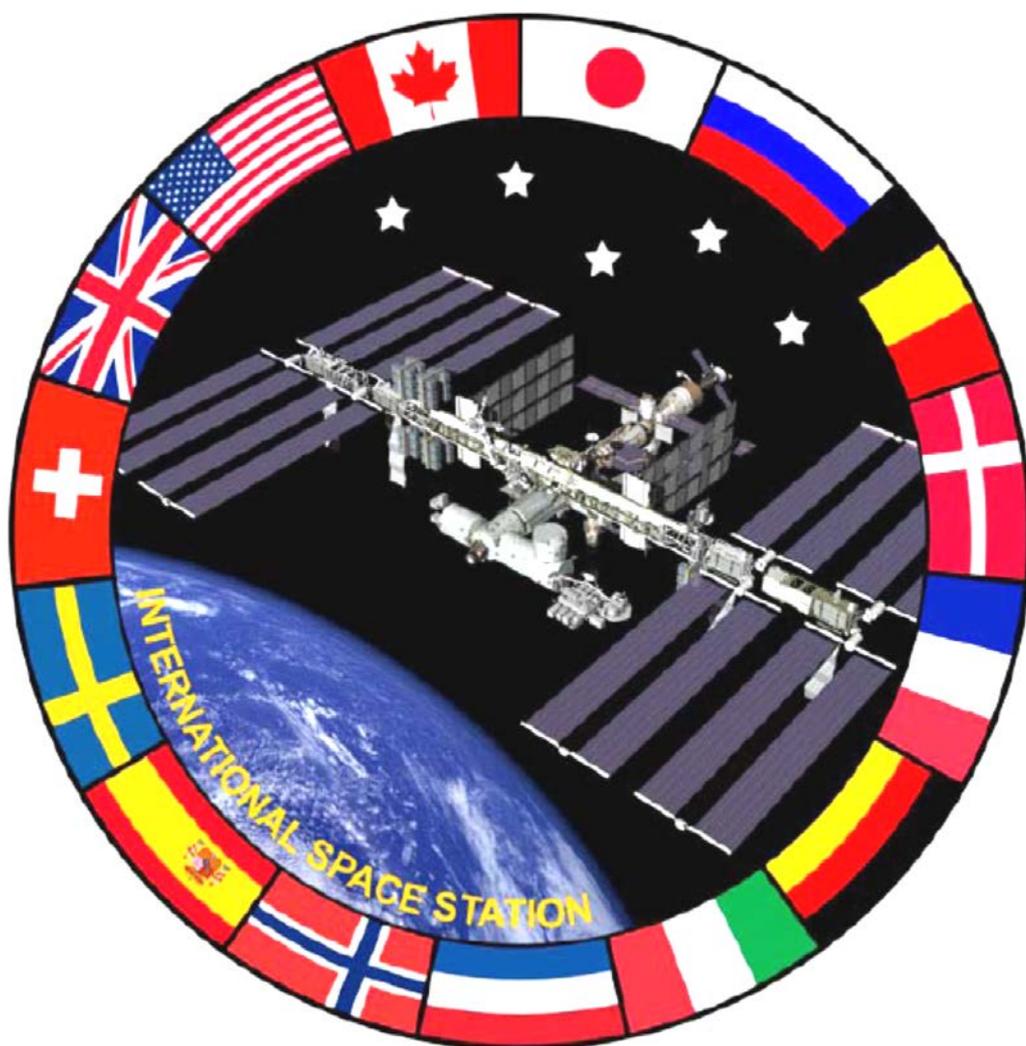




Международная Космическая Станция

Эффект от использования МКС для России

2013 г.



Настоящая брошюра подготовлена по заказу Федерального космического агентства (Роскосмос) в Центре системного проектирования Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш).

© ФГУП ЦНИИмаш, составление, 2013
© ФГУП ЦНИИмаш, оформление, 2013



Международная космическая станция (МКС) стала следующим важным шагом в освоении человечеством космического пространства.

За время своего существования МКС зарекомендовала себя как уникальная многоцелевая научная лаборатория, на которой проводится широкий спектр фундаментальных и прикладных научных исследований. Эти исследования направлены как на дальнейшее освоение космоса, так и на разработку технологий, ориентированных на земные нужды.

