Марс-500» по длительному пребыванию человека в космосе с использованием вновь разрабатываемой регенеративной системы жизнеобеспечения (в конце 2012 года Роскосмосом и НАСА принято принципиальное решение о выполнении в 2014 году пилотируемой экспедиции на МКС российско-американского экипажа продолжительностью один год);
- разработка в международной кооперации (в рамках созданной партнерами специальной Экспертной рабочей группы) программы летной отработки на МКС «комплекта» новых технологий, которые могут быть использованы для полетов за пределы низкой околоземной орбиты;
- разработка сценариев использования МКС как сборочного комплекса для пилотируемых космических кораблей, предназначенных для осуществления дальних космических миссий.

В настоящее время также рассматривается вопрос об использовании модулей РС МКС «второго этапа» в качестве элементов будущих пилотируемых комплексов.

Новые модули могут быть использованы и как компоненты МКС, и/или как основа для строительства новой орбитальной станции (после отделения новых элементов РС МКС от станции на конечном этапе ее существования).

Концепция заменяемых модулей является ключевой позицией для решения задачи продления полета МКС до 2028 года.

## Заключение

За время эксплуатации Российского сегмента МКС был получен ряд значимых научных и технических результатов практически по всем направлениям исследований, предусмотренным Долгосрочной программой НПИ (версии 2008 и 2012 годов). Среди них, руководствуясь критериями «польза для человечества» и «фундаментальная научная значимость», можно выделить следующие направления:

- медико-биологические исследования — разработка методов и средств медицинской диагностики, апробированных в космосе и внедренных в практику телемедицины и медицины катастроф; методы реабилитации больных после длительного постельного режима, средства профилактики и адаптации; методы и средства восстановительной терапии для больных, страдающих пороками двигательной системы;
- биология и биотехнология — получение фундаментальных знаний о пределах жизнеспособности биологических систем различного уровня организации и возможности распространения биологической формы жизни во Вселенной, а также о том, что факторы космического полета не влияют на генетический аппарат и процесс развития растений, по крайней мере, в первом–четвертом «космическом» поколениях; разработка методов и оборудования для выращивания высококачественных кристаллов протеинов в условиях микрогравитации с последующим получением на основе исследования их молекулярной структуры новых эффективных лекарственных препаратов;
- наблюдения Земли — создание системы визуально-инструментальных наблюдений Земли из космоса для оценки эффективности мер противодействия последствиям природных катастроф и для экологического контроля районов интенсивной антропогенной деятельности; разработка методов поиска и освоения рыбопродуктивных акваторий Мирового океана в процессе взаимодействия членов экипажа РС МКС с судами рыбопромыслового флота;
- физические исследования — получение фундаментальных результатов в цикле исследований плазменно-пылевых кристаллов и жидкостей в условиях микрогравитации; выполнение комплексного исследования радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, выявление ее взаимосвязи с солнечной активностью, состоянием магнитосферы и ионосферы Земли, построение детальных карт нейтронного излучения на орбите МКС;
- технические эксперименты — отработка комплекса новых технологий для совершенствования космической техники и

использования для полетов за пределы низкой околоземной орбиты; отработка методов и средств предполетной подготовки и выведения микро-, нано- и пикоспутников с использованием транспортно-технической инфраструктуры РС МКС;

- космическое образование – разработка принципиально новых подходов к организации образовательного процесса в вузах и школах с использованием данных космических экспериментов и с непосредственным участием в нем экипажа РС МКС.

В процессе целевого использования РС МКС идет накопление новых фундаментальных знаний, а полученные в космосе результаты научных исследований используются не только для совершенствования космической техники и технологий, но и внедряются в промышленное производство на Земле [2, 5–10]. Реализация образовательных программ на МКС стала серьезным стимулом для вовлечения молодежи в космические исследования и промышленность. Продолжающееся строительство РС МКС поддерживает его в состоянии динамически развивающейся обновляемой сложной технической системы. В состав сегмента интегрируются новые модули, обладающие улучшенными техническими характеристиками, оснащаемые современным высокотехнологичным бортовым оборудованием для обеспечения функционирования любых типов научной аппаратуры с последовательным расширением применения метода сменных полезных нагрузок. В ходе этого процесса постановщикам экспериментов предоставляется все больше технических и ресурсных возможностей для проведения исследований, что позволяет на постоянной основе обеспечивать повышение эффективности целевого использования сегмента.

Научный потенциал РС МКС, формируемый с использованием современных адаптивных технологий и технических средств, имеет стабильную перспективу развития в текущем десятилетии.

### Список литературы

1. Координационный научно-технический совет по программам научно-прикладных исследований на пилотируемых космических комплексах. Направления исследований.

URL: <http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Default.aspx> (28.12.2012).

2. *Thumm T., Robinson J., Johnson-Green P., Buckley N., Karabadzak G., Nakamura T., Sorokin I., Zell M., Sabbagh J.* International Space Station Research for the Next Decade: International Coordination and Research Accomplishments. IAC Paper IAC-11.B3.1.5. 2011.

3. *Марков А.В., Сорокин И.В.* Малые исследовательские модули МКС – для российской науки // Полет. 2011. № 2. С. 3–12.

4. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева в первом десятилетии XXI века (2001–2011). М.: РКК «Энергия», 2011. С. 103–152.

5. *Dietel M., Feuerbacher B., Fortov V., Hart D., Kennel C., Korablev O., Mukai C., Pettit D., Sawaoka A., Suedfeld P., Ting S., Wolf P.* The Era of International Space Station Utilization: Perspectives on Strategy From International Research Leaders. NASA/NP-2010-03-003-JSC. 2010. P. 42.

6. *Novikova N., Gusev O., Polikarpov N., Deshevaya E., Levinskikh M., Alekseev V., Okuda T., Sugimoto M., Sychev V., Grigoriev A.* Survival of dormant organisms after long-term exposure to the space environment // Acta Astronautica. 2011. № 68. P. 1574–1580.

7. *Sychev N., Levinskikh M., Gostimsky S., Bingham G., Podolsky I.* Spaceflight effects on consecutive generations of peas grown onboard the Russian segment of the International Space Station // Acta Astronautica. 2007. № 60. P. 426–432.

8. *Johnson-Green P., Zell M., Nakamura T., Robinson J., Karabadzak G., Sorokin I.* Research in Space. Facilities on the International Space Station. NP-2009-08-604-HQ. NASA. 2009. P. 62.

9. *Беляев М.Ю., Десинов Л.В., Котляков В.М., Юрина О.А.* Съёмка Земли из космоса: задачи, проблемы, перспективы: Сб. статей под ред. В.П. Легостаева, М.Ю. Беляева // Ракетно-космическая техника. Серия XII. Вып. 1–2. Королев: РКК «Энергия», 2011. С. 181–205.

10. *Зеленый Л.М.* Космическая наука: состояние, проблемы, перспективы // Полет. 2005. № 1. С. 3–10.

11. *Лопота В.А.* Космическая миссия поколений XXI века // Полет. 2010. № 7. С. 3–12. *Статья поступила в редакцию 13.02.2013 г.*