5 раздел

Результаты научных исследований, полученные российскими учеными и специалистами в ходе реализации летных научных программ на борту МКС

СОДЕРЖАНИЕ

1. Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ИРЭ РАН)

2. Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН (ИМБП РАН)

5.1. Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ИРЭ РАН)

В этом подразделе приведены сведения о результатах космических экспериментов (КЭ) по исследованию Земли из космоса (ИЗК), выполнявшихся на РС МКС в 2016-2017гг: «Дубрава», «Напор-миниРСА», «Ураган», «Сценарий».

5.1.1. КЭ «Дубрава»

Название КЭ:Мониторинг лесных экосистем

Постановщик: Мытищинский филиал ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана

Цель эксперимента: Отработка методов инвентаризации лесов, определения воздействий на лесной покров природных и техногенных факторов и лесохозяйственной деятельности с борта МКС с использованием визуально-инструментального и спектрометрического мониторинга, на последующих этапах эксперимента с использованием гиперспектральной и инфракрасной аппаратуры.

КЭ «Дубрава» осуществлялся в ходе пилотируемых экспедиций 2017 года. В ходе этих экспедиций получено более 1,95 ГБ информации (фотоснимики и сопроводительная информация). Определены предпочтительные условия для планирования съёмок наземных объектов, кроме ранее заявленных. Рассмотрены возможности расширения географии наблюдаемых объектов лесных экосистем с учётом наличия наземной информации. Кроме наблюдения опытного Теллермановского лесничества, проведены сеансы наблюдений национального парка Эмас (Бразилия, лесистые саванны), Монтеверде (Канарские острова, вечнозеленые лиственные леса), Онколь (Чили, вальдивские леса) с использованием спектрометричекой аппаратуры «Видеоспектральная система» (ВСС) и фотоаппаратуры.

Проведена оценка качества полученных данных для возможности дешифрирования снимков под задачи КЭ. Большинство снимков имеют разрешение и уровень облачности, не позволяющие опознать целевой объект. На снимках без таких дефектов проведено предварительное дешифрирование лесные массивов с выделением их границ (национальный парк Онколь (Чили, вальдивские леса. Объект «Теллермановское лесничество» во всех сеансах съемки полностью скрыт облачностью, серия не пригодна ни для спектрального анализа объекта изучения, ни для юстировки объективов.

Публикации по КЭ «Дубрава»

1. *Санаев В.Г. Ускоренное инновационное развитие технологий аэрокосмического мониторинга леса средствами российской космической системы ДЗЗ и вывод их на лидирующие позиции в мире: решение проблемы / В.Г. Санаев, И.М. Степанов, В.И. Запруднов и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 4(87).*
2. *Галкин Ю.С., Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шмаленюк А.С. Моделирование ослабления радиоволн лесным пологом в глобальной модели радиоизлучения земной поверхности в L- и P- диапазонах Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2007. № 2. С. 90-98.*
3. *Галкин Ю.С., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Потапов В.Н., Семенова В.П., Эсеналиев Ч.Д. Особенности применения лесотаксационной информации при тестировании космических снимков Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2010. № 7. С. 37-39.*
4. *Галкин Ю.С., Потапов В.Н. Метод обработки информации с гиперспектрометров при дешифровке объектов аэрокосмического мониторинга Доклады V Всероссийской конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве» - М.: ЦЭПЛ РАН, – 2013. – с. 115-119*
5. *Черемисин М.В., Бурков В.Д., Шалаев В.С. Применение методов дистанционного мониторинга в оптическом и СВЧ диапазонах на этапах моделирования лесных экосистем / Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – №7 (83). – с. 41-50.*
6. *Черемисин М.В., Бурков В.Д., Леонов Л.В., Шалаев В.С. Метод мониторинга лесов на основе дистанционно-ориентированных выделов / Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. - №4 (87). – с. 127-136*
7. *Черемисин М.В., Бурков В.Д. Аэрокосмический мониторинг лесов на основе дистанционно-ориентированных выделов средствами оптических и радиолокационных данных ДЗЗ / Доклады V Всероссийской конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве» - М.: ЦЭПЛ РАН, – 2013. – с. 221-223*
8. *Черемисин М.В., Бурков В.Д. Глобальный мониторинг лесов оптическими и СВЧ средствами ДЗЗ / Сборник научных статей докторантов и аспирантов МГУЛ. – Выпуск 357. – 2012. – с. 14-26.*

5.1.2. КЭ «Напор-миниРСА» (СОТ)

Название КЭ: Экспериментальная отработка технологии малогабаритного радиолокатора с синтезированной апертурой на основе микрополосковых активных фазированных антенных решеток в интересах решения задач природопользования, экологического контроля и мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Постановщик:ПАО РКК «Энергия»

Цель эксперимента для СОТ: Отработка системы оптических телескопов для получения и передачи с борта служебного модуля через РСПИ на наземные приемные

станции видеоизображений подстилающей поверхности Земли (в т.ч. получение видеоизображений тестовых участков, синхронных с радиолокационными) для обеспечения потребностей российских и зарубежных организаций.

Состав научной аппаратуры СОТ:

- моноблок камеры высокого разрешения HRC,
- моноблок камеры среднего разрешения MRC.

В ходе пилотируемых экспедиций 2016 и 2017 годов в рамках КЭ «Напор-миниРСА» (СОТ) были проведены:

- съемки тестовых полигонов (РКК «Энергия»),
- штатные съемки, приостановленные с февраля 2017г (компания «UrtheCast».

Практическое использование результатов по СОТ возможно только после подключения российского оператора к работе с СОТ, что в отчетный период не было реализовано.

5.1.3. КЭ «Ураган»

Название КЭ:Экспериментальная отработка наземно-космической системы мониторинга и прогноза развития природных и техногенных катастроф.

Постановщик:**ПАО РКК «Энергия»**

Цели эксперимента:

- наблюдение и регистрация развития катастрофических явлений с борта РС МКС и разработка критериев классификации и дешифрирования признаков катастрофических явлений. Получение новых экспериментальных данных с помощью НА ФСС при проведении спектральных измерений высокого разрешения подстилающих поверхностей с пространственной интерполяцией для научного и практического использования в условиях дальнейшего развития системы дистанционного зондирования Земли;
- отработка технических средств и методов наблюдения поверхности Земли с борта российского сегмента международной космической станции в условиях реальных ограничений, обусловленных баллистическими условиями полета МКС, режимом труда и отдыха экипажа, ресурсами времени экипажа, погодными условиями и условиями освещенности в районе съемки.

В ходе пилотируемых экспедиций 2016 и 2017гг. КЭ «Ураган» проводился в соответствии с программами реализации научно–прикладных исследований, планируемых пилотируемых экспедиций.

Решались следующие задачи:

- проведение визуальных наблюдений подстилающей земной поверхности по исходным данным, передаваемым в радиограммах, с регистрацией процессов развития катастрофических явлений с помощью фотоаппаратуры;
- регистрация данных научной аппаратурой «Фотоспектральная система» (ФСС) и «Видеоспектральная система» (ВСС) в сеансах наблюдения поверхности Земли с борта РС МКС;
- оперативный сбор и передача информации о катастрофических природных явлениях с борта МКС на Землю.

В ходе пилотируемых экспедиций экипаж выполнял визуальные наблюдения и съемку заданных районов Земли с потенциально опасными проявлениями природного и техногенного характера фотоаппаратурой с разным разрешением на местности.

Продолжена отработка взаимодействия с участниками эксперимента по реализации оперативного получения информации по радиоканалу с борта РС МКС для оценки размеров и характера разрушений, вызванных природными и техногенными чрезвычайными событиями с возможным прогнозированием развития ситуации.

Экипаж выполнял визуальные наблюдения и проводил фотосъемку заданных районов Земли полноформатными зеркальными цифровыми фотокамерами Nikon D4, Nikon D3X и Nikon D800 с эффективным числом пикселей матрицы 16 млн., 24,5 млн. и 36 млн. соответственно. Максимальной детальности при съемках земной поверхности с РС МКС можно добиться, используя фотоаппарат Nikon D800, объектив AF-S Nikkor 600mm f/4 и телеконверторы Nikon TC-20E и Nikon TC-17E, дающие совместно фокусное расстояние в 1200 мм и 1000 мм соответственно. В 2017 году запланирована доставка новой зеркальной цифровой фотокамеры Nikon D5.

При съемке цифровыми фотоаппаратами также использовались длиннофокусные объективы AF-S Nikkor 400mm и SIGMA AF 300-800 F/5.6 из состава фотооборудования КСПЭ.

Большая часть фотосъемок проведена не в надир (не в подспутниковую точку), а при наклонной дальности 450-600 км. Максимальное расчетное разрешение для доставленного фотооборудования - 1,6 м/пиксель. Максимально достигнутое разрешение на местности – около 2 м.

Съемка объектов проводилась через надирные иллюминаторы №7-№9 СМ космонавтами с рук, без использования специальных технических средств фиксации фотоаппаратуры.

По запросу куратора КЭ был проведен контроль и анализ состояния фотоаппаратуры на РС МКС, используемой для выполнения визуально-инструментальных

наблюдений, с выпуском соответствующей справки-отчета о состоянии фотоаппаратов на РС МКС.

Работа с результатами съемки земной поверхности, полученными в сеансах эксперимента, проводилась на компьютере поддержки эксперимента – лэптопе RSK1 (Think Pad Lenovo T 61p). Копирование с цифровых карт памяти результатов, полученных в сеансах КЭ, производилось на сменные жесткие диски, доставляемые для записи, хранения и возвращения результатов эксперимента.

Лэптоп RSK2 (Think Pad Lenovo T 61p) обеспечивал также обмен служебными данными между РС МКС и ЦУП-М и информационную поддержку экипажа, в том числе оперативную передачу результатов эксперимента через радиотехническую систему передачи информации (РСПИ).

Оперативная передача запрашиваемых результатов наблюдений осуществлялась по российскому радиоканалу через РСПИ, в отдельных случаях – через ОСА.

Для обеспечения экипажа на РС МКС дополнительными данными и визуальной информацией при моделировании условий съемки районов наблюдения использовалась программа баллистико-навигационного отображения полетной обстановки «Сигма», разработанная специалистами РКК «Энергия». На борту РС МКС программа «Сигма» установлена на лэптопах RSK1 и RSK2. Программа позволяет выполнить оперативный расчет (прогноз) времени прохождения и условий видимости с РС МКС заданного района исследований земной поверхности.

Результаты эксперимента, полученные в пилотируемых экспедициях 2016 и 2017 гг.при проведении КЭ «Ураган», доставлены на Землю на жестких дисках в составе возвращаемого груза на кораблях «Союз МС» и «Союз МС-02». Объем доставленной информации превысил 90 ГБ.

В настоящее время, с учетом имеющейся на борту МКС аппаратуры, в ходе полета российские космонавты экипажей МКС выполняют визуальные наблюдения, фотосъемку и спектрометрирование заданных районов Земли в соответствии с программой наблюдений, разработанной для каждой экспедиции, а также с учетом оперативных заданий.

Ниже приведены примеры результатов анализа информации, полученной по потенциально опасным и катастрофическим объектам, объектам систематического мониторинга [1].

5.1.3.1. Озеро Байкал

При изучении космических снимков были обнаружены на поверхности ледового покрова озера Байкал кольцеобразные структуры диаметром 5 - 7 км. Это природное явление, возникающее в отдельные годы, фиксируется при съемках в конце марта –

начале апреля и существует всего несколько недель. На рисунке 5.1 приведен фрагмент кольцеобразной структуры на поверхности ледового покрова озера Байкал в стадии разрушения, полученный 08.04.2017 г.

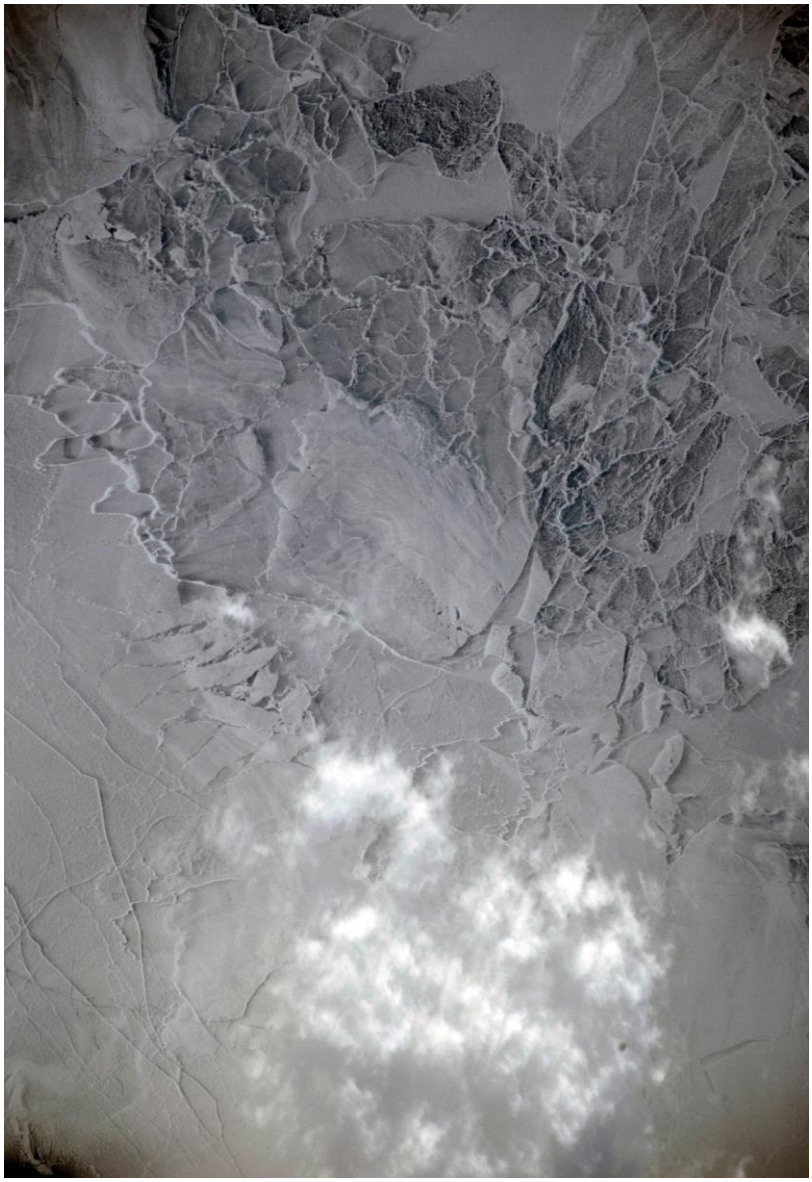


Рисунок 5.1 - Фрагмент кольцеобразной структуры на поверхности ледового покрова озера Байкал в стадии разрушения. 08.04.2017 г.

5.1.3.2. Получение информации о грязных городах России.

В период экспедиций 2016-2017 годов получены снимки 23 экологически грязных городов, основной вклад в загрязнение которых вносят стационарные источники. На рисунке 5.2 от 1 марта 2017 г. приведено изображение, где виден Новолипецкий металлургический комбинат и город. На противоположном от города берегу реки расположен металлургический комбинат, являющийся источником вредоносных соединений в атмосфере областного центра.

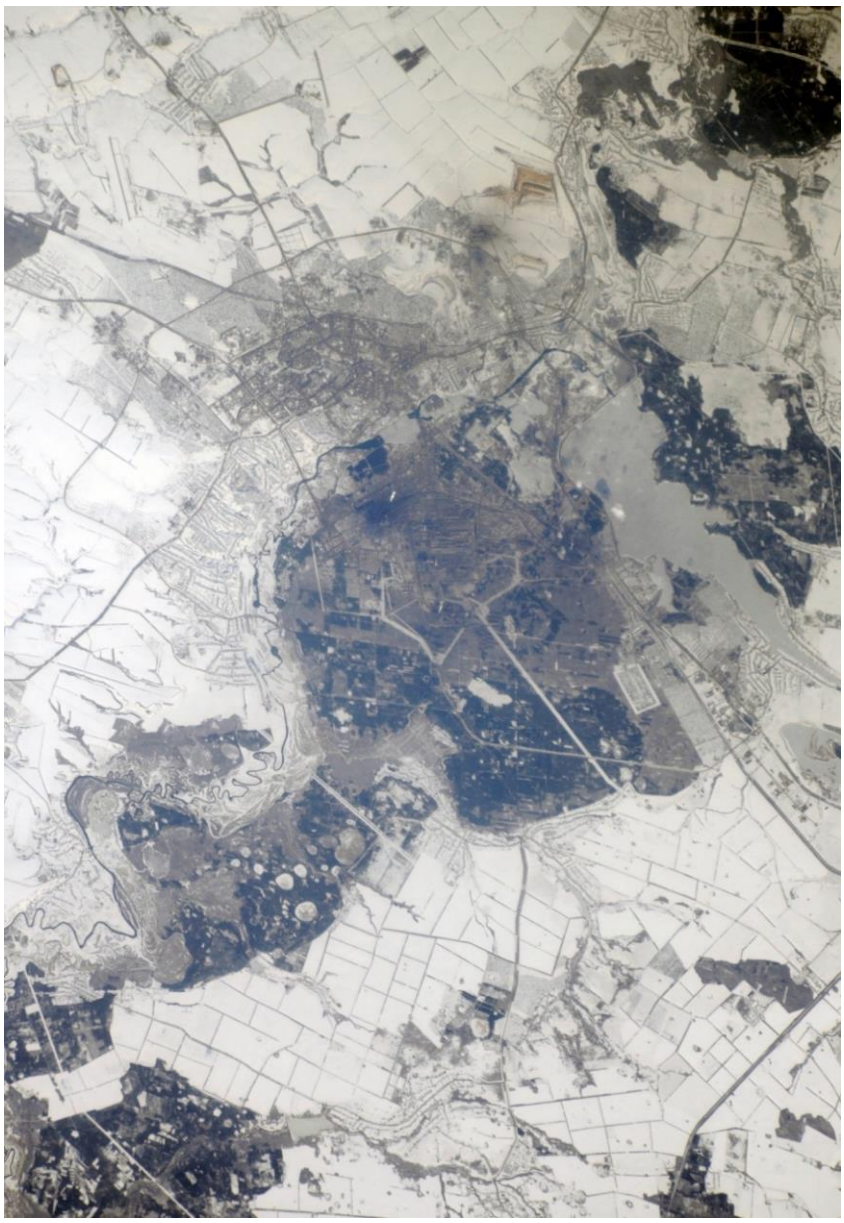


Рисунок 5.2 - Новолипецкий металлургический комбинат и город. (Снимок 01.03.17 г.)