И хотя каждое космическое агентство – партнёр по программе МКС имеет свои определённые цели и задачи исследований на станции, все партнёры, включая Россию, разделяют общую цель – использовать знания, получаемые в результате проводимых космических исследований, для улучшения жизни людей.

К настоящему времени по некоторым экспериментам уже получены многообещающие результаты, которые имеют прикладное значение и могут быть полезны человеку в решении его проблем на Земле. И уже есть целый ряд удивительных научных достижений, которые находят свое реальное применение.

Можно выделить три основные области практического использования результатов космических исследований и экспериментов в интересах человека:

- 1) «Здоровье человека»;
- 2) «Наблюдение Земли»;
- 3) «Образование».

В настоящей работе (брошюре) представлены 6 статей, посвященных практическому применению результатов космических экспериментов в области здравоохранения (по направлению «Здоровье человека»), и 1 статья, в которой рассказывается о достижениях, полученных при реализации космических экспериментов, в области дистанционного зондирования Земли (по направлению «Наблюдение Земли»). Исследования и эксперименты по направлению «Образование» также проводятся, но будут опубликованы в следующих выпусках брошюры.

Ценность станции, как платформы

Техника

Международное
сотрудничество

Исследования

Эффект для науки и техники

Научные
открытия

Наземное
применение

Исследование
космоса



Эффект для людей

Здоровье
человека

Наблюдение Земли
и контроль ЧС

Образование

Здоровье человека

МКС – это уникальная лаборатория для проведения исследований, затрагивающих человеческое здоровье как в космосе, так и на Земле. За 10 лет существования, космическая станция обеспечила проведение исследования, которое способствует лучшему пониманию некоторых аспектов здоровья человека, к которым относятся старение, травмы, болезни и окружающая среда. Несколько биологических и физиологических исследований человеческого организма привели к важным результатам, включая лучшее понимание основных физиологических процессов, обычно замаскированных гравитацией, и развитие новой медицинской технологии и протоколов, которые необходимы для поддержания здоровья астронавта. Достижения в телемедицине, исследованиях болезней, комплексной реакции на психологическую нагрузку, усвоении питательных веществ, поведении клетки, и экологической медицине - только несколько примеров положительных сторон, которые были получены от уникальной микрогравитации окружающей среды космической станции.



Наблюдение Земли и контроль чрезвычайных ситуаций

МКС – это "станция глобального наблюдения и диагностики." Она способствует проведению глобальных наблюдений Земли, нацеленных на понимание и решение экологических проблем нашей планеты. Космическая станция располагает уникальным преимуществом для контроля экосистемы Земли как с ручным, так и с автоматизированным оборудованием, оба из которых зависят от способности команды наблюдать и объяснять то, чего они являются свидетелями в режиме реального времени. Космонавты на станции могут наблюдать и получать изображения разворачивающихся событий с камеры, а также могут обеспечить ввод информации наземным диспетчерам для запрограммированных наблюдений автоматизированных радиолокационных станций Земли. Такая приспособляемость



является преимуществом перед датчиками на беспилотном космическом корабле, особенно в случаях возникновения неожиданных естественных событий типа вулканических извержений и землетрясений. Широкое разнообразие экспериментального оборудования для наблюдения Земли можно добавить к доступным средствам обслуживания на поверхности станции; несколько приборов представлены исследователями от стран-партнеров. Станция полезна для чело-

вещества, так как она собирает данные относительно глобального климата, экологических изменений и естественных опасностей, используя уникальное сочетание управляемого экипажем и автоматизированного экспериментального оборудования для наблюдения Земли.

Образование

МКС имеет уникальную способность вдохновлять студентов и преподавателей во всем мире. Присутствие людей на борту станции за последние десять лет дало основу многочисленным образовательным программам, нацеленным на заинтересованность и мотивацию изучения науки, технологии, машиностроения и математики. Проведение многочисленных проектов «связало» с космосом школьников, студентов и преподавателей многих стран с помощью видео-радио связи с членами экипажа. Образовательные программы



охватывают все аспекты человеческой природы. В планах МКС, по крайней мере до 2020 года, подобные проекты и сопровождающие их образовательные материалы, которые станут доступны большему количеству студентов во всем мире. Благодаря продолжительному использованию станции мы заинтересуем и вдохновим следующее поколение ученых, инженеров, писателей, художников, политических деятелей и исследователей.