5.1.3.3. Аральское озеро

Мониторинг высохшего озера остается важной задачей мониторинга каждой экспедиции МКС, т.к. будущее Аральского озера остается весьма острой проблемой.

Весной 2017 г. зафиксировано самое критическое состояние Арала: в его западной части, где усилиями международного сообщества, выделяющего финансирование в виде грантов на стабилизацию его усыхания, сохранялся последний большой объем воды. Вследствие понижения уровня воды на его поверхности появились несколько островов (см.

рисунок 5.3). Протока, через которую подаются в эту часть озера небольшие порции воды из реки Сырдарья, пересохла, и плотина практически перекрыла ее.

Рисунок 5.3 - Арал. На поверхности появились несколько островов вследствие понижения уровня воды. (Снимок 12.03.2017 г.)

Публикации по КЭ «Ураган»

1. *Беляев М.Ю., Юрина О.А. Способ определения с космического аппарата координат источника кольцевых волн на водной поверхности // Заявка на изобретение № 2016114109 от 12.04.2016.*
2. *Беляев М.Ю., Рулев Д.Н., Юрина О.А. Способ контроля движения наблюдаемого с космического аппарата ледника // Заявка на изобретение № 2016125589 от 28.06.2016.*
3. *Беляев М.Ю., Рулев Д.Н., Юрина О.А. Способ контроля положения фронтальной части ледника с космического аппарата на околокруговой орбите // Заявка на изобретение № 2016125591 от 28.06.2016.*
4. *Беляев М.Ю., Рулев Д.Н., Юрина О.А. Способ наблюдения наземных объектов с движущегося по околокруговой орбите космического аппарата // Заявка на изобретение № 2016125593 от 28.06.2016.*

5.1.4. КЭ «Сценарий»

Название КЭ:Оценка развития катастрофических и потенциально опасных явлений по результатам космических наблюдений.

Постановщик:**ПАО РКК «Энергия»**

Цель эксперимента: Отработка методов оценки развития катастрофических и потенциально опасных явлений по результатам их наблюдения с борта МКС аппаратурой ДЗЗ.

Задачи КЭ:

- проведение визуальных наблюдений по исходным данным, передаваемым с Земли радиограммами, с регистрацией процессов развития катастрофических явлений с помощью видео-фотоаппаратуры;
- отработка методов наблюдения потенциально опасных и катастрофических явлений и экологических проблем на земной поверхности и оценки их развития с борта Российского сегмента (РС) МКС в условиях реальных ограничений (в том числе с выполнением, при необходимости, коррекции орбиты);
- получение экспериментальных данных спектральных измерений подстилающих поверхностей исследуемых районов с использованием научной аппаратуры «ФСС» и «ВСС».

КЭ начал реализацию в экспедиции МКС50, что отражено в выпущенном ЭО по КЭ «Сценарий» [2]. В период экспедиции выполнялись визуальные наблюдения по исходным данным, передаваемым с Земли в виде радиограмм. Мониторинг и регистрация процессов развития катастрофических явлений производились с помощью фотоаппаратуры. Исследования выполнялись в соответствии с заданиями оперативных наблюдений. Перечень проведенных работ и затраты времени экипажа представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Перечень проведенных работ и затраты времени экипажа в ходе экспедиции МКС50

Дата	Операции	Время (мин)
11.02.17	Наблюдение лесных пожаров в Чили	10*
12.02.17	Наблюдение лесных пожаров в Чили	10*

Дата	Операции	Время (мин)
08.03.17	Наблюдение лесных пожаров в РФ и мониторинг половодья	10*
10.03.17	Наблюдение паводковых участков с использованием фотоаппаратуры	10*
11.03.17	Наблюдение паводковых участков с использованием фотоаппаратуры	10*
29.03.17	Наблюдения и фотосъемка. Перег. со спец. при необх.	60

Общийобъем информации, возвращенной на Землю на жестких дисках, составил 2,00 ГБ.

Результаты эксперимента получены куратором ПАО "Энергия" и после предварительной обработки переданы в установленном порядке участнику эксперимента в ИГ РАН (Институт географии Российской академии наук) для тематической научной обработки и координатной привязки полученных фотоизображений.

Публикации по КЭ «Сценарий»

1. *Беляев М.Ю., Беляев Б.И., Сармин Э.Э., Гусев В.Ф., Десинов Л.В., Иванов В.А., Крот Ю.А., Мартинов А.О., Рязанцев В.В., Сосенко В.А. Устройство и летные испытания научной аппаратуры «Видеоспектральная система» на борту российского сегмента МКС // Журнал «Космическая техника и технологии», № 2, 2016, с.12-20.*
2. *Беляев М.Ю., Боровихин П.А., Караваев Д.Ю., Рулев Д.Н., Рязанцев В.В. Оптимальное планирование наблюдений с помощью подвижных платформ наведения в эксперименте «Ураган» на МКС // Материалы 51-х Научных чтений памяти К.Э.Циолковского, Калуга, 2016, с.91-92.*
3. *Беляев М.Ю., Рулев Д.Н., Юрина О.А. Вариант подхода к планированию наблюдений потенциально опасных ледников на земной поверхности с борта орбитальной станции // Журнал «Космонавтика и ракетостроение» №3,2017, с.107-115.*

Цитируемые источники

1. *Экспресс отчет по космическому эксперименту «Экспериментальная отработка наземно-космической системы мониторинга и прогноза развития природных и техногенных катастроф» за период экспедиций МКС-49 и МКС-50. Шифр: КЭ «Ураган». П48561-27КСМ. ПАО РКК "Энергия". 2017*
2. *Экспресс отчет по космическому эксперименту «Оценка развития катастрофических и потенциально опасных явлений» по результатам космических наблюдений за период экспедиции МКС-50. Шифр: «Сценарий». П48562-27КСМ. ПАО РКК "Энергия". 2017.*

5.2. Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН (ИМБП РАН)

Результаты реализованных в 2016 - 2017 годах летных научных программ исследований, наблюдений и экспериментов с использованием АКА и Международной космической станции (МКС).

В 2016-2017 годах учеными Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Государственный научный центр РФ Институт медико-биологических проблем Российской академии наук» успешно реализованы Программы совместного годового полета российского космонавта М.Б. Корниенко и астронавта США С.Кэлли и программы российских научных медико-биологических исследований и экспериментов на российском сегменте МКС в период полетов 8 основных экспедиций (МКС-45/46, МКС-46/47, МКС-47/48, МКС-48/49, МКС-49/50, МКС-50/51, МКС-51/52, МКС-52/53). Выполнен запланированный объем исследований и получен научный материал необходимый для дальнейшего совершенствования медицинского обеспечения пилотируемых полетов и решения фундаментальных проблем космической биологии и физиологии.

Российская программа медико-биологических исследований и экспериментов на Российском сегменте МКС направлена, как на совершенствование системы медицинского обеспечения пилотируемых космических полетов, включая перспективу полетов на другие планеты, так и на получение знаний, которые внесут свой вклад в решение фундаментальных проблем наук о жизни.

Задачами проводимых исследований являлось:

- Изучение влияния факторов космического полета на функционирование различных систем организма: сердечно-сосудистую систему, водно-солевой обмен и гормональную регуляцию, сенсорные системы и операторскую деятельность, особенностей формирования микробиоты человека и местного иммунитета.
- регенерации органов и тканей, влияния микроорганизмов на материалы, различного химического состава, (фундаментальные проблемы космической биологии и иммунологии)
- Решение проблем радиационной безопасности экипажей космических объектов.

В ходе реализации программы медико-биологических исследований получены новые данные, имеющие большое значение для совершенствования системы медицинского обеспечения космических полетов, решения фундаментальных проблем гравитационной физиологии и биологии, психофизиологии, радиобиологии.

В рамках основных направлений исследований в области космической биологии и физиологии на МКС были проведены следующие исследования и эксперименты:

Сердечно-сосудистая система

5.2.1. «Биокард» - «Исследование электрофизиологических свойств и особенностей перестройки работы сердца при функциональном воздействии с приложением ОДНТ с использованием ЭКГ в 12-ти отведениях»

С научной и практической точек зрения необходимо более углублённое изучение биоэлектрической активности сердечной деятельности по ЭКГ в 12-ти отведениях, с учётом положения сердца в грудной клетке и выявление изменений ЭКГ позиционного характера. Изучение изменений, связанных с позицией сердца, возможно при сравнении данных ЭКГ, зарегистрированных в невесомости в 12-ти стандартных отведениях и ЭКГ, зарегистрированной в условиях моделирующих гравитацию Земли. Моделирование такой ситуации возможно с помощью пробы с приложения отрицательного давления к нижней части тела (ОДНТ).

Исследования, направленные на изучение биоэлектрической активности различных отделов сердца при пробе с воздействием ОДНТ в условиях полёта, ранее не проводились. Полученные новые результаты позволят в целом дополнить и расширить информацию о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы космонавтов на разных этапах длительных космических полётов, уточнить механизмы ответных реакций левых и, что очень важно в диагностическом плане, правых отделов сердца на перераспределение крови в условиях невесомости и моделированных условий гравитации.

В результате, будут усовершенствованы диагностические возможности медицинского контроля за состоянием здоровья космонавтов для своевременного выявления возможных неблагоприятных изменений электрофизиологических свойств миокарда, обоснованного их прогнозирования и предупреждения, разработаны рекомендации по их предотвращению.

Цель исследования – Получение новой научной информации для углубления представлений о механизмах перестройки в электрофизиологии сердца при воздействии ОДНТ в условиях длительной микрогравитации**.**

БИ-1 МКС-47/48 Овчинин А.Н. и БИ-2 МКС-47/48 Скрипочка О.И. проводят эксперимент «Биокард» на борту МКС (фотография с борта РС МКС)

Задачи исследования:

- Комплексная оценка ритма и проводимости, электродвижущей силы (ЭДС) сердца, временных и амплитудных характеристик зубцов и интервалов ЭКГ.
- Анализ конечной части желудочкового комплекса, особенно в тех зонах миокарда, в которых ранее применяемыми методиками (в частности DS) изменения не могли быть диагностированы (нижние, задне-латеральные, и задне-базальные отделы левого желудочка, высокие отделы передней стенки левого желудочка и, косвенно, правый желудочек).
- Изучение закономерностей и индивидуальных особенностей биоэлектрической активности сердца по результатам анализа ЭКГ показателей 12-отведений при воздействии ОДНТ.
- Изучение изменений параметров ЭКГ позиционного характера при ОДНТ во время полета.
- Выявление ЭКГ-критериев ортостатической устойчивости при неустойчивости космонавтов при воздействии ОДНТ на разных этапах длительных полетов.

Полученные новые результаты позволят в целом дополнить и расширить информацию о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы космонавтов на разных этапах длительных космических полётов, уточнить механизмы ответных реакций левых и, что очень важно в диагностическом плане, правых отделов сердца на

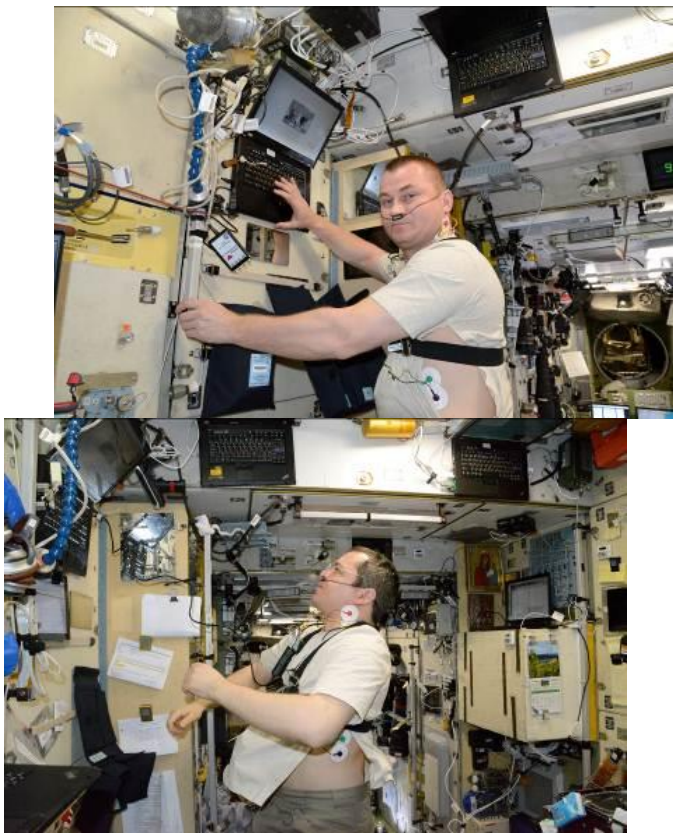
перераспределение крови в условиях невесомости и моделированных условий гравитации. В результате, будут усовершенствованы диагностические возможности медицинского контроля за состоянием здоровья космонавтов для своевременного выявления возможных неблагоприятных изменений электрофизиологических свойств миокарда, обоснованного их прогнозирования и предупреждения, при необходимости, разработаны рекомендации по их предотвращению.

. Результаты, полученные в ходе проведения эксперимента, будут использованы для обобщённого анализа результатов эксперимента с целью выявления закономерностей (или их отсутствия) изменения биоэлектрической активности сердечной деятельности, положения сердца в грудной клетке и выявление изменений ЭКГ позиционного характера.

Эксперимент планируется продолжить для получения большего количества данных и обобщения выявленных изменений.

5.2.2. «Кардиовектор» - Изучение влияния факторов космического полета на пространственное распределение энергии сердечных сокращений и роль правых и левых отделов сердца в приспособлении системы кровообращения к условиям длительной невесомости

Целью эксперимента КАРДИОВЕКТОР является изучение влияния факторов космического полета на пространственное распределение силы и энергии сердечных сокращений и роль правых и левых отделов сердца в приспособлении системы кровообращения к условиям длительной невесомости. Результаты космических экспериментов «Кардиовектор», которые были проведены, существенно дополняют ранее полученные научные материалы. В экспериментах «Кардиовектор» было показано, что сила сердечных сокращений в условиях невесомости больше, чем на Земле, но при этом затраты энергии ниже. Это означает, что работа сердца по перемещению крови в условиях невесомости выполняется в более экономичном режиме. Практически важными являются наблюдения в первый день после возвращения космонавтов на Землю. Резкое снижение силы и энергии сердечных сокращений подтверждает опасность развития сердечной недостаточности и ортостатических расстройств.



Подготовка к выполнению эксперимента «Кардиовектор» БИ-1 и БИ-2 МКС-47/48

Космический эксперимент «Кардиовектор» дает большой объем разнообразной информации о силе и энергии сердечных сокращений, о взаимодействии правых и левых отделов сердца на разных этапах длительного космического полета. Эта информация, однако, имеет большое индивидуальное разнообразие, что требует персонального подхода при ее анализе. По мере дальнейшего накопления экспериментальных материалов будут решаться и проблемы анализа данных.

5.2.3. «Космокард» - Изучение влияния факторов космического полета на электрофизиологические характеристики миокарда и на их связь с процессами вегетативной регуляции кровообращения при длительном действии невесомости

Изменения электрокардиограммы в условиях длительного космического полета по данным многочисленных исследований свидетельствуют о наличии энерго-метаболических сдвигов в миокарде, что рассматривается как показатель изменений функционального состояния миокарда на уровне метаболизма. Изменения состояния системы регуляции кровообращения, изменения водно-электролитного статуса организма, эмоциональные и физические воздействия могут приводить к изменению метаболических процессов в миокарде. Эти сдвиги недостаточно четко выявляются при традиционном

электрокардиографическом исследовании. Современные электрофизиологические методы позволяют извлечь из электрокардиографического сигнала новую дополнительную информацию о функциональном состоянии миокарда и выявить самые начальные сдвиги в энерго-метаболических процессах, протекающих на клеточном уровне).

В космическом эксперименте «Космокард» запись ЭКГ в двух отведениях сопровождается использованием новых методических подходов, позволяющих получать дополнительную уникальную информацию о функциональном состоянии сердечной мышцы (миокарда). Во-первых, регистрация ЭКГ проводится в течение 24-х часов, что позволяет оценить процессы адаптации сердца к суточным изменениям режима труда и отдыха членов экипажа; во вторых, детальная оценка механизмов адаптации проводится на основе применения методов анализа вариабельности сердечного ритма, в третьих, для оценки энергетических и обменных процессов в миокарде используется метод дисперсионного картирования электрокардиограммы (ДК ЭКГ).

Метод ДК ЭКГ был разработан в России в начале 2000-х годов и прошел широкую клиническую апробацию. Принцип метода ДК ЭКГ основан на анализе случайных низкоамплитудных колебаний на протяжении всего кардиоцикла и позволяет оценить характер и степень нарушений электрофизиологических свойств разных отделов миокарда, определить тяжесть течения и прогноз заболевания, оптимизировать тактику проводимой терапии. Измеряемые при ДК ЭКГ электрофизиологические характеристики достоверно изменяются при психоэмоциональном стрессе, напряженных физических тренировках и при изменении ортостатической устойчивости, причем это происходит раньше, чем зубцы стандартной ЭКГ. Поэтому, если контролировать этот процесс, то можно получить информацию о начальных стадиях развития патологического процесса в сердце.

Поскольку, изменения со стороны миокарда являются результатом комплекса адаптационных реакций организма в ответ на воздействие факторов космического полета, важное значение имеет одновременное исследование процессов вегетативной регуляции кровообращения. Для этого предусматривается суточная регистрация электрокардиограммы с использованием анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР), как метода, позволяющего получить данные о состоянии различных звеньев регуляторного механизма.

Впервые были получены данные эксперимента «Космокард» у нескольких космонавтов, что позволило сравнить их реакции на действие факторов длительного космического полета. Прежде всего нужно отметить, что у космонавтов разные типы вегетативной регуляции, а именно: нормосимпатотонический тип, и нормоваготонический тип. Именно этим определяется специфика их индивидуальной реактивности.

Отмечалась выраженная симпатотоническая реакция в 1-е сутки после возвращения на Землю (величина стресс индекса превышает 200 у.е.), наблюдались изменения функционального состояния на 4-м месяце полета. Эти изменения проявлялись снижением функционального резерва регуляторных систем организма и ростом степени напряжения регуляторных систем на фоне значительного снижения суммарной мощности спектра ВСР, уменьшением циркадного индекса ряда показателей. Однако, все эти изменения находятся в пределах нормы и не увеличивают риска развития дезадаптции.

К настоящему времени накоплен достаточно большой материал для того, чтобы оценить эксперимент «Космокард» как высокоинформативный космический эксперимент, позволяющий решать как поставленные научные задачи, так и получать информацию, важную для медицинского контроля за состоянием здоровья экипажа. Однако, индивидуальные реакции космонавтов весьма разнообразны и требуется дальнейшее его проведение для того чтобы выделить характерные типы реакций с учетом новых подходов к оценке суточной динамики показателей ВСР и совершенно новых для космической медицины данных по ДК ЭКГ. Данные эксперимента «Cosmocard» показывают на отсутствие ишемических процессов сердца в невесомости.

5.2.4. «Перемещение жидкостей» - Перемещение жидкостей до, после и во время длительного космического полета и связь данного феномена с внутричерепным давлением и нарушением зрения

Космический эксперимент является первой по части методичного определения воздействия распределения жидкости в условиях микрогравитации на широкий набор структурных и функциональных характеристик, включая (но не ограничиваясь) те,

которые связаны с внутричерепным давлением, зрением, структурой глаза и его придаточным аппаратом, системой сосудов головы и шеи во время и после длительных космических полетов. Формат и методология изучения основаны на богатом опыте по данной проблеме, накопленном исследователями, в том числе многочисленными проектами и исследованиями на земле с имитацией космического полета и непосредственно в космосе.

Перераспределение объемов жидкости по направлению к голове и колебания давления, вызванные длительным пребыванием в условиях микрогравитации, провоцирует повышение внутричерепного давления и вызывает изменения в остроте зрения у членов экипажа.

По результатам эксперимента предполагается охарактеризовать перемещение и распределение жидкости до, во время и после длительного космического полета; определить соотношение происходящих во время полета изменений в структуре глаза, в параметрах глазных сосудов и в остроте зрения с перераспределениями жидкостей по направлению к голове, размерами сосудов и схемами перераспределений.

Проведенный в ходе годового полета (МКС 43/44, МКС 44/45, МКС 45/46) эксперимент позволил получить большой объем материалов по изучению факторов перемещения жидких сред и сердечно-сосудистой адаптация в условиях микрогравитации.

Впервые были проведены исследования, которые предполагают изучить механизмы регуляции распределения жидких сред в организме и их влияние на изменения внутричерепного давления и функции зрительного анализатора в условиях длительного космического полёта и при воздействии отрицательного давления на нижнюю часть тела (ОДНТ).

Объектами исследования являются американские и российские члены экипажа.

По результатам КЭ будет предпринята попытка описать связь между типом и величиной перераспределения жидкости и влиянием на морфологию глаза и нарушение зрения, внутриглазное давление (ВГД), а также на величину внутричерепного давления.

Эксперимент планируется продолжить для получения большего количества данных и обобщения выявленных изменений.

Это исследование впервые позволит определить, являются ли хорошо известное перемещение жидких сред в условиях микрогравитации основным фактором, способствующим развитию нарушений зрения и предполагаемому росту внутричерепного давления, и можно ли временно парировать эти явления за счет изменения направления этого перемещения жидких сред на противоположное. Эта информация поможет определить направления разработки профилактических мер и/или схем лечения.

Получены материалы по исследованию пространственного разделения жидкостей (сбор проб слюны, мочи, крови). Также при проведении эксперимента в условиях покоя и при воздействии ОДНТ получен большой объем данных:

- по ультразвуковым исследованиям яремной вены, сонной артерии, позвоночной вены, подключичной артерии, глаз и лобной части, внутричерепное УЗИ, УЗИ сердца, УЗИ воротной вены. ;

- по определению давления церебральной/спинномозговой и кохлеарной жидкостей и ото-акустической эмиссии;

- по определению внутриглазного давления и при проведении оптической когерентной томография (включая центральную толщину роговицы с использованием переднего сегмента глаза)

Проведение обследования с аппаратурой ОСТ

Измерение глазного давления. оборудование для оптической когерентной томографии, предназначено для исследования строения глаза, в состав системы входят анализатор, ОСТ-камера и ОСТ Laptop.

Получены первые результаты, характеризующие элементы перемещения жидкости в условиях действия микрогравитации, воздействие ОДНТ члены экипажа перенесли хорошо с адекватным некоторым увеличением частоты сердечных сокращений и небольшим снижением артериального давления.

Проведенные исследования позволят объективно охарактеризовать изменения в распределении жидкости, (включая внутри/внеклеточные и внутри/внесосудистые перераспределения жидкости), применяя передовые неинвазивные технологии оценки во время, до и после длительных космических полетов. Это исследование впервые позволит определить, являются ли хорошо известное перемещение жидких сред и сердечно-сосудистая адаптация в условиях микрогравитации основными факторами, способствующими развитию нарушений зрения и предполагаемому росту внутричерепного давления, и можно ли временно парировать эти явления за счет изменения направления этого перемещения жидких сред на противоположное.

Эта информация поможет определить направления разработки профилактических мер и/или схем лечения для медицинского сопровождения длительных пилотируемых полетов в космическом пространстве.

В настоящее время проводится обработка полученной информации. Эксперимент планируется продолжить для получения большего количества данных и обобщения выявленных изменений.

Эксперимент планируется продолжить для получения данных и возможности в последующем описать связь между типом и величиной перераспределения жидкости с влиянием на морфологию глаза и нарушения зрения, внутриглазное давление, а также на величину внутричерепного давления. Кроме того, предполагается дополнительно проанализировать влияние ОДНТ на указанные выше параметры.

5.2.5. «УДОД» - Изучение возможности коррекции гемодинамических изменений в невесомости с помощью отрицательного давления на вдохе

Перераспределение регионарных объемов жидких сред организма вызывает увеличение кровенаполнения сосудистой системы головы, что способствует изменениям сердечно-сосудистой функции (Атьков, Бедненко, 1989; Григорьев, Егоров, 1997), вентиляционно-перфузионных отношений в лёгких (Prisk et al., 1993) и водно-солевого обмена (Григорьев, Егоров, 1997). Отмеченные изменения ухудшают общее физическое состояние и снижают работоспособность космонавтов в начальном периоде адаптации к невесомости и уменьшают их ортостатическую устойчивость при реадаптации к земной гравитации. Совершенствование профилактических средств и методов по-прежнему представляется актуальной и остается приоритетной медико-технической задачей. Существующие штатные физические средства коррекции гемодинамических изменений в невесомости (компрессионные манжеты и отрицательное давление на нижнюю половину тела) имеют единый физиологический механизм, основанный на депонировании части объёма циркулирующей крови в периферическом сосудистом русле туловища и конечностей, вместе с тем, существует принципиально иной механизм снижения кровенаполнения головы, основанный не на ограничении притока, а на усилении оттока крови из интракраниального сосудистого бассейна по яремным венам в грудную полость, в верхнюю полую вену и камеры сердца.

Этот механизм может быть реализован посредством создания отрицательного внутригрудного давления при дыхании через лицевую маску из ресивера, в котором создается дозированное разрежение (Тихонов и др., 1991). Оптимальная величина этого

разрежения (точнее, величина создаваемого отрицательного внутригрудного давления) должна быть равна приросту гидростатического давления в сосудах черепа, вызванного антиортостатическим наклоном тела, для компенсации этого прироста и нормализации оттока крови из венозной системы головы. Это положение составило рабочую гипотезу настоящей работы. Вместе с тем, появилось понимание того, что реакция на одинаковое разряжение отличается и требует индивидуального подбора.

В данном космическом эксперименте (КЭ) проводится апробация Устройства для Дыхания под Отрицательным Давлением (УДОД) для увеличения оттока крови от головы. Это устройство содержит клапан в канале вдоха и обеспечивает в течении всего вдоха заданное отрицательное (по отношению к давлению в окружающем пространстве) давление в ротовой полости. Значения сопротивления подбираются во время фоновых исследований, предшествующих КЭ.

Эксперимент «УДОД» посвящен апробации устройства с дополнительным сопротивлением на вдохе в качестве средства снижения кровенаполнения головы в космическом полёте (КП). Основу представленного исследования составляет гипотеза об усилении оттока крови из интракраниального сосудистого бассейна по яремным венам в грудную полость, в верхнюю полую вену и камеры сердца при снижении внутригрудного давления. Целью эксперимента является изучение сочетанных изменений дыхания и гемодинамики под воздействием дополнительного сопротивления дыханию на вдохе, направленного на профилактику возможных гемодинамических нарушений в условиях длительного КП. В ходе эксперимента проводили регистрацию, обработку и анализ следующих физиологических сигналов: пневмотахограммы, давления в подмасочном пространстве, пневмограммы с абдоминального и торакального участков тела, величины сопротивления тканей по регионам (биоимпедансометрия).

Показано, что данные параметры внешнего дыхания у обследуемых космонавтов дополняют результаты, полученные ранее в КЭ «Дыхание», демонстрирующее разнонаправленные изменения в перестройке внешнего дыхания и его регуляции. В частности, отмечено отсутствие увеличения времени задержки дыхания, характерное для большинства космонавтов. Анализ физиологических эффектов во время применения устройства УДОД, создающего дополнительное дозированное сопротивление на вдохе, в условиях космического полёта также подтвердил данные о наличии существенных индивидуальных особенностей реакции дыхания на повышенное сопротивление на вдохе во время длительного пребывания в условиях невесомости, что послужило, в свое время, обоснованием для дальнейшего накопления экспериментальных данных и увеличения количества наблюдений.

Проведение КЭ «УДОД» на бору МКС БИ-1 (Овчинин) и БИ-2 (Скрипочка) экипажа МКС 47/48. Регистрация параметров системы внешнего дыхания.

Сенсорные системы

5.2.6. «Альгометрия» - Исследование болевой чувствительности у человека в условиях космического полета

Известно, что восприятие боли субъективно и зависит от различных факторов. Согласно определению Международной ассоциации по изучению боли (IASP), боль – «неприятное сенсорное и эмоциональное переживание, связанное с истинным или потенциальным повреждением ткани...». Следовательно, боль является не только соматическим, но и психическим явлением. Во время космического полета, в ходе длительного пребывания в условиях микрогравитации и замкнутого пространства, у космонавтов возможны изменения состояния сенсорных систем, а также развитие различных патологических процессов (травмы и заболевания). В связи с этим точная интерпретация динамики восприятия боли, оценка ее характеристики и условий, приводящих к изменениям чувствительности к болевому фактору в космическом полете крайне важна, особенно при оказании медицинской помощи. Таким образом, задача оценки состояния болевой чувствительности космонавта в длительном космическом полете является крайне актуальной. Изучение динамики болевой чувствительности в КП проводиться впервые.

В настоящее время для изучения психофизиологии боли широко используется ряд методов: фМРТ, тестирование с помощью специализированных опросников, оценка порога болевой чувствительности с помощью альгометрии и др. Болевые ощущения, возникающие при действии стимулов разной модальности, формируются различными механизмами, поэтому результаты исследования болевой чувствительности,

определяемые разными методами, могут не совпадать друг с другом. Для получения объективной информации о ПБЧ целесообразно использовать несколько

Выполнение космонавтом М. Корниенко КЭ «Альгометрия»

методов. В КЭ «Альгометрия» для изучения динамики болевой чувствительности у человека в условиях длительного КП предложена оценка ПБЧ двумя методами: тензо- и термоальгометрии. Данное исследование предусматривает регистрацию ПБЧ методами тензо- и термоальгометрии до-, во время и после длительного КП. Для выполнения указанного эксперимента была разработана и доставлена на борт РС МКС специальная экспериментальная НА. Ожидается, что результаты КЭ «Альгометрия» позволят получить новую информацию о динамике функционального состояния целостного организма в условиях длительного КП, а также послужат основой для разработки предложений по совершенствованию системы оказания медицинской помощи на борту ПКА.

Исследования двигательной сферы

5.2.7. «Мотокард» - Механизмы сенсомоторной координации в невесомости

Эксперимент «Мотокард» направлен на изучение механизмов сенсомоторной координации в невесомости по физиологическим характеристикам локомоций, осуществляемых в различных режимах работы бегущей дорожки и с различными скоростями.

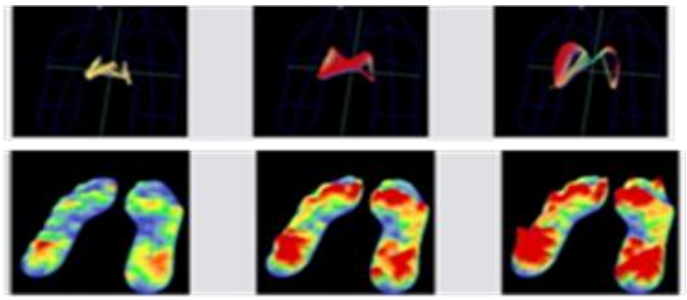
Конкретная задача выполнения КЭ «Мотокард» в ходе экспедиции МКС-47/48 состояла в получении количественных данных электромиографических записей, реакций опоры, данных ЧСС и кинематических характеристик, регистрируемых бегущей дорожкой

БД-2 (скорость локомоций, пройденная дистанция, режимы работы дорожки и пр.), в ходе как минимум 4-х полетных сеансов эксперимента.

Задачи эксперимента:

- получение объективных количественных данных о кинематических, биомеханических и электромиографических характеристиках локомоций в различных фазах космических полетов;

- определение эффективности различных методов коррекции локомоторных нарушений в длительных космических полетах с целью совершенствования режимов и методов ФТ в длительных космических экспедициях, в том числе в экспедиции к Марсу.



«Motocard»

Результатом выполнения КЭ «Мотокард» стало получение количественных данных электромиографических записей, реакций опоры, данных ЧСС и кинематических характеристик, регистрируемых бегущей дорожкой БД-2 (скорость локомоций, пройденная дистанция, режимы работы дорожки и пр.). Данные проверены на качество записи, большая часть удовлетворяет требованиям эксперимента и пригодна для анализа.

Предварительный анализ данных электромиографических записей активности мышц голени и бедра показал, что 65% полученных в ходе полета записей пригодны для анализа. С учетом специфики условий выполнения эксперимента (высокая температура окружающей среды, повышающая потоотделение и, следовательно, уменьшающая контакт электродов с кожей; трудности экипажа с фиксацией отводящих кабелей - плохая фиксация может быть причиной возникновения шумов в записи и т.д.) этот показатель является удовлетворительным.

Первичный анализ полетных данных ЭМГ еще не завершен. Предварительный анализ записей выявил изменения параметров ЭМГ и реакций опоры.

Предварительный анализ распределения опорных реакций в ходе выполнения локомоторных упражнений достоверно выявил в полете резкое снижение опорных реакций по сравнению с фоновыми значениями, что подтверждается результатами других участников эксперимента.

Дальнейший анализ позволит обсудить эти закономерности и выявить, связаны ли они с индивидуальным профилем выполнения упражнений данным космонавтом, или с работой аппаратуры.

5.2.8. «Профилактика-2» - Механизмы действия и эффективность различных методов профилактики нарушений в деятельности двигательной системы космонавта в длительных космических полетах

В настоящий момент в длительных КП на борту МКС используется российская система профилактических мероприятий, включающая в качестве основного элемента – ФТ. Эффективность физических тренировок убедительно доказана ранее в длительных космических полетах. Бортовая документация строго регламентирует режимы физических упражнений. Практически же каждый космонавт модифицирует рекомендованную систему в соответствии с текущим уровнем физической работоспособности, самочувствием и приобретенным опытом предыдущих полетах. Ситуация на МКС осложняется наличием двух существенно различающихся подходов к физическим тренировкам. Американская система профилактики базируется на силовых упражнениях, тогда как в российской системе профилактике ключевая роль отводится интервальным локомоторным тренировкам. Была показана эффективность локомоторных тренировок в предотвращении потерь мышечной массы. Эксперимент «Профилактика», проводимый на борту МКС с 2002 по 2008 годы, показал, что интенсивные интервальные тренировки по бортовой документации, характеризующиеся аэробно-анаэробным механизмом энергообеспечения, позволяют сохранить физическую работоспособность на достаточном уровне и нивелируют обусловленные действием гипогравитации негативные изменения в различных звеньях двигательной системы. Тогда как у космонавтов, тренирующихся непрерывным методом с аэробным характером энергообеспечения (типа jogging'a), наблюдается значительное снижение работоспособности и уровня здоровья. Предположительно, улучшение работоспособности в результате интервальных тренировок обусловлено реакцией опоры, проявляющейся в усилении афферентного потока со стороны проприорецепторов стопы.