СОДЕРЖАНИЕ

Здоровье Человека

Практическое внедрение результатов медико-биологических исследований, проводимых на РС МКС	1
Эксперименты с высшими растениями на борту российского сегмента Международной космической станции	9
Результаты российского эксперимента «Биориск», проведенного на внешней стороне Международной космической станции	14
Космическая кардиология на службе практики здравоохранения	17
Исследования сна в космосе в помощь современной медицине	20
Космические медицинские технологии на страже здоровья землян	23

Наблюдение Земли

Оценка информационного потенциала космических визуально-инструментальных методов изучения природной среды Мирового океана	25
---	----

Практическое внедрение результатов медико-биологических исследований, проводимых на РС МКС

Б.В. Моруков, М.С. Белаковский, Г.И. Самарин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем
Российской академии наук (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)

В связи с переходом Российской Федерации на инновационный путь экономического развития проблема повышения эффективности и рентабельности наукоемкого сектора приобрела особую актуальность. Это отразилось на целях и задачах, которые в настоящее время поставлены перед отечественной пилотируемой космонавтикой. Наряду с тем, что космическая деятельность является мощным средством фундаментальных и прикладных исследований в различных областях науки и техники, она создает колоссальный задел знаний для решения задач внедрения в различные отрасли социально-экономической сферы. Одним из важнейших вопросов социально-экономического развития общества является сохранение здоровья населения. Использование результатов космической деятельности в приоритетных национальных проектах, и в частности внедрение космических медицинских технологий на базе современных достижений науки и техники в практику здравоохранения позволит обеспечить их более эффективную реализацию в рамках национального проекта «Здоровье».

Медицинская аппаратура, методы диагностики, разработанные средства профилактики неблагоприятного воздействия невесомости на организм человека, создаваемые для космических полетов, обладают ценными свойствами для использования их в клинической практике, спортивной медицине, экстремальных ситуациях и т.д., а именно заключат в себе значительный инновационный потенциал.

На борту российского сегмента Международной космической станции проводятся фундаментальные и прикладные исследования, позволяющие получать новые научные результаты о влиянии факторов космического полета на организм, его адаптации к этим экстремальным факторам и ре-адаптации к естественным для него земным условиям.

Специалистами в области космической медицины и биологии накоплен уникальный опыт изучения воздействия факторов космического полета на организм человека, установлены основные физиологические эффекты воздействия невесомости и наиболее страдающие при этом системы организма, определены стадии его адаптации к невесомости, созданы система медицинского контроля и управления физическим и психологическим состоянием космонавтов, система контроля параметров среды обитания, система профилактики неблагоприятного действия невесомости на организм человека, определены медико-психологические требования к отбору и подготовке космонавтов, режиму их труда и отдыха.

Естественно основной областью внедрения результатов исследований является космическая медицина, особенно та её часть, которая связана с совершенствованием медицинского обеспечения здоровья и работоспособности космонавтов в полете и после их возвращения на Землю. Вместе с тем, полученные результаты находят свое применение и

в различных направлениях медицины, это клиническая и профилактическая медицина, экологическая медицина, медицина экстремальных состояний, телемедицина.

В течение десятилетий космическая биология и медицина была для научной обществу экзотической областью научных знаний, «вещью в себе и для себя». Однако, по мере накопления знаний приходило понимание того, что микрогравитацию можно использовать как специфический, уникальный фактор - своего рода «инструмент» которого мы лишены на Земле, для изучения фундаментальных биологических процессов, модификации биологических систем. Во-вторых, медицинская аппаратура, методы диагностики, разработанные средства профилактики неблагоприятного воздействия невесомости на организм человека, создаваемые для космических полетов обладают весьма важными свойствами необходимыми для использования в практическом здравоохранении. Оказалось, что все это можно очень эффективно использовать и на Земле.