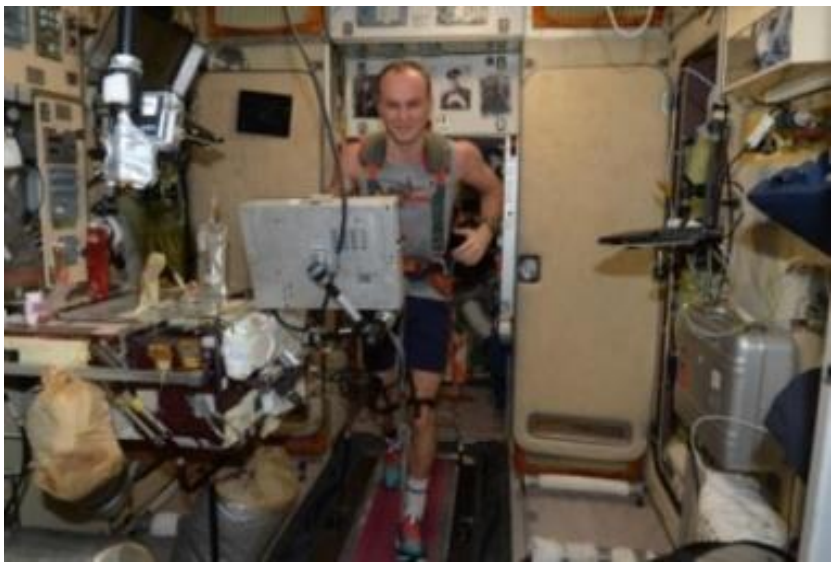
В многочисленных модельных экспериментах была показана значительная роль опорной афферентации в поддержании свойств двигательной системы. Согласно результатам этих исследований опорная афферентация является триггером активности тонической мышечной системы, и ее устранение в условиях невесомости запускает широкий спектр изменений в деятельности и состоянии различных двигательных

механизмов и структур. Одной из задач эксперимента «Профилактика-2» является оценка влияния компенсатора опорной разгрузки на состояние общей и физической работоспособности членов экипажа. В модельных наземных экспериментах было показано, что механическая стимуляция опорных зон стоп позволяет предупредить снижение поперечной жесткости, изменение электромиографической активности мышц голени, ухудшение сократительных свойств мышечных фибрилл.

Отбор наиболее эффективных режимов тренировок требует накопления данных о физиологической, электромиографической и энергетической «стоимости» различных физических нагрузок в условиях микрогравитации. Как показали результаты эксперимента «Профилактика», система тестов, использующаяся на борту в настоящее время, позволяет на основе данных о физиологической и эргометрической стоимости оценивать в определенных пределах состояние работоспособности космонавтов и эффективность выполняемых космонавтом нагрузок. Однако, с учетом вышесказанного о разнообразии применяемых космонавтами применяемых режимов и необходимости точного определения эффективности этих режимов в эксперименте «Профилактика-2» в протокол тестов оценки эффективности вводятся анализ электромиограммы и характеристика газообмена.

Введение дополнительных тестовых показателей, отражающих характер энергообеспечения и состояние двигательной системы при выполнении ФН на борту, позволит улучшить информативность и надежность мониторинга физической работоспособности космонавтов. Впервые попытка использования метода газоанализа для оценки энергетической «стоимости» ФН в условиях КП была предпринята в эксперименте «Профилактика». Неисправность газоанализатора, связанная с выходом из строя датчика кислорода, не позволила, однако, получить весь объем показателей газоанализа и, как следствие, не позволила полностью выяснить механизм энергообеспечения при выполнении ФН в условиях КП. В эксперименте «Профилактика-2» будет использован новый отечественный газоанализатор, разрабатываемый в настоящее время, который качественно отличается от использованного ранее в эксперименте «Профилактика».

Эксперимент "Профилактика-2" направлен на определение механизмов действия и эффективности различных методов профилактики нарушений в деятельности двигательной системы космонавта в длительных космических полетах



Конкретная задача выполнения КЭ " Профилактика-2" в ходе экспедиции МКС-50/51 состояла в получении количественных данных параметров газообмена, лактата крови, электромиграфического и физиологического ответа на ФН до, во время и после КП

Цель эксперимента - исследование механизмов действия и эффективности различных режимов ФН в условиях длительных КП на состояние общей и физической работоспособности космонавтов.

Задачи КЭ: получение объективных количественных данных по параметрам газообмена, и физиологическому и электромиографическому ответу организма на выполнение физической нагрузки до, во время и после КП с целью повышения эффективности ФТ различной направленности, и изучение влияние различных тренировочных режимов на физическую работоспособность членов экипажа.

В ходе эксперимента предполагается получить данные о физиологической, электромиографической и биоэнергетической «стоимости» ФН, на основании анализа которых может быть уверенно оценена эффективность различных режимов ФТ в поддержании физической работоспособности и здоровья космонавтов.

Полученные результаты составят научную базу совершенствования рабочих и профилактических режимов ФН на борту МКС. Важным элементом эксперимента явятся также возможности эффективности использования КОРа в качестве пассивного средства профилактики в длительных космических полетах. Результаты эксперимента будут направлены на совершенствование системы профилактики применительно к сверхдлительным межпланетным полетам.

Исследование желудочно-кишечного тракта

5.2.9. «СПЛАНХ» - Исследование особенностей структурно-функционального состояния различных отделов желудочно-кишечного тракта для выявления специфики изменений пищеварительной системы, возникающих в условиях космического полета

Пребывание в условиях длительного космического полета сопровождается изменением функциональной активности многих систем организма и в том числе системы пищеварения, в которой происходит ряд однотипных функциональных изменений, вызванных эффектами невесомости. Объективный экспресс-контроль, за состоянием желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) в условиях космического полета, является сложной задачей, решение которой даже в условиях клиники требует привлечения большого количества оборудования и специалистов. Космический медицинский эксперимент (КЭ) "Спланх" направлен на исследование особенностей изменений структурно-функционального состояния пищеварительной системы, возникающих в условиях космического полета. На 1-м этапе для исследований особенностей функционального состояния ЖКТ натощак и после приема пищи использовался метод электрогастроэнтерографии (ЭГЭГ), с определением до и после полета в капиллярной крови из пальца биохимических показателей.

ЭГЭГ является важной составной частью первого этапа космического эксперимента "Спланх", направленного на исследование особенностей структурно-функционального состояния различных отделов желудочно-кишечного тракта с целью выявления специфики изменений пищеварительной системы, возникающих в условиях космического полета. В КЭ применен метод накожной ЭГЭГ, позволяющий с электродов, расположенных на коже, определять величину электрической активности основных отделов ЖКТ. Для оценки функционального состояния отделов ЖКТ использовался ЭГЭГ в частотном спектре специфичном для желудка, двенадцатиперстной, тощей, подвздошной кишки, толстого кишечника, подобно записи ЭКГ в кардиологии. Для выявления смещения электрической оси распространения сигнала от основных отделов ЖКТ, запись ЭГЭГ проводилась в 2-х отведениях. Для записи ЭГЭГ желудочно-кишечного тракта использовался комплект СПЛАНХ-1. КЭ выполнен космонавтами О.А.Н. и С.О.И. после 3-х и 5-и месяцев пребывания на МКС. Запись ЭГЭГ проводилась сначала утром натощак, потом во время завтрака и продолжалась в течение 2,5 часов после окончания приема пищи. Запись ЭГЭГ также проводилась на 2-е и 14-е сутки после завершения КП. Биохимические исследования в пред- и послеполетной период выполнялись из сыворотки крови, полученной при

проведении КФО, с использованием имеющегося в лаборатории биохимического анализатора РЕФЛОТРОН. Результаты ЭГЭГ, полученные на МКС и после полета, сравнивались с результатами, полученными по программе КЭ в предполетном периоде.

Целью космического эксперимента (КЭ) "Спланх" являлось продолжение получения в условиях космического полета фундаментальных данных о структурно-функциональном состоянии различных отделов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и лежащих в его основе механизмах, определяющих особенности изменений пищеварительной системы в невесомости. В соответствии с задачей первого этапа эксперимента было продолжено проведение начальной серии исследований по выявлению специфики электрической активности различных отделов ЖКТ в невесомости. Первый этап КЭ включал исследование в невесомости электрической активности различных отделов ЖКТ с использованием комплекта СПЛАНХ-1 российскими космонавтами. Материал, полученный в ходе каждого сеанса КЭ, передавался исполнителю по каналам связи, а после возвращения на Землю на твердом носителе (микро SD-карте). Через 3 месяца полета по сравнению с предполетными данными наблюдалось снижение значений мощности электрической активности всего ЖКТ натощак, во время приема пищи и в первый час после завтрака. После 3-х и 5-и месяцев наблюдалось в обоих отведениях относительно предполетных значений аналогичное, но более выраженное снижение электрической активности всех отделов ЖКТ натощак, во время приема пищи, в первый и второй час после тест-завтрака. У космонавтов в условиях полета после приема пищи и в 1-й час после окончания завтрака наблюдалось более выраженное увеличение электрической активности относительно значений натощак и доминирование электрической активности первого отведения над вторым. После завершения КП показатели амплитуды и мощности всех отделов ЖКТ утром натощак в обоих отведениях оставались ниже значений, полученных перед КП. Это увеличение было более выражено во 1-м отведении, которое, как и в условиях невесомости в КП доминировало над 2-м. Полученные результаты энтерограстрографии, проведенной в условиях КП подтверждают ранее выявленные особенности электрической активности ЖКТ, в условиях невесомости. Эти особенности характеризуются сменой доминирующего (большего по значениям) отведения из-за изменения положения органов брюшной полости в невесомости, снижением амплитуды и мощности электрической активности натощак и после приема пищи, по-видимому, санным с отсутствием веса пищевого химуса и более выраженной реакцией на прием пищи относительно значений натощак. Возникшие в невесомости изменения электрической активности ЖКТ, частично сохраняются до 14 суток после завершения КП.

Совершенствование средств медицинского обеспечения

5.2.10. «БИМС» - Исследование процессов информационного обеспечения медицинского сопровождения полета с использованием бортовой информационной медицинской системы, интегрированной в ИУС российского сегмента МКС

Реализация космического эксперимента “БИМС” является новым этапом модернизации системы информационного обеспечения специалистов медицинского сопровождения полета в процессе медицинского обеспечения пилотируемых полетов.

Эксперимент “БИМС” проводится с целью оценки возможности и эффективности применения телемедицинских технологий получения медицинской информации от экипажей РС МКС.

В процессе исследований должны быть определены возможности и преимущества применения новых современных методов обработки, хранения и передачи полетных данных и созданы базовые элементы информационного обеспечения медицинских специалистов и ученых, проводящих бортовые научные эксперименты, на качественно новом технологическом уровне в соответствие с целями и задачами медико-биологического обеспечения пилотируемых полетов.

Поэтапное внедрение телемедицинского бортового комплекса в ходе эксперимента предусматривает подключение отдельного периферийного телемедицинского оборудования - телемедицинских бортовых комплектов (ТБК-1, ТБК-1С) к медицинскому компьютеру служебного модуля МКС.

1-й этап эксперимента проводится с целью оценки эффективности применения телемедицинских технологий получения от экипажей РС МКС информации для медицинского обеспечения пилотируемых полетов и информационного сопровождения медико-биологических полетных исследований.

Задачи эксперимента на первом этапе включают:

- подключение экспериментального образца телемедицинского бортового комплекта к бортовому медицинскому компьютеру, включенному в бортовую сеть и имеющему выход на телекоммуникационный канал связи с Землей;
- отработку методик получения телемедицинской информации с помощью разработанного программно-математического обеспечения ПМО «Бимс» в ходе научных исследований на Российском сегменте МКС;
- анализ результатов, уточнение методик, доработку бортовой документации.

Для детализированных стоматологических исследований на настоящем этапе КЭ в полете МКС-47/48 используется Телемедицинский бортовой стоматологический комплект (ТБК-1С) и разработанное специализированное программно-математическое обеспечение «ТБК-1С»

.

Мониторинг эксперимента «БИМС»

Основными задачами настоящего этапа эксперимента являются:

- разработка аппаратной и программной частей телемедицинских бортовых комплектов ТБК-1С;
- подключение летных экспериментальных образцов «ТБК-1С» к бортовому медицинскому компьютеру, передача данных через телекоммуникационный канал связи с Землей;
- отработка методик получения телемедицинской информации в наземных условиях и на РС МКС с помощью разработанного программно-математического обеспечения ПМО «ТБК-1С».
- отработка информационного взаимодействия космонавтов со специалистами на Земле;
- анализ результатов, уточнение методик;
- составление рекомендаций по реализации последующих этапов эксперимента.

Использование телемедицинских технологий получения бортовой медицинской информации с помощью аппаратуры и ПМО «ТБК-1С» дает возможность получить видеоизображения состояния: слизистых оболочек полости рта и зубов у космонавтов

В процессе проведения КЭ в соответствие с методикой обследования получены качественные видеоизображения внешних и внутренних сторон зубных рядов, снятые по

четвертям. Все записанные и переданные видеофрагменты отвечают требованиям соответствия полученной информации заданию на проведение КЭ.

Бортовые условия проведения КЭ показали реальное увеличение времени проведения сеанса исполнителем и необходимость помощи при видеосъемке. Был сделан вывод о недостаточности выданных исходных данных в радиограмме на борт для проведения сеанса КЭ.

В связи с этим в методике проведения КЭ время проведения следующих сеансов для исполнителя увеличено до 1 часа и введено расширенное описание процедуры видеосъемки для исполнителя и помогающего.

Полученные результаты показали, что методики проведения стоматологических исследований с помощью комплекта «ТБК-1С» в целом были выполнены правильно, что позволило получить наглядную картину состояния обследуемых органов у космонавтов.

Все перечисленные рекомендации будут учтены на следующих этапах эксперимента «БИМС».

Психофизиологические исследования

5.2.11. «Пилот-Т» - «Исследование надежности профессиональной деятельности космонавта в длительном космическом полете»

КЭ «Пилот-Т » направлен на изучение психофизиологического состояния при выполнении членом экипажа его профессиональной деятельности.

В современной психофизиологии, эргономике, авиакосмической медицине и психологии важное место занимает разработка методов оценки психофизиологического состояния (ПФС) и качества деятельности (КД) оператора, проводимая в русле развития проблемы надежности СЧМ. В связи с этим, продуктивность деятельности человека-оператора является функцией не только знаний, навыков и умений, но и в существенной степени зависит от функциональных изменений, развивающихся в организме и психике в процессе выполнения работы. Необходимо учитывать, как медицинский аспект (здоровье человека), так и социально-психологический – результативность работы оператора.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта в разработке проблемы надежности работы оператора в сложных СЧМ, какими являются современные космические аппараты, позволило сформулировать гипотезу об оценке надежности деятельности космонавта. Надежность деятельности рассматривается как системная реакция, т.е. совокупность взаимосвязанных между собой психофизиологических функций, объединенных в целое выполнением профессиональных задач. Характеристикой надежности служит мера взаимосвязи показателей КД с показателями функционального

состояния, которая получена на базе использования методов факторного и канонического корреляционного анализа. Это позволяет выявить взаимосвязь совокупности первичных показателей результативности работы с показателями системного ответа организма – психофизиологической «ценой» деятельности, и оценить вклад каждого из первичных показателей в изменение надежности. При этом оценка и анализ показателей ПФС и КД должны осуществляться в неразрывной связи с выполнением операторской деятельности (тестовой, тренировочной и реальной).

Изучение вопросов сохранности и поддержания устойчивых профессиональных навыков проводилось на примере выполнения космонавтами в полете имитационных режимов ручного управления причаливанием и стыковкой ТК «Союз» и ОК «Мир» с использованием наземно-бортового тренажерно-исследовательского комплекса (эксперимент «Пилот»). Основной цикл исследований проводился в начальный период пребывания космонавтов в невесомости (3-9 сутки полета). Проведено 29 исследований с участием 6 космонавтов. Анализ полученных данных показал существенное снижение качества деятельности (вплоть до срыва) и повышение уровня психофизиологической напряженности при выполнении первой попытки ручного управления кораблем. При повторных попытках управления планомерно повышались показатели качества, и снижался уровень напряженности деятельности. После выполнения 4-5 имитационных режимов управления показатели достигали уровня наземного фона. Отмеченная динамика повышения эффективности деятельности связана, с одной стороны, с формированием навыков сенсомоторной координации в невесомости, а с другой – с процессом психологической адаптации космонавта к новым условиям деятельности.

Современный уровень науки позволяет создать достаточно точные виртуальные модели профессиональной деятельности космонавта применительно к рассматриваемой задаче (при создании моделей планируется учитывать технические характеристики перспективных образцов космической техники, предоставляемые ее разработчиками, а так же данные о рельефе местности и физических условиях на поверхности объектов Солнечной системы). Однако смоделировать в наземных условиях весь комплекс физиологических и психофизиологических изменений (связанных, прежде всего, с длительным воздействием невесомости), развивающихся в организме космонавта после ДКП и способных повлиять на надежность его профессиональной деятельности не представляется возможным. В связи с этим важно оценить КД и ПФС космонавта при работе с виртуальными моделями операторской деятельности после реального ДКП.

Космонавт О.Д. Кононенко (экспедиция МКС 44/45) в ходе выполнения КЭ «Пилот-Т»

В ходе эксперимента планируется использовать аппаратурный комплекс регистрации психофизиологических параметров, усовершенствованный и доработанный с учетом опыта предыдущего эксперимента «Пилот» и новых подходов в электрофизиологии. Проведение эксперимента позволит исследовать механизмы когнитивных процессов поддержания и оптимизации профессиональных операторских навыков в условиях воздействия неблагоприятных факторов космического полета; разработать на основе полученных результатов рекомендации для группы медицинского обеспечения Главной оперативной группы управления Центра управления полетами по оценке психофизиологических реакций функционального состояния космонавта в полете, усовершенствовать тренажёрно-исследовательские бортовые комплексы для штатного полетного мониторинга и повышения надежности профессиональной операторской деятельности.

Цель выполнения первого этапа КЭ является совершенствование методов и разработка средств оценки и прогнозирования надежности профессиональной деятельности членов экипажа при выполнении сложных операторских задач на различных этапах ДКП.

При выполнении первого этапа эксперимента должны быть решены следующие задачи:

– разработка многомерной, учитывающей психофизиологическую составляющую и результативность деятельности, математической модели оценки надежности выполнения операторских задач на различных этапах ДКП и после длительного воздействия микрогравитации на этапе посадки;

– на основе полученных данных проведено усовершенствование метода оценки/прогнозирования сохранности навыка по выполнению имитационной задачи ручного управления стыковкой двух КА между собой в ДКП;

– на основе системной многомерной математической модели оценки создание базы данных индивидуальных психофизиологических профилей членов экипажа, позволяющей определять индивидуальную физиологическую «цену» и прогнозировать индивидуальную надежность профессиональной деятельности члена экипажа на различных этапах ДКП;

– разработка рекомендаций по совершенствованию тренажерно-исследовательских бортовых комплексов для штатного полетного мониторинга психической работоспособности и повышения надежности профессиональной деятельности члена экипажа.

5.2.12. «Взаимодействие-2» - «Изучение влияния многонационального состава экипажей МКС на межличностное и межгрупповое взаимодействие»

В настоящее время космическая деятельность представляет собой объединение усилий многонациональных экипажей, которое включает тесную кооперацию и совместное проживание людей с различным культурным, профессиональным и организационным опытом. Эксперимент «Взаимодействие-2» построен на результатах эксперимента «Взаимодействие» для получения статистического подкрепления выявленных тенденций.

Целью эксперимента «Взаимодействие-2» является исследование закономерностей внутри- и межгрупповой (взаимодействие с ЦУП) динамики в ходе долговременного космического полета международного экипажа. Задачами эксперимента являются:

- продолжение сбора данных о динамике межличностного восприятия под влиянием стресс-факторов космического полета на большем контингенте для получения статистически обоснованных результатов;

- исследование влияния кросс-культуральных факторов на межличностное и межгрупповое взаимодействие;

- изучение особенностей восприятия экипажем ЦУП в ходе космического полета;

- подтверждение полученных данных о взаимосвязи комплекса показателей, характеризующих интегрированность структуры оценок ближайшего окружения, и напряженности межличностного и межгруппового взаимодействия; изучение ценностей, установок и поведенческих предпочтений членов экипажей МКС;

- изучение взаимодействия, сплоченности, групповой идентификации в экипаже; изучение влияния факторов культуры на лидерство, разрешение конфликтов, принятие решений и управление ошибками.

Методика исследований: для выполнения эксперимента использовался компьютерный тест PSPA, который представляет собой анализ субъективных установок по отношению к ближайшему окружению. Тест включает в себя три основных этапа: на первом этапе космонавт формирует список персонажей, включающий членов экипажа и представителей ЦУП, а также три образа Я – Я-идеальное, Я-реальное и Я-прошлое; затем формулирует 12 пар критериев (конструктов) для оценки персонажей, используя те качества, которые кажутся ему наиболее важными для описания людей. На третьем этапе выбранные персонажи оцениваются по выработанным критериям. Для изучения особенностей восприятия экипажем объёма и качества общения как внутри экипажа, так и с ЦУП использовался опросник «Социальная карта» из 6-ти вопросов. Для дополнительной оценки влияния факторов культуры применялся опросник «CULT» из 59-и вопросов, включающий раздел для изучения системы ценностей космонавтов и разделы, направленные на выявление предпочитаемого стиля принятия решений, лидерства и управления ошибками.

В ходе экспедиций на МКС научный эксперимент «Взаимодействие-2» осуществлялся с участием 11 российских космонавтов. Экспериментальные исследования включали в себя три этапа: предполётное тренировочное занятие и фоновое обследование; выполнение эксперимента в космическом полёте; послеполётное обследование. Общее количество исследований, проведенных в условиях полёта: 8.

Результаты: Контент-анализ критериев оценок ближайшего окружения космонавта показал, что в космическом полёте его система ценностей в целом оставалась устойчивой. В качестве наиболее значимых качеств были выделены свойства, относящиеся к категориям *Достижения* (целеустремленность, трудолюбие, опыт, компетенция), *Самоопределение* (интеллект, творческие способности, исследовательский склад ума), *Ограничительный конформизм* (сдержанность, следование правилам). Таким образом, наибольшей ценностью обладали характеристики, обеспечивающие успешность профессиональной деятельности в сложных условиях космического полёта. Важными были также качества, относящиеся к категории *Безопасность* (ответственность, заботливость).

Получены качественные данные, которые послужат в дальнейшем основой для существенных научных выводов.

5.2.13. «Контент» - Дистанционный мониторинг психофизиологического состояния экипажа, а также внутригруппового и межгруппового (экипаж – ЦУП) взаимодействия на основе содержательного анализа коммуникаций в контуре «Экипаж - Центр управления полетами

Решение проблемы оптимизации коммуникации «экипаж-ЦУП» подразумевает необходимость изучения взаимосвязей между особенностями коммуникации и характеристиками внутри- и межгруппового взаимодействия. Кроме того, используемые в настоящее время методы психоневрологического анализа радиопереговоров «экипаж – ЦУП» нуждаются в автоматизации и объективизации (повышение оперативности, минимизация влияния личности эксперта).

Целью эксперимента «Контент» является апробация нового метода оперативной оценки психофизиологического состояния космонавта, а также внутригруппового и межгруппового (экипаж – ЦУП) взаимодействия на основе количественного анализа деятельности космонавтов по коммуникации с ЦУП-М. Основными задачами эксперимента являются: -

- изучение влияния психофизиологического состояния космонавтов на количественные параметры их общения с ЦУП-М в ходе космического полета;

- оценка эффективности межгруппового взаимодействия на основе анализа коммуникаций в контуре «Экипаж – ЦУП»;

- оценка влияния психофизиологического статуса космонавтов, а также внутригруппового и межгруппового взаимодействия на эффективность информационного обмена в контуре «борт-Земля».

Методика исследований: для выполнения эксперимента используются две методики: контент-анализ радиопереговоров «экипаж-ЦУП» и опросник «Социальная карта» (Sociomapping), посвящённый субъективной оценке межгрупповой коммуникации и заполняемый космонавтами в ходе полёта.

Научный эксперимент «Контент» осуществлялся В период экспедиций с МКС-43 по МКС-52 выполнено 144 сеанса эксперимента.

Экспериментальные исследования включали в себя три этапа: предполётное тренировочное занятие; выполнение эксперимента в космическом полёте; послеполётное обследование. Общее количество исследований, проведенных в условиях полёта: 8.

Полученные в ходе экспедиций количественные и качественные экспериментальные данные подтвердили высокую значимость и актуальность изучения коммуникации между членами экипажа и ЦУП, отражающей особенности внутри- и

межгруппового взаимодействия, а также индивидуальных стратегий совладания со стрессом и решения проблемных ситуаций.

Обмен веществ, иммунитет и гормональная регуляция

5.2.14. «Нейроиммунитет» - мультидисциплинарный подход к оценке влияния стресса на иммунитет и системы стресс-реактивности в космосе

Космический эксперимент «Оценка влияния стресса на иммунитет и системы стресс-реактивности в космосе: мультидисциплинарный подход» (КЭ «Нейроиммунитет») – новое комплексное исследование, которое направлено на получение научных знаний о стадиях физиологической адаптации человека к непривычной среде обитания во время длительных космических полетов.

В настоящее время не вызывает сомнений тот факт, что во время космического полета на организм космонавтов действует большое количество стрессоров, которые запускают психологическую и физиологическую системы стрессовой реакции, влияют на эмоциональное и когнитивное состояние человека. По результатам анализов иммунологической реактивности предыдущих научных исследований выявлены изменения в медиаторах иммунной системы у космонавтов и астронавтов, совершивших кратковременные и длительные космические полеты. Показано, что механизмы адаптационной перестройки системы иммунитета человека в ответ на комплексное воздействие факторов космического полета закономерно приводят к изменению параметров, характеризующих состояние врожденного и адаптивного иммунитета.

Являясь логическим продолжением КЭ «Иммуно», проведённого совместно Роскосмосом, ГНЦ РФ – ИМБП РАН и Европейским космическим агентством на РС МКС (2007-2016 гг.), КЭ «Нейроиммунитет» ставит более сложные научные задачи. В настоящее время исследователей особенно интересуют механизмы взаимодействия системы иммунитета и вегетативной нервной (ВНС), эндоканнабиноидной (ЭКС) и пуринергической (ПС) систем. На данный момент установлено, что два основных типа рецепторов ЭКС отвечают: 1) за двигательные и когнитивные функции и 2) опосредуют иммунорегуляторный эффект. Также известно, что пуринергическая система принимает участие в иннервации внутренних органов, а один из эндогенных пуриновых нуклеозидов — аденозин, является сильным противовоспалительным агентом. Переход на новые методы анализа показателей, отражающих изменения иммунитета и сдвиги ВНС, ЭКС и ПС до, во время и после космического полёта позволит исследователям установить

взаимосвязи изучаемых параметров с когнитивной и эмоциональной функциями, морфологией мозга и эпигенетическим влиянием.

Во время полета космонавты проводят взятие образцов венозной крови (утром, натощак) и их обработку (центрифугирование и замораживание), приготовление мазков крови, сбор проб слюны и образцов волос. Собранный биологический материал хранится на борту МКС до спуска на Землю для последующего анализа современными лабораторными методами показателей, характеризующих состояние иммунной, эндоканнабиноидной, пуринергической и эндокринной систем.

Для оценки электрофизиологических характеристик миокарда в течение суток накануне взятия крови регистрируются кардиосигналы с использованием прибора «Космокард». В этот же день космонавты отвечают на вопросы, дающие исследователям возможность оценить как самочувствие космонавта, так и его психологическое состояние в данный момент. Используются такие общепринятые тесты, как «Общий анкетный опрос о состоянии здоровья» (GHQ28), разработанный в 1972 году Д. Голдбергом и В. Хиллером, «Шкала тревоги» (Ч.Д. Спилбергер, 1970), «Шкала депрессии» (Аарон Т. Бек, 1976), направленные на выявление изменений во времени «качества жизни», уровня реактивной и личностной тревожности, когнитивного состояния, а также отражающих возможное возникновение и глубину депрессии.

На первом этапе эксперимента в период подготовки к полету и после приземления, непрерывно в течение 24 – 36 часов, проводится пульсоксиметрия – новый неинвазивный спектрофотометрический метод определения количества кислорода, связанного с гемоглобином, в артериальной крови, а также акселерометрия – регистрации ускорений движения тела для оценки двигательной активности космонавтов. В настоящее время идёт подготовка второго этапа КЭ «Нейроиммунитет», разработка укладок и сертификация нового оборудования для проведения пульсоксиметрии и акселерометрии во время сессий эксперимента на борту МКС.

Для изучения влияния факторов космического полёта на иммунную систему и системы стресс-реактивности, в лабораториях ГНЦ РФ – ИМБП РАН и Мюнхенского университета им. Людвига Максимилиана (LMU) с использованием методов проточной цитофлюориметрии, иммуноферментного анализа, радиоиммунологического анализа, турбидиметрии проводится большой объём клинико-лабораторных исследований. В частности, исследуется изменения в системах врожденного и адаптивного иммунитета, апоптоз иммунокомпетентных клеток, анализируется уровень цитокинов и содержание в крови гормонов и нейропептидов, принимающих участие в развитии стрессовых реакций.

Авторы предполагают, что результаты данного мультидисциплинарного исследования, которое охватывает много направлений, помогут расшифровать механизм изменений, происходящих в иммунной системе и будут важны для понимания процессов взаимного влиянии сознания, стресса и иммунитета, что даст возможность дальнейшего улучшения медико-биологического обеспечения длительных орбитальных и межпланетных полетов, обеспечит необходимые знания для предотвращения нежелательного иммунологического ответа организма при действии различных экстремальных факторов и/или развитии патологических состояний.

5.2.15. «Коррекция» - Исследование эффективности фармакологической коррекции минерального обмена в условиях длительного воздействия микрогравитации

Известно, что одной из основных причин изменений опорно-двигательного аппарата космонавта в условиях длительного космического полета является отсутствие опорной нагрузки на кости скелета, особенно на участки скелета, выполняющие функцию поддержания вертикальной позы. Потеря костной ткани была обнаружена в пяточной кости у трех членов команды миссии Skylab. Последующие данные относительно потери костной ткани были получены в долгосрочных полетах длительностью 75-184 дня, отмечалось снижение плотности кости после длительности миссий до 7 месяцев, при продолжительности полетов от 131 до 312 дней на орбитальной станции «МИР». Исследовалась также динамика изменений маркеров метаболизма костной ткани в полетах. Происходящие изменения объясняются не только эффектом перераспределением жидкостных сред в краниальном направлении в условиях КП, но и ответом костно-мышечной системы на изменение биомеханического профиля нагрузок верхнего плечевого пояса. Полученные результаты согласуются с данными многолетних исследований, проводимых в ИМБП, согласно которым в костях верхней половины тела космонавтов после продолжительных космических полетов отмечается увеличение минерализации.

Показано, что после длительных КП в лучевой и большеберцовой кости большинства обследованных космонавтов происходит специфическое изменение микроархитектуры костной ткани - снижение числа трабекул, увеличение их толщины и степени неоднородности трабекулярной сети.

Задача космического эксперимента «Коррекция» - по результатам мониторинга состояния костной системы космонавтов дать физиологическую оценку наблюдаемых

изменений за период включающий полет на МКС. Предлагаемое исследование состояния костной ткани и маркеров костного метаболизма в условиях длительного космического полета актуально как для теории космической физиологии и медицины, так и для практики, поскольку результаты таких исследований, могут послужить основой для разработки и обоснования специальных методов профилактики детренированности и реабилитации.

Целью КЭ «Исследование эффективности фармакологической коррекции минерального обмена в условиях длительного воздействия микрогравитации» (шифр «КОРРЕКЦИЯ») является определение механизмов потери массы костной ткани и её выраженности во время космического полёта, описание динамики и определение механизмов восстановления и возможности прогнозирования обратимости после возвращения на Землю.

Задачи эксперимента:

– Провести забор биоматериала для оценки биохимических маркёров, отражающих обмен веществ в костной ткани во время полета;

– Оценить массу, геометрию и структуру кости до и после полета;

– Провести сбор данных и регистрацию результатов мониторинга физической нагрузки для оценки механической нагрузки на кость до, во время и после полета;

– Исследовать биохимические маркёры, отражающие обмен веществ в костной ткани до и после полета;

– Провести мониторинг питания космонавтов для оценки обмена веществ в костной ткани.

У ряда космонавтов отмечено снижение минеральной плотности костной ткани в поясничных позвонках (L1-L4) ниже среднегрупповых значений для полетов такой продолжительности. Проекционная минеральная плотность кости в области проксимального эпифиза бедренной кости (суммарно по области исследования, г/см^2) не выходила за пределы среднегрупповых значений для полетов такой продолжительности, однако у одного из космонавтов потери в области шейки бедра были выше среднегрупповых.

Комплексная оценка результатов исследования будет проведена после анализа данных, полученных в отдалённый период восстановления (до +540 суток после полёта).

5.2.16. «МОРЗЭ» - Мониторинг обмена веществ и его регуляции, динамики защитных систем организма и экологических факторов во время космических полетов на МКС

Результаты исследований в реальных космических полетах показали, что в условиях воздействия микрогравитации развивается умеренная гипогидратация организма за счет равномерного уменьшения объемов как внеклеточной, так и внутриклеточной жидкости, однако механизмы нейрогормональной регуляции таких изменений состояния жидкостных сред организма недостаточно изучены. При этом данные наземных модельных исследований свидетельствуют, что между нейрогормональным и психофизиологическим статусом имеется тесная взаимосвязь и взаимовлияние, которые необходимо учитывать на всех этапах космического полета, а также в раннем послеполетном периоде.

В результате проведения КЭ «МОРЗЭ» планируется получить экспериментальные данные о механизмах поддержания водно-электролитного гомеостаза и состояния жидкостных сред, динамики параметров нейрогуморального статуса на начальном и завершающем этапах длительных космических полетов на МКС, выявить связи нейроэндокринного и психофизиологического статуса с параметрами окружающей среды и сроками пребывания в условиях невесомости, а также разработать критерии прогнозирования ортостатической устойчивости членов экипажей в начальном периоде реадаптации к условиям земной гравитации.

Целью эксперимента является получение данных о взаимосвязи особенностей обмена веществ, его регуляции, состояния психофизиологического статуса и влияния параметров окружающей среды на организм человека в условиях длительных орбитальных полетов на МКС для совершенствования системы медицинского контроля и профилактики нарушений обмена веществ и неблагоприятных воздействий факторов космического полета.

Решаемые задачи:

1) получение данных о механизмах поддержания водно-электролитного гомеостаза и состояния жидкостных сред, гормонального и иммунного статуса на начальном и завершающем этапах длительных космических полетов на МКС и сравнение их с данными до и после полета;

2) получение данных о связи нейроэндокринного и психофизиологического статуса с параметрами окружающей среды и сроками пребывания в условиях невесомости и сравнение их с данными до и после полета;

3) получение данных о возможности прогнозирования состояния иммунологической защиты и ортостатической устойчивости членов экипажей в период ранней реадаптации к условиям земной гравитации.