В настоящее время космическая медицина не ограничивается медицинским обеспечением полетов и участием в разработке систем жизнеобеспечения, а, используя уникальные возможности, исследует совершенно новые факторы и условия, углубляет познание основ биологии и медицины, обогащает клиническую медицину новыми методическими приемами, критериями и ценными наблюдениями.

Опыт космической медицины в оценке состояния здоровья у здоровых людей, несомненно, имеет большое значение для земной медицины и, прежде всего для ее обширного раздела профилактической медицины. В космонавтике впервые практически реализованы теоретические положения об управлении здоровьем, здоровом образе жизни, резервах адаптации. Все эти положения при реализации в практике здравоохранения, в первую очередь в области профилактической медицины, могли бы оказаться существенными для сохранения и улучшения здоровья населения, снижения заболеваемости. Прежде всего, это касается проблем диспансерного обследования населения.

В плане использования возможностей космонавтики, ее достижений для охраны здоровья и лечения людей, можно выделить несколько направлений, по которым идут целенаправленные поиски:

- расширение и углубление знаний о здоровье человека;
- использование аппаратуры и методов исследований, применяемых на космических аппаратах, в практике здравоохранения, т.е. адаптация средств, методов, оборудования и приборов, созданных для решения проблем космической медицины к задачам земной медицины;
- внедрение космических технологий в медицинскую практику
- использование уникальных условий космической среды.

В задачи космической медицины входит управление функциями организма человека в экстремальных условиях среды для обеспечения высокого уровня его работоспособности и обязательного сохранения оптимального состояния здоровья. Это направление исследований сформировало качественные сдвиги в подходах и методологии современной медицины. Достаточно отметить, что, практически впервые, объектом изучения врача стал здоровый человек. Многосторонние систематические обследования, тончайшее изучение всех жизненных процессов, протекающих в здоровом организме человека, обогатили медицину знаниями о нормальных реакциях на различные воздействия окружающей среды. Максимальный учет резервов организма, индивидуальный подход, применение самых современных методов медицинской науки для дистанционного контроля и прогнозирова-

ния состояния здоровья, поиски грани между адаптивными и патологическими изменениями под действием экстремальных факторов окружающей среды, профилактика воздействия этих факторов отличают в медицине именно ее космическую ветвь. Все это позволяет нам лучше познать нормальную физиологию человека. Можно утверждать, что именно благодаря космонавтике пополнились знания "земных" медиков о механизмах пространственной ориентации человека, вестибулярном аппарате, его строении и функции, сведения о биомеханике, метаболизме, сердечно-сосудистой и нервной системах.

Космическая медицина позволила принципиально по-новому подойти к решению проблемы диспансеризации. Речь должна идти не о выявлении заболеваний, а об оценке уровня здоровья, об определении запаса резервных возможностей организма. Процесс адаптации или дезадаптации организма любого человека на Земле проходит те же стадии, что и в космосе. Поэтому критерии оценки адаптационных возможностей организма, разработанные в космической медицине, были успешно использованы в системе массовых профилактических осмотров населения.

К настоящему времени в практику медицинского обеспечения космических полетов успешно внедряются средства профилактики неблагоприятного воздействия невесомости, оказания медицинской помощи, средства и методы медицинского контроля и др.

На основании большого количества исследований, проводимых по оценке состояния здоровья и работоспособности человека в экстремальных условиях космического полета и связанных с профилактикой неблагоприятного воздействия на организм факторов полета, были разработаны методы и средства, используемые, как в космической медицине, так и в общем здравоохранении.

В настоящем сборнике представлены материалы профессором И.Б. Козловской и Р.М. Баевского с соавторами, в которых, основываясь на результатах исследований в области космической физиологии и полетных космических экспериментов, приведены примеры внедрения в практическое здравоохранение методов реабилитации неврологических больных, диагностики состояний сердечно-сосудистой и дыхательной системы.

Помимо этого, специалистами ГНЦ РФ ИМБП РАН разработан ряд методов и средств нашедших свое применение в практическом здравоохранении. К ним, в частности, относятся:

«Способ лечения больных с патологическими неврологическими нарушениями мышечного тонуса и позной регуляции при заболеваниях центральной системы, вестибулярного и опорно-двигательного аппарата».