Предварительные результаты исследований показывают, что у космонавтов отмечались адекватные для микрогравитации изменения, однако у части космонавтов различия полетных и дополетных абсолютных значений тощей и жировой составляющих массы тела превышали среднегрупповые, что могло быть обусловлено как индивидуальными особенностями организма, так и режимом труда и отдыха и интенсивностью занятий физических упражнений.

Микробиологические исследования

5.2.17. «Электронный нос» - Исследование развития бактериальной и грибной микрофлоры на поверхностях материалов в условиях космического полета с помощью портативной газовой сенсорной системы (Э-НОС)

Известно, что важнейшим условием эксплуатации ПКК является их экологическая безопасность, включающая обеспечение надежного контроля за физическими, химическими и биологическими параметрами среды обитания, в том числе за микробиологическим фактором. Большой объем исследований особенностей формирования и поведения микрофлоры в условиях космических полетов был выполнен в процессе многолетней эксплуатации орбитального комплекса «Мир» и в настоящее время проводится на МКС. С учетом имеющихся данных можно констатировать, что жизнедеятельность микроорганизмов в среде космического объекта сопровождается возникновением как медицинских, так и весьма серьезных технических (технологических) рисков, в основе которых лежит резидентное заселение декоративно-отделочных и конструкционных материалов интерьера и оборудования бактериально-грибными ассоциациями.

Особо важную роль в появлении технических рисков играют бактерии и грибы, так называемые технофилы. Эти микроорганизмы в результате своего развития на борту ПКК способны вызывать неисправности в работе различной аппаратуры, повреждать различные конструкционные материалы, в том числе синтетические полимеры, вызывать или провоцировать биокоррозию металлов.

Поэтому необходимым условием автономной жизнедеятельности людей при длительном пребывании в объектах с искусственной средой обитания является обеспечение санитарно-микробиологической безопасности, что предусматривает

постоянный и надежный оперативный контроль за микробиологическими параметрами среды. Учитывая периодически возникающую необходимость микробиологических исследований поверхностей интерьера и оборудования в процессе полета (например, при обнаружении на панелях различных пятен, изменений окраски, визуально напоминающих рост плесневых грибов или необходимость оценки качества дезинфекции, проводимой по рекомендациям с Земли), важным представляется создание оборудования, позволяющего проводить такие исследования и оценку их результатов членами экипажа непосредственно на борту, не отправляя пробы на Землю.

Составные части комплекта Э-НОС в контейнере (а); Укладки «Э-НОС. ВЗ» и «Э-НОС. Фильтры» (б)

Для таких целей был разработан новый образец оборудования – научная аппаратура Э-НОС и поставлен эксперимент на борту МКС, в котором с использованием данного прибора исследуется микробная загрязненность образцов различных материалов и поверхностей интерьера РС МКС. В настоящее время аппаратура Э-НОС способна определять количественные уровни микробной контаминации поверхностей различных материалов, дифференцировать таксономическую принадлежность микроорганизмов, развивающихся на этих поверхностях, а так же идентифицировать некоторые виды грибов и бактерий, относящиеся к родам *Bacillus, Staphylococcus, Penicillium, Aspergillus*. Данные микроорганизмы доминируют в микробном сообществе МКС и являются наиболее активными биодеструктарами материалов, которые используются в космической технике.

5.2.18. «Пародонт-2» - «Исследование состояния тканей пародонта в условиях космического полета»

Воздействие на человека специфического комплекса факторов, присущих условиям космического полета (КП), может приводить к изменению некоторых показателей

функционального состояния полости рта и развитию воспалительных изменений слизистой полости рта и десен. На протяжении многих лет исследования состояния полости рта проводились у испытуемых как в условиях повседневной жизни для получения нормативных показателей, характеризующих индивидуальные особенности, так и при наземном моделировании условий КП, а также у космонавтов в период подготовки, во время КП и после его завершения.

Было показано, что пребывание в условиях, подобных условиям космического полета, запускает целый ряд механизмов, приводящих к патологическим процессам в ротовой полости. В первую очередь, скорость слюноотделения снижается в 1,5 раза, это приводит к ухудшению естественного очищения полости рта, увеличению содержания осадка в слюне более 5%, обильному отложению зубного налета и камня, и в конечном счете сопровождается изменениями состояния микрофлоры и устойчивости слизистых оболочек полости рта к инфекциям. Как в космических полетах, так и в наземных модельных исследованиях, связанных с воздействием неблагоприятных факторов среды, наблюдалась общая тенденция в реакции пародонта на экстремальные воздействия. Представители нормального биоценоза в полости рта исчезали или их число снижалось, появлялись парадонтопатогенные бактерии. Т.е. обычная, характерная для испытуемого микрофлора вытеснялась бактериями, способными вызывать заболевания пародонта. Кроме того, повышалось количество иммуноглобулинов в ротовой жидкости и нарушалось функциональное состояние сосудов пародонта.

Проведенные ранее исследования позволили объективно оценивать состояние полости рта и контролировать качество гигиенического ухода за зубами и деснами во время КП.

Космический эксперимент «Пародонт-2» продолжает эти работы и нацелен на изучение анаэробной составляющей микробиоты пародонта и иммунологических показателей в десневой жидкости. В эксперименте исследуют анаэробные бактерии, для которых выявлена четкая связь с прогрессированием заболевания или играющие второстепенную роль в развитии заболевания пародонта. Так, например, если у пациента, помимо других пародонтопатогенов, присутствует Treponema denticola — это сигнал того, что патогенный процесс из локального может перейти к генерализации. Если же у пациента обнаруживается Prevotella intermedia как моноинфекция, вероятнее всего, это означает самое начало заболевания. Если она обнаруживается с другими пародонтопатогенами, это указывает на прогрессирование заболевания, а при стабилизации процесса она, как правило, отсутствует.

Для осуществления этих исследований были разработаны: комплект «Микробный контроль» и укладка «Десневая жидкость».

Эксперимент проведен в пяти экспедициях на Международную космическую станцию. Забор проб проводили пять российских членов экипажа. Длительность экспедиций составляла от 167 до 198 дней. При проведении исследований пробы десневой жидкости отбирались стерильным тампоном, который прикладывался к месту отбора на 2 минуты, а забор микробиологических проб осуществлялся с помощью специальных пробоотборников. Исследования проводили на 90-е, 60-е, 14-е сутки до старта, единожды в период полета за 1-2 суток до отправления пробоотборников на Землю, на 1-е, 7-е сутки после посадки.

Внешний вид комплекта «Микробный контроль» (фото – ГНЦ РФ-ИМБП РАН)

Внешний вид укладки «Десневая жидкость» (фото – ГНЦ РФ-ИМБП РАН)

Было показано, что у всех обследуемых испытателей наблюдается снижение уровня определенных иммуноглобулинов в десневой жидкости, что может говорить о возможности возникновения воспалительного процесса в тканях пародонта. Кроме того, в ротовой полости всех обследуемых определялось наличие пяти основных пародонтопатогенных видов микроорганизмов – Prevotella intermedia, Tannerlla forsythia, Treponema denticola, Aggregatibacter actinomycetemcomitans, Porphyromonas gingivalis.

На основании полученных результатов может быть разработан комплекс гигиенических мероприятий с рекомендациями по объему, ассортименту и режиму

использования средств, включая применение современных гигиенических средств, таких как зубные щетки и пасты, флоссы и зубочистки, специальные салфетки, смоченные зубным эликсиром, жевательную резинку. При этом важен индивидуальный выбор средств ухода за полостью рта и зубами каждым космонавтом в период наземной подготовки к КП. С учетом результатов вышеперечисленных исследований должен формироваться комплекс гигиенических средств, доставляемых на МКС в составе наборов «Комфорт». При необходимости возможна корректировка средств ухода за полостью рта и зубами космонавтов во время полета.

Таким образом, в данной работе продолжено изучение функционального состояния полости рта и зубов, а также выявление факторов риска развития воспалительных заболеваний пародонта под влиянием экстремальных факторов. На основании результатов исследований специалисты подбирают адекватные средства профилактики, в том числе средства личной гигиены, не только для участников космических полетов, но и для различного контингента лиц, подвергаемых воздействию экстремальных факторов на Земле.

Фундаментальные исследования

5.2.19. «Биориск-МСН» - Исследование влияния факторов космического пространства на состояние систем «микроорганизмы-субстраты» применительно к проблеме экологической безопасности космической техники и планетарного карантина»

Поиск жизни на других планетах является важной задачей для ученых, занимающихся вопросами возникновения и эволюции жизни. Обнаружение внеземных форм биологической материи на других планетах является главной целью исследований космического пространства. С другой стороны, среди гипотез возникновения жизни на Земле особое место занимает теория панспермии. Панспермия - гипотеза о повсеместном распространении во Вселенной зародышей живых существ. Согласно панспермии, в мировом пространстве рассеяны зародыши жизни (например, споры микроорганизмов), которые движутся под давлением световых лучей, а попадая в сферу притяжения планеты, оседают на ее поверхности и закладывают на этой планете начало живого.

Согласно этой теории, предложенной в 1865 году немецким ученым Г. Рихтером и окончательно сформулированной шведским ученым Аррениусом в 1895 году, жизнь могла быть занесена на Землю из космоса. Наиболее вероятно попадание живых организмов внеземного происхождения с метеоритами и космической пылью. Это предположение основывается на данных о высокой устойчивости некоторых организмов, например, микробных спор к радиации, глубокому вакууму, низким температурам и

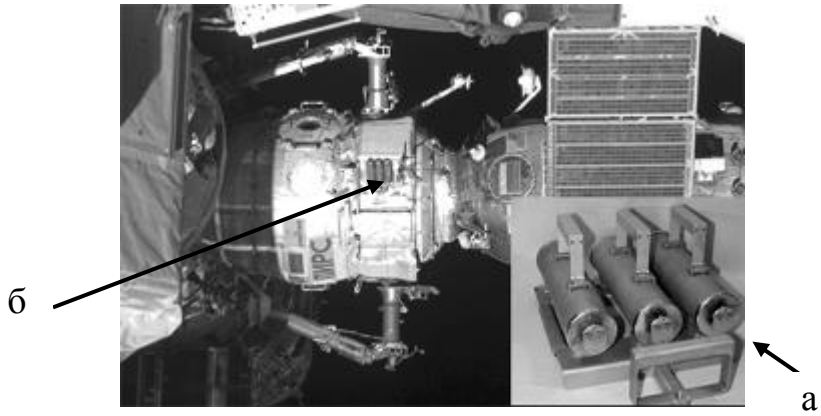
другим экстремальным воздействиям. В связи с этим, возникали вопросы, насколько возможно такое перенесение живой материи с одной планеты на другую и как это могло быть осуществлено.

Оценка рисков, связанных с возможным переносом биологического материала в межпланетном пространстве, вызывает огромный интерес у ученых, занимающихся космическими исследованиями.

В ГНЦ РФ Институте медико-биологических проблем РАН была создана программа экзобиологических экспериментов и аппаратура, позволяющая экспонировать биологические объекты в космическом пространстве, под общим названием «Биориск». Данная аппаратура предназначена для проведения исследований на внешней стороне Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС).

Целью эксперимента «Биориск» является оценка пределов выживания в космическом пространстве у широкого спектра покоящихся стадий бактерий, грибов, животных и растений с целью оценки повреждающего действия факторов космической среды на эволюционно разнесенные живые существа, находящиеся в стадии криптобиоза (состояния замедления жизненных функций и обезвоживания тканей организма при длительном воздействии неблагоприятных условий окружающей среды).

Методика проведения эксперимента «Биориск» с использованием контейнеров «Биориск МСН» заключалась в длительном (сравнимом с продолжительностью пилотируемой экспедиции на Марс) экспонировании тест-микроорганизмов и других организмов, стоящих в эволюционном ряду на более высоких уровнях развития, на внешней поверхности служебного модуля МКС. С января 2005 г. по настоящее время было проведено несколько серий экспериментов. На внешней оболочке РС МКС была размещена аппаратура эксперимента «Биориск», в которой находились образцы. Приблизительно через каждые 6 месяцев образцы материалов с тест-микроорганизмами доставлялись на Землю.



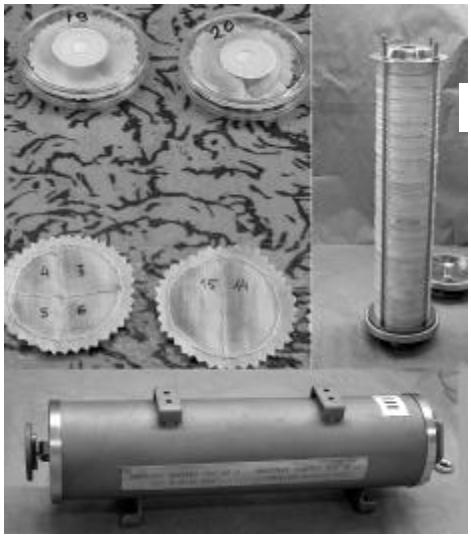
Контейнеры «Биориск-МСН» (а) и их расположение на стыковочном узле «Пирс» (б). Фотография РОСКОСМОС.

В качестве биологических тест-объектов были использованы 68 видов покоящихся форм организмов, принадлежащих к различным таксономическим группам - от бактерий до позвоночных животных и высших растений (споры бактерий и плесневых грибов, семена растений, покоящиеся яйца низших ракообразных, личинки комара, сухая икра карпозубой рыбы и др.)

a

b

c



Чашки Петри и пакеты с тест-объектами из хлопчатобумажной ткани (a), сборка из 24 чашек Петри (b), контейнер «Биориск-МСН» в сборе (c). Фотография ГНЦ РФ ИМБП РАН.

Результаты исследований систем «микроорганизмы - конструкционные материалы» после доставки трех контейнеров «Биориск-МСН» в лабораторию показали, что бактерии и грибы могут оставаться жизнеспособными даже после 31 месячного экспонирования в открытом космическом пространстве. При этом, у выживших штаммов наблюдалось усиление агрессивной (нуклеазной) активности и увеличение устойчивости к препаратам с антимикробной активностью. Так, у штаммов бактерий вида Bacillus subtilis # 20, по сравнению с фоном, после 18 месячного экспонирования отмечено появление ДНКазной активности, а после 31 месячного экспонирования наблюдалось увеличение образования данного фермента в два раза по сравнению с предыдущим периодом. Также наблюдалось повышение устойчивости к 6 антимикробным препаратам из 8 изученных. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при воздействии на микроорганизмы ряда неблагоприятных факторов присущих открытому космическому пространству, выживают наиболее резистентные и агрессивные штаммы.

Анализ результатов проведенных исследований показал также, что исследуемые семена высших растений, за исключением семян томата и никандры, сохраняли жизнеспособность даже после 31 месячной экспозиции в космическом пространстве.

Семена риса и ячменя из первого контейнера «Биориск-МСН» были пророщены и в дальнейшем выращивались в лабораторных и полевых условиях на базе Института Биоресурсов университета Окаяма (Япония) в течение 9 месяцев. Прорастаемость семян составила 82% (41/50) для семян ячменя Haruna Ninjo и 98% (49/50) для семян ячменя Akashinriki. Далее все проросшие растения Haruna Ninjo и Akashinriki развивались нормально и не имели статистически достоверных отклонений в морфологических и физиологических свойствах растений в сравнении с растениями, выросшими из контрольных семян. Прорастаемость семян риса составляла 44 % (22/50) для сорта риса SAS и 44% (23/50) для сорта KAS. Однако только 9 проросших семян сорта SAS оказались жизнеспособны и в дальнейшем развились в нормальные растения, все остальные проростки погибли, как и все проросшие семена сорта KAS. При сравнительном анализе выживших растений риса, как и в случае с ячменем, статистически достоверных отклонений в морфологических и физиологических свойствах растений из космического эксперимента и контроля обнаружено не было.

В лаборатории «Биологические системы жизнеобеспечения человека» ИМБП РАН были проведены исследования роста и развития растений редиса (*Raphanus sativus*) и горчицы красной, выросших их семян, экспонировавшихся в космическом пространстве. В процессе выращивания осуществлялся контроль за прохождением основных фаз филогенеза у опытных и контрольных растений. В результате показано, что опытные и контрольные растения горчицы красной и редиса не имели различий в скорости роста и прохождении основных фаз развития. Статистически достоверных отличий в морфометрических характеристиках растений из обоих вариантов опыта и контроля не обнаружено (Рис. 3).

а) б)

Растения редиса, выращенные из семян риса, экспонировавшихся в космическом пространстве (а), и контрольные (б). (Фотография ГНЦ РФ ИМБП РАН).

Таким образом, показано, что длительное экспонирование семян высших растений в условиях открытого космоса в контейнерах «Биориск-МСН» не привело к изменению биологических характеристик семян редиса и листовой горчицы и растений, выращенных из этих семян. Не было различий между

опытными и контрольными растениями в содержании в их листьях отдельных фотосинтетических пигментов и в их соотношении друг к другу.

Также были проведены исследования выживаемости покоящихся стадий животных организмов: диапаузирующих яиц нескольких видов беспозвоночных, относящихся к трем отрядам ракообразных, криптобиотических личинок хирономиды и икры карпозубой африканской рыбы. Реактивация после диапаузы, исследования способности к дальнейшему росту и репродукции яиц низших ракообразных и икры карпозубой рыбы проводились на базе лабораторий гидробиологии и экспериментальной энтомологии Зоологического институт РАН с использованием оборудования, имитирующего свето-температурные условия, оптимальные для каждого вида беспозвоночных. Исследования содержания трегалозы в покоящихся яйцах низших ракообразных проводились в лаборатории д-ра Т. Окуды (Национальный агробиологический институт, Япония).