*Авторы: А.И. Григорьев, И.Б.Козловская
(Патент РФ №2197215 рег. В Гос.реестре от 27.01.2003г.).*

Предлагается способ воздействия на имеющиеся изменения физической нагрузкой, которую имитируют сначала на участке "плечи-стопы" в осевом направлении инициированием натяжения корригирующих эластичных тяг. Величина натяжения составляет не более 60% веса его тела. Затем изменяют степень натяжения в зоне, имеющей деформацию, максимально возможно приближая исходную деформированную позу к физиологическому пространственному положению. При этом задают углы между осевыми нагрузками вдоль бедра и голени в коленном суставе и вдоль позвоночника и бедра в тазобедренном суставе 125-140°. После чего выполняют без снятия осевой нагрузки корректирующие фи-

зические упражнения. Способ позволяет разрушить возникший в результате болезни патологический стереотип движения.

«Костюм для принудительного изменения позы человека и создания повышенной нагрузки на опорно-двигательный аппарат».

*Авторы: Григорьев А.И., Козловская И.Б., Тихомиров Е.П., Гусев Е.П., Гехт А.Б.
(Патент РФ №2295321 рег в Гос.реестре от 20.03.2007г. на изобретение).*

Костюм включает наплечную, тазовую, коленные и стопные опоры, связанные между собой нагрузочными элементами (Рис.1). Каждый из нагрузочных элементов представляет собой нерастяжимую регулировочную ленту и фиксированную к ней эластичную тягу, не имеющую остаточной деформации, увеличение начальной длины которой создает усилие не менее 4 кг. Соотношение длины регулировочных лент и эластичных тяг каждого нагрузочного элемента подобрано таким образом, чтобы максимальное удлинение эластичной тяги составляло не менее 50% начальной длины. Устройство дополнительно содержит опору, расположенную на грудной части туловища, которая соединена с опорами на надплечьях с помощью самофиксирующихся пряжек, образуя плотно обхватывающий тело пациента жилет. Тазовая опора выполнена в виде шорт. На грудной и тазовой опорах имеются вшитые силовые ленты, снабженные пряжками для взаимофиксации между собой грудной и тазовой опор. Эти опоры выполнены с возможностью индивидуальной подгонки по размерам тела пациента за счет дополнительных приспособлений. Опоры на коленных суставах представляют собой бандаж, выполненный с возможностью плотного обхватывания области коленного сустава, верхней четверти голени и нижней четверти бедра. В плоскости горизонтальной оси сустава на бандаже установлены петли для размещения в них нагрузочных тяг. Опоры на стопах выполнены в виде башмаков или представляют собой гибкие тканевые пластины. Башмаки снабжены по периметру подошвы полоской ткани, содержащей петли для крепления к ним эластичных тяг.



Рис. 1. Костюм для принудительного изменения позы человека и создания повышенной нагрузки на опорно-двигательный аппарат

Шаг между петлями составляет не более 10% от длины подошвы башмака. Гибкие тканевые пластины выполнены с возможностью охвата ими всей подошвы пациента и содержат петли для крепления к ним тяг, создающих нагрузку. Устройство снабжено тремя поясами, каждый из которых имеет два самозатягивающихся замка, выполненными с возможностью установки одного из поясов по краям реберной дуги, второго - на талии, а третьего - на подвздошных костях пациента. Каждый пояс содержит тканевую застежку на внутренней поверхности той части пояса, которая устанавливается на задней поверхности туловища пациента. На грудной и тазовой опорах имеются ответные части застежки. Регулировочные ленты нагрузочных элементов жестко фиксированы к передней боковой и задней поверхностям грудной и тазовой опор, однако концы их выполнены свободными и снабжены пряжками и крючками. Изобретение позволяет обеспечить устойчивое асимметричное выборочное нагружение скелетной мускулатуры и выборочное энергетическое нагружение отдельных видов движений.

«Способ восстановления и/или сохранения функциональных возможностей мышц человека в условиях микрогравитации и/или гипокинезии».

*Авторы: Козловская И.Б., Григорьев А.И., Коряк Ю.А.
(Патент РФ №2227048 рег. в Гос.реестре от 20.04.2004г.).*

Тренировку мышц осуществляют ежедневными сеансами воздействия на них двухполюсными, симметричными, прямоугольными импульсами длительностью не менее 1 мс и интенсивностью 20-30% от максимальной произвольной силы мышц человека. Стимулирующие импульсы подают на электроды, установленные на поверхности кожи, на границе между крайней и средней третью длины передней и задней поверхности мышцы нижней конечности, при этом значение амплитуды стимулирующего импульса синхронно регулируют до достижения одинаковой силы сокращения мышц на данной конечности с предотвращением движения в ее суставах. Первые пять сеансов тренировки мышц проводят в течение 0,5-1 ч. Время каждого последующего сеанса тренировки мышц увеличивают до 6 ч в день, которое делят на два этапа, продолжительностью до 3 ч каждый и осуществляемых до и после выполнения дополнительно заданного профилактического комплекса физических упражнений. Каждую последующую ежедневную тренировку мышц проводят заданными минимальными значениями амплитуды импульсов в 6-13 В, находящимися в памяти микрокомпьютера электростимулятора. Каждую последующую ежедневную тренировку мышц проводят заданными нормальными значениями амплитуды импульсов в 8-17 В, находящимися в памяти микрокомпьютера. Каждую последующую ежедневную тренировку мышц проводят с использованием значений амплитуды стимулирующих импульсов от предыдущей тренировки, находящихся в памяти микрокомпьютера электростимулятора. Амплитуду стимулирующих импульсов в процессе ежедневной тренировки мышц изменяют по желанию самого тренирующегося. Способ позволяет повысить эффективность восстановления и/или сохранения функциональных возможностей мышц человека в условиях микрогравитации и/или гипокинезии.

«Устройство для перераспределения крови в организме человека при артериальной гипертензии, а также в условиях невесомости во время космических полетов».

*Авторы: Григорьев А.И., Яров А.С., Крютченко С.Г., Клеев В.В.
(Патент РФ №47643 рег. в Гос.реестре от 10.09.2005г. на полезную модель).*

Устройство относится к медицинской технике, а именно к средствам коррекции состояния кровообращения при артериальной гипертензии, связанной с увеличенным сердечным выбросом и нарушениями регуляции регионарного кровообращения. Устройство, создавая дозированное давление в проксимальной области бедер, увеличивает объем крови в поверхностных венах нижних конечностей, снижает сердечный выброс, улучшает состояние регионарного кровообращения, снижает артериальное давление.

«Компьютерный способ профилактики и коррекции неблагоприятных перцептивных и сенсомоторных реакций».

*Авторы: Корнилова Л.Н., Наумов И.А., Сагалович С.В., Алехина М.И., Козловская И.Б.
(Патент РФ №2301622 рег в Гос.реестре от 27.06.2007г. на изобретение).*

Способ может быть использован для профилактики, коррекции и купирования неблагоприятных перцептивных (иллюзорных) и сенсомоторных реакций. Индуцирование у испытуемого (пациента) иллюзорных реакций и вестибуло-оптоокуломоторного нистагма с последующей их коррекцией и купированием путем обучения испытуемого умению фиксировать и удерживать в фовеальном зрении реальную мишень для выработки фиксационного рефлекса. Индуцирование иллюзорных и нистагменных реакций реализуют, используя компьютерные программы путем осуществления на фоне ретинальных оптокинетических стимулов в виде диффузных шаров и эллипсов на всем экране. Дополнительно обучают испытуемого умению фиксировать и удерживать в фовеальном зрении как реальную, так и воображаемую мишень (Рис.2). После чего при обучении испытуемого коррекции и купированию иллюзорных реакций и нистагма используют выработанный фиксационный рефлекс в условиях предъявления только зрительных стимулов, затем в условиях только вестибулярной стимуляции, затем в условиях сочетанного предъявления испытуемому зрительных и вестибулярных стимулов. Об эффекте тренировок судят по способности испытуемого купировать иллюзорные и вестибуло-оптоокуломоторные реакции при высокоскоростных движениях головой на фоне ретинальных оптокинетических помех. Способ позволяет осуществить формирование и закрепить стереотип сенсомоторных навыков в условиях искаженной вестибулярной, зрительной, проприоопорной и другой механорецепторной афферентации, продуцирующей неблагоприятные перцепто-окуломоторные реакции.