В каждом из отрядов получены достоверные результаты по успешному переживанию воздействия факторов космического пространства покоящимися стадиями низших ракообразных. Вместе с тем, некоторые виды не смогли пережить длительное нахождение в открытом космосе, что было связано с содержанием воды в покоящихся яйцах (реактивация отмечалась только у высушенных эмбрионов), различной глубиной диапаузы (реактивация покоящихся яиц после экспонирования в космосе была достигнута только у эмбрионов с глубокой диапаузой), с содержанием определенного дисахарида – трегалозы (повышенное содержание трегалозы, по всей вероятности, приводит к увеличению выживания).

Таким образом, в процессе длительного (31 месячного) экспонирования систем «микроорганизмы - искусственные субстраты» на внешней поверхности Международной космической станции установлена возможность длительного, сравнимого с межпланетным перелетом Земля-Марс-Земля, сохранения жизнеспособности споровых форм бактерий и микроскопических грибов в условиях космического пространства. Семена высших растений способны сохранять высокую жизнеспособность после 13, 18 и 31 месячного экспонирования в космическом пространстве. Несмотря на избыточную температуру и другие факторы космического пространства, семена прорастали и давали растения, по генетическим, биохимическим, физиологическим и морфологическим свойствам не отличающиеся от контрольных растений. Способностью к переживанию условий космического пространства обладают также наименее обводненные эмбрионы низших ракообразных, находящиеся в состоянии глубокой диапаузы.

Поскольку показано, что живые организмы способны выживать в открытом космосе, гипотетически в отдаленном будущем возможно занесение чужеродных субстанций с других планет на Землю, а также на другие планеты — с Земли. Кроме того, опасность могут представлять и вернувшиеся земные микроорганизмы, которые слетали в космос, побывали на другой планете и неизвестным образом трансформировались в ее

атмосфере. Таким образом, результаты данных исследований имеют не только существенный научный интерес, но и неоценимое практическое значение для обоснования стратегии планетарного карантина при осуществлении будущих межпланетных полетов.

5.2.20. «Полиген» - Выявление генетических особенностей, определяющих индивидуальные различия в устойчивости биологических объектов к факторам длительного космического полета (исследования на плодовой мушке *Drosophila melanogaster*).

Возможность повышения темпов мутационного процесса остается актуальной проблемой медико-биологического обеспечения космических полетов. Мутация - стойкое, наследуемое потомками данной клетки или организма, преобразование генотипа, происходящее под влиянием внешней или внутренней среды. Нарушения структуры ДНК могут проявляться в повреждениях нуклеиновых оснований, углеводных компонентов, одно- и двунитевых разрывах, причем в случае ошибок репарации последние являются источником генетической нестабильности и могут быть летальными для клетки. Образование двойных разрывов ДНК используется как индикатор интоксикации клетки или предиктор ее гибели. В подавляющем большинстве случаев мутации негативным образом отражаются на состоянии живых объектов. Экзогенные факторы, вызывающие образование мутаций, могут иметь как физическую (например, ионизирующая радиация), так и химическую природу. В космическом полете биологические объекты испытывают комплексное воздействие факторов микрогравитации, ионизирующего излучения, вибраций, которые могут сочетаться с измененным составом атмосферы.

Устойчивость к возникновению мутаций характеризуется значительной индивидуальной вариабельностью. Изучение мутационного процесса у человека связано со значительными методическими трудностями, поэтому эксперименты в данной области проводятся преимущественно с использованием модельных биологических систем. *D. melanogaster* находит широкое применение в качестве модельных организмов с целью исследования функциональной роли генов и систем генов человека, что объясняется наличием у них большого числа генов-ортологов, то есть гомологичных генов, восходящих к общему предшественнику и приобретшими отличия в результате независимой эволюции. Эксперименты на плодовой мушке *D. melanogaster* с хорошо изученным генотипом и позволяют получать данные об эффектах комплексного воздействия космического полета на уровне целостного организма, чему также способствует детальная изученность биологических и генетических характеристик этого биологического вида.

Исследования с участием космонавтов и эксперименты с модельными организмами продемонстрировали активизацию мутационного процесса в

условиях космического полета. В то время для человека показана корреляция с поглощенными дозами ионизирующего излучения, у классического объекта генетики плодовой мушки *D. melanogaster* наблюдаемые после космического полета эффекты характеризуются противоречивостью. Возможно, неоднозначность последствий пребывания дрозофил в космосе связана со значительно более высокой резистентностью насекомых к мутагенному воздействию радиации, а возникновение мутационных нарушений обусловлено влиянием других факторов, присутствующих на борту космических летательных аппаратов.

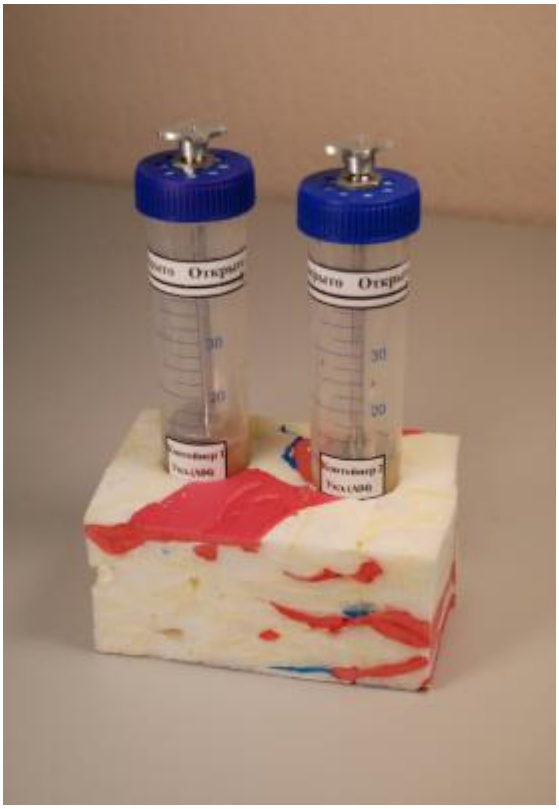
Эксперимент «Полиген» проводится с целью выявления генетических факторов, связанных с устойчивостью к возникновению мутаций во время космического полета. Объект исследования - плодовая мушка *D. melanogaster*, биологический вид, показавший способность длительное время, на протяжении многих поколений существовать в искусственной среде обитания. Малые размеры дрозофил упрощают их содержание в лабораторных условиях при проведении экспериментов. Использование дрозофил в космических экспериментах обладает существенными преимуществами по сравнению с клеточными моделями, так как позволяет на интактном организме исследовать эффекты космического полета, возникновение которых может быть обусловлено взаимодействием различных функциональных систем насекомого.

Ионизирующее излучение считается основным фактором, повышающим вероятность образования мутационных нарушений в космическом полете, при этом для дрозофил, обладающих значительно более высокой, чем у человека, радиационной устойчивостью, также неоднократно была показана активизация мутагенеза после пребывания в космическом полете. В исследованиях частоты доминантных летальных мутаций при различных условиях проведения КЭ «Полиген» в предыдущих сеансах эксперимента были получены указания на возможность участия экологического стресса в механизмах возникновения мутаций в космическом полете.

В послеполетном периоде 7 и 8 сеансов КЭ «Полиген» были проведены пробные исследования показателей двигательной активности *D. melanogaster* популяции ВВ-09, которые показали изменение паттернов двигательных реакций дрозофил.

В сеансе 9 КЭ «Полиген» решались следующие задачи:

- экспонирование *D. melanogaster* природной популяции ВВ-09 условиям космического полета на борту МКС;
- набор статистического материала по частоте возникновения доминантных летальных мутаций и показателям стабильности индивидуального развития в популяции ВВ-09;
- исследование показателей двигательной активности у дрозофил после пребывания в условиях космического полета.



Заправленные кормом и биообъектами контейнеры перед установкой в укладке «Дрозофила-2»

Укладка «Дрозофила-2» № А04 в сборе до полета

Показатель доминантных летальных мутаций (ДЛМ) отражает частоту эмбриональной гибели в первом поколении потомства дрозофил, экспонированных условиям космического полета, наиболее распространенной причиной которой является разрыв обеих нитей молекулы ДНК. Данный вид мутаций могут вызвать различные факторы, в том числе ухудшением экологической обстановки для биообъектов. После полетов продолжительностью 26 и 18 суток (сеансы КЭ «Полиген» 4 и 7 соответственно), в ходе которых в летных и контрольных контейнерах появлялось второе поколение *D. melanogaster*, наблюдалось повышение частоты доминантных летальных мутаций, что может быть связано с превышением оптимальной плотности популяции в контейнерах и накоплением в среде продуктов метаболизма дрозофил. После полетов продолжительностью 7 – 15 суток (сеансы КЭ «Полиген» 2, 3, 5, 6, 8 и 9), напротив, показатель ДЛМ в исследуемой природной популяции ВВ-09 не отличался от нормы. Транспортировка укладки «Дрозофила-2» с места приземления в открытом виде, по-видимому, положительно сказывается на состоянии воздушной среды в контейнерах, находившихся с момента деактивации в изолированном объеме укладки в отсутствие внешней циркуляции воздуха в течение длительного времени (приблизительно 40 часов), и также позволяет сохранить жизнеспособность взрослых мушек, вылет которых из куколок происходит на этапе пребывания на МКС. Не исключено, что экологический стресс, связанный с условиями обитания биообъектов во время эксперимента, является одним из основных индукторов доминантных летальных мутаций.

Показатели флуктуирующей асимметрии ФА1 и ФА2 не проявляли заметных различий между летной и контрольной выборками дрозофил. В 9 сеансе КЭ «Полиген» не получено подтверждения эффекта снижения показателя отрицательного геотаксиса у мух после космического полета. Повышение характеристик двигательной активности - индекса двигательной активности, частоты и длительности инициации побежек, в летных выборках *D. melanogaster* по сравнению с наземным контролем, предполагает активизацию нервной системы исследуемых биообъектов под влиянием условий космического полета.

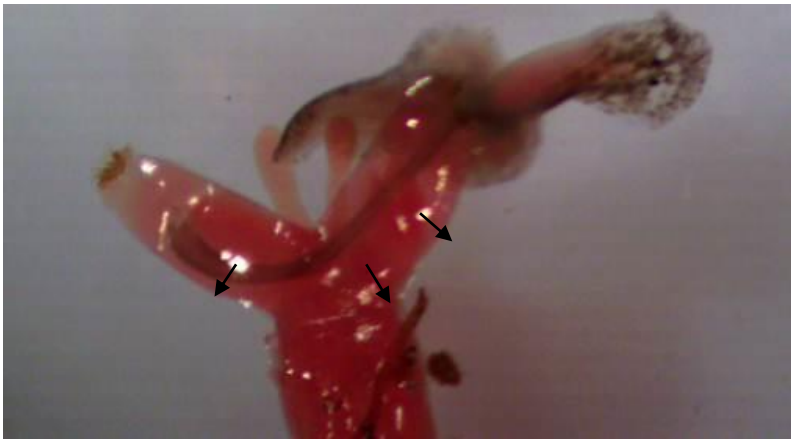
5.2.21. «Регенерация-1» - Исследование влияния различных факторов космического полета на процессы регенерации у биообъектов по морфологическим и электрофизиологическим показателям

Выяснение значимости силы тяжести в различных жизненных процессах у земных организмов – парадигма космической биологии. Целью КЭ «Регенерация-1» является оценка факторов космического полета в процессах регенерации животных организмов на примере ресничного

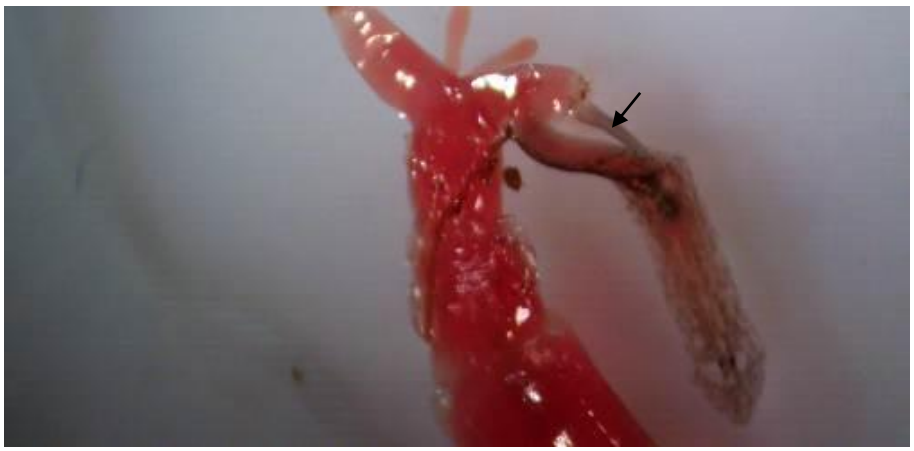
плоского червя пресноводной планарии Girardia tigrina. Задача КЭ в 47/48 экспедиции состоит в изучении морфологических параметров планарий, регенерировавших из отдельных фрагментов тела в условиях ОП.

Girardia tigrina размножается бесполым путем. При достижении определенных размеров задняя часть тела постепенно отшнуровывается и затем полностью отходит от ее передней части. В течение нескольких суток из обеих частей тела регенерируют две планарии. То же самое имеет место при экспериментальном расчленении планарий на отдельные фрагменты. Сравнительно недавно была установлена причина чрезвычайно высокой регенерационной способности планарий. Эти животные содержат большое количество стволовых клеток, которые при повреждениях организма активируются, интенсивно размножаются и в конечном итоге дифференцируются в недостающие части тела. Планария – хищник. Она охотится на различных водных животных, которые могут превосходить ее своими размерами. Планария быстро подплывает к жертве и обволакивает ее слизью. Затем из тела с брюшной стороны выступает мускулистая глотка, которая проникает внутрь жертвы и высасывает ее содержимое.

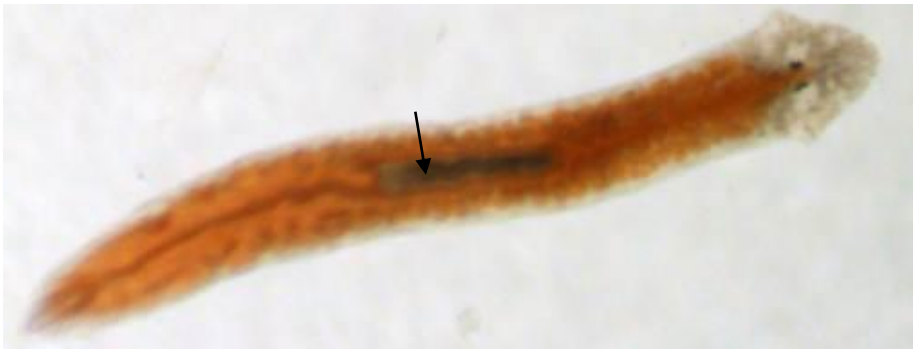
Пресноводная планария Girardia tigrina в «голодном» состоянии. Стрелкой здесь и на рисунках 2-4 отмечена глотка планарии



Глотка планарии погружена в тело мотыля



Планария после насыщения кровью отходит от тела мотыля



Планария непосредственно после кормления. Внутри тела планарии просматривается трехветвистый кишечник

Локомоция планарий в воде осуществляется поступательными движениями вперед при помощи биения многочисленных ресничек, расположенных на брюшной стороне тела.

Регенерация полноценной особи из небольшого фрагмента тела всего за 6-7 суток, небольшие размеры, выносливость и неприхотливость к условиям содержания и легкость манипуляции для исследователя определили выбор планарии для КЭ.

Цель КЭ: Оценка значимости факторов космического полета в процессах регенерации у животных организмов.

Предварительные результаты КЭ показали высокую регенерационную способность пресноводных планарий Girardia tigrina в ОП. У полетных фрагментов планарий отмечалось восстановление недостающих частей тела. Локомоторная активность и пищедобывательная реакция регенерировавших планарий были в пределах нормы.

5.2.22. «АКВАРИУМ-AQH» - Исследование влияния условий космического полета на эмбриогенез, онтогенез, органогенез и поведение гетеротрофных организмов (рыб), обитающих в водной среде»

Японское аэрокосмическое исследовательское агентство (JAXA) и Федеральное космическое агентство (Роскосмос) 5 июля 2012 г. подписали

Соглашение о совместном проекте по проведению космических экспериментов (КЭ) с целью изучения гидробионтов на борту Международной космической станции (МКС).

Совместный проект представлял взаимную выгоду для каждого агентства, в частности, в плане эффективного использования времени, снижения стоимости исследований и используемых ресурсов по сравнению с экспериментами, отдельно проводимыми каждым из агентств.

Распределение биологического материала (особенно полетных образцов) между сторонами производилось на основании отдельных Соглашений при проведении каждого этапа совместных КЭ «Аквариум-AQH».

Для проведения совместных российско-японских КЭ по изучению гидробионтов в условиях космического полета обе стороны изготовили научное оборудование.

Задачами совместных экспериментов являлось:

- исследование поведения рыб в условиях космического полета;
- изучение возможности длительного (до 90 суток) содержания рыб на борту орбитальной станции;
- исследование полового поведения рыб в условиях невесомости;
- исследование поведения в условиях невесомости новорожденных (в случае их появления) рыб (мальков);
- исследование особенностей эмбрионального развития рыб в условиях космического полета;
- исследование развития скелетно-мышечной системы у рыб в процессе их онтогенеза в условиях невесомости;
- разработка способов и методов культивирования водных гетеротрофных организмов на борту космических аппаратов применительно к биологическим системам жизнеобеспечения экипажей пилотируемых космических комплексов;
- изучение любых других медико-биологических/научных вопросов/объектов от научных сообществ, утвержденных каждой из сторон.

КЭ проводились на японском оборудовании AQH («Водная среда обитания»), расположенном в модуле KIBO и поставлявшемся на борт МКС за счет ресурсов JAXA. Для доставки и возвращения рыб и биологического материала за счет ресурсов Роскосмоса было использовано российское оборудование «AQH-TC», «AQH-SC», «AQH-FC», «AQH-BF».

JAXA и Роскосмос с участием ОАО «РКК Энергия» им. С.П. Королева и ГНЦ РФ – ИМБП РАН провели две длительных сессии экспериментов «Аквариум – AQH» в 2012 и 2014 г.г. и одну копоткую сессию в 2014 г в японском экспериментальном модуле KIBO на МКС.

- ✓ «Аквариум-AQH» №1 (Медака) в ноябре-декабре 2012 г. (длительная сессия).
- ✓ «Аквариум-AQH»№2 (Медака и хирономиды) в феврале-марте 2014 г. (короткая сессия)
- ✓ «Аквариум-AQH»№3 (Данио) в сентябре-ноябре 2014 г.

(длительная сессия)

В 2016-2017 г.г. проведены исследования биологического материала, полученного в российско-японском эксперименте «Аквариум- AQH» №3. Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Первичные данные, полученные с использованием метода кэп-анализа экспрессии генов (CAGE) для оценки изменений промоторного ландшафта в тканях глаза рыб *D. rerio*, показали существенную самосогласованность, что позволяет вычленить воздействие эффекта космического полета на экспрессию генов в тканях организма.

2. Анализ транскрипционного ответа на воздействие факторов долговременного космического полета позволил выявить группы генов, значимо изменяющих их экспрессию по сравнению с земными условиями. Значительная часть таких генов активируется в начальной стадии космического полета в ответ на стресс при изменении ключевых физических параметров среды обитания, однако в дальнейшем происходит снижение числа дифференциально экспрессируемых генов за счет адаптационных процессов.

Количество генов значимо изменяющих экспрессию на различных временных точках в течение эксперимента.

3. Функциональный анализ продемонстрировал значительную вовлеченность генов, изменяющих экспрессию в важные метаболические

пути. В том числе, в условиях космического полета установлено влияние микрогравитации на регуляцию циркадного ритма.

4. Выявлено специфическое для космического полета повышение экспрессии генов, кодирующих ряд важных транскрипционных факторов, что может свидетельствовать о наличии особой системы регуляции транскрипции, чувствительной к условиям космического полета.

5. При гистологических исследованиях препаратов поперечных срезов рыб *Danio rerio* были выявлены некоторые различия в гистологической картине отдельных органов и тканей между рыбами полетной и контрольной групп. Наибольшие изменения обнаружены в гравитационно-зависимых органах: вестибулярном аппарате и газовом (плавательном) пузыре.

Радиационная безопасность

5.2.23. «Матрешка-Р» - Исследование динамики радиационной обстановки на трассе полета и в отсеках международной космической станции и накопления дозы в шаровом и антропоморфном фантомах, размещенных внутри и снаружи станции

КЭ «Матрешка-Р» направлен на исследование динамики радиационной обстановки на трассе полета и в отсеках Международной космической станции и накопления дозы в шаровом и антропоморфном фантомах, размещенных внутри и снаружи станции.

Задачи КЭ «Матрешка-Р», решаемые в период МКС-49/50:

- мониторинг радиационных полей на трассе полета станции, включая определение коэффициента качества излучения посредством измерения вклада в дозу в области высокой линейной передачи энергии (ЛПЭ) на основе комбинированного метода с использованием термолюминесцентных (ТЛД) и твердотельных трековых детекторов (ТТД), а также телескопов из полупроводниковых детекторов;
- проведение на борту МКС одновременных измерений поглощенной и эквивалентной дозы и динамики мощности поглощенной и эквивалентной доз в различных условиях защищенности, а также внутри тканеэквивалентного шарового фантома в РС МКС и в модуле «Кибо»;
- исследование вклада в дозу нейтронов в отсеках АС и РС МКС;
- исследование радиационно-защитных свойств водосодержащего материала по ослаблению дозы заряженных частиц и дозы нейтронов.

В ходе КЭ «Матрешка-Р» в условиях длительного космического полёта выполняются измерения распределения потоков ионизирующих частиц и дозы радиации, включая вклад в дозу нейтронов, как в отсеках станции, так и внутри фантомов (шарового и антропоморфного) в зависимости от глубины проникновения частиц в имитируемое фантомами «тело» человека.

Начиная с января 2004 г. в КЭ «Матрешка-Р» используется шаровой тканеэквивалентный фантом диаметром 35 см с внутренней сферической полостью диаметром 10 см, что позволяет имитировать само-защищенность представительных точек критических органов членов экипажа. Подобный фантом рекомендован соответствующей российской нормативной документацией и изготавливается из тканеэквивалентного вещества, имитирующего по своему составу тело человека. Масса оснащенного фантома составляет 32 кг.

Шаровой тканеэквивалентный фантом КЭ «Матрешка» представляет собой многофункциональный блок экспериментального оборудования, предназначенный для изучения распределения по глубине тела доз излучения, создаваемых различными компонентами космической радиации, включая нейтроны, на околоземной орбите.

Кроме того, начиная с этапа I, в КЭ «Матрешка-Р» используется 6 сборок комплекта «СПД», оснащенных пассивными термолюминесцентными и твердотельными трековыми детекторами. Габаритные размеры каждой сборки «СПД» - 118 х 63 х 43 мм, масса не более 0,250 кг. Для повышения достоверности получаемых данных и набора достаточной статистики измерений сборки «СПД» располагаются в 6 местах, предназначенных для их постоянного экспонирования.

Характеристики радиационного поля на этапе I КЭ измерялись только с помощью пассивных термолюминесцентных (ТЛД) и твердотельных трековых детекторов (ТТД), расположенных в различных местах внутри и на поверхности фантома, соответствующих расположению критических органов тела человека. Однако эти детекторы дают только интегральную (за весь период экспонирования) характеристику радиационного поля.

В ходе эксперимента, начиная с II этапа, выполняются измерения распределения потоков ионизирующих частиц и дозы радиации с помощью, как пассивных датчиков, так и активной аппаратуры, позволяющей измерять параметры радиационного поля в динамике, т.е. в зависимости от времени измерения. В качестве активной аппаратуры в эксперименте в настоящее время используется НА «БАББЛ-дозиметр» этапа III.

1.4 Выполнение КЭ «Матрешка-Р» в предыдущих экспедициях

В период с МКС-8 по МКС-28 проведено 24 сеанса эксперимента "Матрёшка-Р" с пассивными детекторами (включая НА "Фантом"), 38 сеансов – с НА "Баббл-дозиметр".

НА «Мосфет-дозиметр» работала в период с МКС-12 по МКС-16 в постоянном режиме и была утилизирована по окончании МКС-16.

НА «Люлин-5» работала в постоянном режиме, начиная с МКС-15 до окончания МКС-23. Детекторный блок "Люлин-5" был возвращен на Землю для анализа возникших неисправностей и ремонта блока. Повторно детекторный блок "Люлин-5" доставлен на МКС на "Союз ТМА-03М". НА Люлин-5» утилизирована в процессе МКС-46.

В период с МКС-23 по МКС-26 было проведено длительное экспонирование пассивных детекторов внутри моноблока – антропоморфный

фантом «Рэндо» КЭ «Матрёшка-Р» по третьему этапу эксперимента. Объектом исследований являлось распределение доз радиации внутри антропоморфного фантома, установленного в одном из отсеков в японском модуле KIBO. Позже по согласованию с японской стороной в этом же отсеке было проведено экспонирование научной аппаратуры «Комплект фантом». Научная аппаратура «Матрёшка-Рэндо» возвращена на Землю в июле 2011 года на ОК "Шаттл" в полёте ULF7.

Начиная с экспедиции МКС-24, проводится четвертый этап эксперимента, объектом исследований которого являются радиационно-защитные свойства водородосодержащих материалов и значения дозы радиации внутри каюты СМ РС МКС после установки научной аппаратуры «Шторка защитная». В ходе МКС-24 – МКС-34 проведено пять сеансов КЭ с НА "Шторка защитная". В период МКС-49/50 НА «Шторка защитная» временно не используется по прямому назначению для увеличения защиты члена экипажа в каюте СМ МКС ввиду нерешенности вопроса о заполнении накопителей вновь разрабатываемыми специальными защитными средствами (СЗС) на основе полиэтилена высокого давления.

В период МКС-28 – МКС-44 проведены экспонирования НА «Укладка «ПАДЛ детекторы» в модуле «Кибо» на АС МКС. В период МКС-45 начато экспонирование вновь доставленных детекторов PADLES в модуле "Кибо", а в период МКС-48 это экспонирование было прекращено.

В период с МКС-35 по МКС-38 в постоянном режиме проводились измерения в СМ МКС динамики поглощённой и эквивалентной дозы, спектров ЛПЭ и угловой направленности заряженных частиц космических излучений с помощью НА "Тритель" (трехосного дозиметрического спектрометра). В период МКС-35 и МКС-38 проведено два сеанса с пассивной аппаратурой (блок пассивных детекторов "Тритель"). 09.01.2014 г при включении НА "Тритель" программно-математическое обеспечение НА "зависло" и не загрузилось в полном объёме. НА "Тритель" была выключена. По замечанию № 905 было выпущено предварительное заключение № 021/27КСМ-241-14 и ТР № 27КСМ-088/241-2014 о возврате на Землю на ТПК "Союз ТМА-11М" (по завершении экспедиции МКС-39) интерфейсного блока НА "Тритель" для выполнения ремонтно-восстановительных работ. В мае 2014 года интерфейсный блок НА "Тритель" в соответствии с СОН № 34-241-14 передан в ГНЦ РФ-ИМБП РАН для проведения анализа неисправности и выполнения РВР. Доставка интерфейсного блока НА "Тритель" на борт РС МКС планировалась 28.04.2015 на ТГК "Прогресс М-27М". Однако, вследствие потери ТГК, доставка не была выполнена.

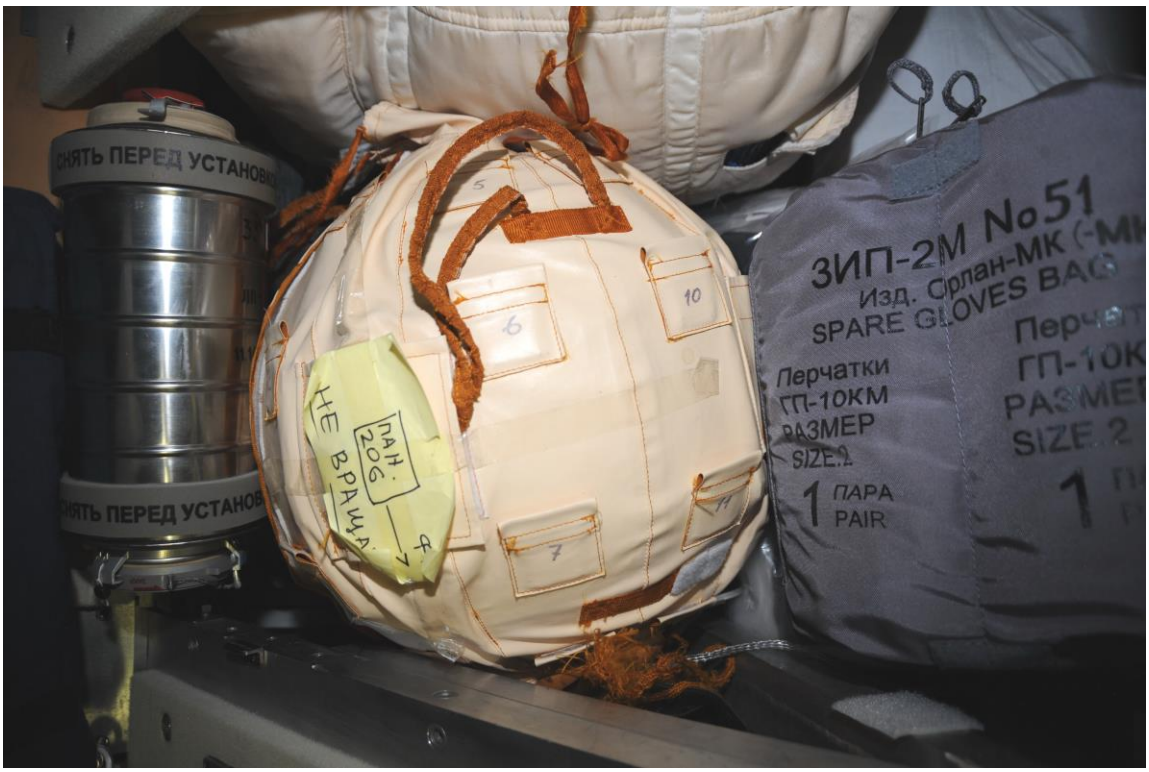
В настоящее время для реализации КЭ на борту находится аппаратурный комплекс массой 40,39 кг. Требуется доставить НА и расходуемые материалы общей массой 8,21 кг.

В период МКС-49/50 были продолжены I, II и IV этапы КЭ «Матрешка-Р»: работа с НА «Комплект Фантом», «Комплект СПД», НА «БАББЛ-дозиметр», НА «Тритель» в части экспонирования блока пассивных детекторов (БПД).

В период МКС-49/50 были продолжены I и II этапы космического эксперимента "Матрешка-Р": работа с научной аппаратурой "Комплект Фантом", НА "БАББЛ-дозиметр".

В соответствии с р/г № 3637u на 24.10.16 был произведен перенос Укладки «Комплект фантом» (А12) в МИМ1, проведена установка детекторов в Шаровой фантом и монтаж Шарового фантома на место экспонирования в модуле МИМ1 за панель 206, в соответствии с р/г № 3639u на 24.10.16 проведено фотографирование. Обращает на себя внимание наличие бумажной таблички на фантоме с надписью «Не вращать», что существенно для предотвращения имевшего место ранее несанкционированного изменения позиции и ориентации фантома. Затраты времени экипажа составили 105 минут для БИ-2 и 10 минут для БИ-1.

В соответствии с р/г № 3999u на 30.11.16 был произведен демонтаж Шарового фантома в МИМ1за панель 206, перенос и монтаж Шарового фантома в МИМ1за панель 404 на место экспонирования. Затраты времени экипажа составили 30 минут для БИ-4.



Шаровой фантом в МИМ1 24.10.2016 г. в период МКС-49

В соответствии с р/г № 4112u на 09.12.16 была произведена коррекция ориентации Шарового фантома в МИМ1за панелью 404 и фотографирование). Затраты времени экипажа составили 15 минут для БИ-4. В период МКС-49/50 было проведено семь полных сеансов измерений с использованием комплектов № А21 и № А22 БАББЛ детекторов, доставленных 07.07.16 на ТПК "Союз МС-01 №731" и комплектов № А23 и № А24, доставленных 17.11.16 на ТПК "Союз МС-03 №733".

В период МКС-48 на ТГК Прогресс МС-03 № 433 был доставлен блок пассивных детекторов (БПД) НА "Тритель" (зав. № 05). В период МКС-49 БПД экспонировался на панели № 221 в СМ. По окончании МКС-50 была проведена работа (по р/гр № 5315u в дополнение и изменение к р/г № 5134u) по демонтажу с панели № 221 СМ и перенесу БПД НА "Тритель" в СА ТПК «Союз МС-02» №732 для возврата на Землю.

Шаровой фантом в МИМ1 с 30.11.2016 г. на период МКС-49 и МКС-50

Блок пассивных детекторов НА "Тритель" в СМ пан. 221

В соответствии с ТР №27КСМ-361/241-2016 (п.29, 30) в РКК «Энергия» были проведены входной контроль и электрические испытания на КС СМ интерфейсного блока (ИБ) НА «Тритель» (зав. №03), предназначенного для доставки на РС МКС и взамен утраченного ИБ (зав. №02) при доставке на ТГК «Прогресс М-27М» 28.04.2015г. По результатам электрических испытаний на КС СМ была выявлена неисправность: превышение показаний ИБ при измерении естественного радиационного фона на 2 порядка. Для устранения данной неисправности было составлено сообщение о неисправности СОН №81/241-16 от 27.12.16. СОН и ИБ (зав. №03) были переданы в ГНЦ РФ – ИМБП РАН для анализа неисправности и проведения РВР.

НА «Укладка «Шторка защитная» остаётся закреплённой в правой кают СМ на панелях: № 442 - верхний накопитель, № 443 - средний накопитель, № 444 - нижний накопитель. В соответствии с р/г № 5268u на 03.04.17 г. проведено фотографирование НА «Шторка защитная» с целью оценки состояния аппаратуры.

Научная аппаратура «Шторка защитная» в правой каюте СМ

В соответствии с р/г № 3635u на 24.10.16 г. проведён монтаж шести сборок «Комплекта СПД» (зав. № А13), фотографирование. Сборка СПД № А32 была установлена в МИМ2 симметрично сборке СПД № А31 в СО1 относительно оси X модуля СМ (рисунок 10). Затраты времени (БИ-2) составили 30 минут.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что программа эксперимента «Матрешка-Р» экипажем МКС-49/50 выполнена полностью. Данные, полученные в эксперименте, позволяют оценить распределение мощности дозы в отсеках МКС и в теле космонавта для

периода вблизи фазы максимума солнечной активности на начальной фазе его спада, в том числе с учетом вклада нейтронов. Замечаний к работе экипажа нет.

Доставлены на Землю карты памяти активной аппаратуры. Файлы данных, полученные в эксперименте, свидетельствуют о нормальном функционировании приборов в целом и позволяют проводить последующую обработку информации с целью определения характеристик космического излучения, зарегистрированного приборами.

После обработки полученных результатов будут проведены:

- сопоставление оценок расчётных и экспериментальных параметров радиационных условий в отсеках станции;
- изучение распределения космической радиации по траектории полета станции;
- исследование вариаций космической радиации в зависимости от времени (циклы солнечной активности, солнечные протонные события) и параметров орбиты.