Рис. 2. Компьютерный способ профилактики и коррекции неблагоприятных перцептивных и сенсомоторных реакций

«Компьютерный способ комплексной оценки состояния вестибулярной функции, межсенсорных взаимодействий и следящей функции глаз».

*Авторы: Корнилова Л.Н., Сагалович С.В., Алехина М.И., Козловская И.Б.
(Патент РФ №2307575 рег в Гос.реестре от 10.10.2007г. на изобретение).*

Способ может быть использован при осуществлении медицинской экспертизы для выявления как патологии, так и адаптационных перестроек. Регистрируют окуломоторные реакции на предъявление обследуемому зрительного стимула в виде точки, перемещающейся по экрану монитора в отсутствии и на фоне зрительных помех в виде движущихся эллипсов. Дополнительно методами электроокулографии или видеоокулографии в диалоговом режиме при открытых и закрытых глазах определяют спонтанную глазодвигательную активность при взоре в центр экрана и крайних отведениях глаз, характеристики фиксационных поворотов глаз при скачкообразном и плавном перемещении точечного стимула в разных направлениях линейно и синусоидально по горизонтали, вертикали и диагонали в диапазоне ± 10 и ± 15 град до и после вестибулярной стимуляции активными синусоидальными движениями головы при частоте вращений 0,01-1 Гц в горизонтальной, сагиттальной или фронтальной плоскостях. Далее вычисляют амплитуду фиксационных поворотов, амплитуду плавных следящих движений глаз и их скорости, и по полученным данным вычисля-

ют коэффициент усиления оптоокуломоторных реакций, коэффициент эффективности слежения и коэффициент усиления вестибулоокулярного рефлекса. При отклонениях от физиологической нормы величин амплитуд, скоростей и значений перечисленных коэффициентов в пределах 6%-15% диагностируют функциональные изменения в вестибулозрительной системе и следящей функции глаз, а при отклонениях от физиологической нормы любого из перечисленных показателей, превышающих 15%, диагностируют органические изменения в вестибулозрительной системе и следящей функции глаз. Способ позволяет выявить и оценить субклинические изменения в вестибулозрительной системе, в межсенсорных взаимодействиях и следящей функции глаз. Используемый аппаратно-программный комплекс был апробирован на кафедре неврологии ММА им. И.М. Сеченова, в модельных экспериментах, при отборе спортсменов высокой квалификации для участия в международных соревнованиях, а также при пред- и послеполётных обследованиях космонавтов.



Рис. 3. Иммерсионная ванна.

«Иммерсионная ванна».

Авторы: Козловская И.Б., Григорьев А.И.

(Патент РФ № 44505 рег. в Гос.реестре от 27.03.2005г. на полезную модель).

Модель может быть использована для проведения процедур «сухой» иммерсии в условиях стационара в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями. Иммерсионная ванна снабжена ложементом с шарнирно-рычажным механизмом, размещенным внутри корпуса и выполненным с возможностью обеспечения возвратно-поступательного перемещения ложемента в вертикальном направлении, при этом шарнирно-рычажный механизм соединен тягой с редуктором, установленным в верхней части корпуса ванны, система трубопроводов для циркуляции воды снабжена электронагревательным устройством с автоматическим поддержанием температуры воды, а в ложементе выполнены отверстия (Рис.3).

«Мобильное устройство для комплексного обследования кардио-респираторной системы космонавтов».

Авторы: Баранов В.М., Баевский Р.М., Пащенко А.В., Шмелев С.И.

(Патент РФ №58886 рег. в Гос.реестре от 10.12.2006г.).

Устройство позволяет контролировать электрокардиограмму, реоэнцефалограмму, импедансную кардиограмму, реограмму верхних и нижних конечностей, артериальное давление и другие показатели. В устройстве реализована возможность регистрации 26 физиологических сигналов (Рис.4, 5).

В 2002-2010 гг.специалистами ГНЦ РФ ИМБП было получено 13 патентов, из них: 8 - на изобретения, 5 - на новую модель. Одним из важнейших вопросов внедрения результатов проведенных исследований и экспериментов является участие в выставочной деятельности, которая



Рис. 4. Мобильное устройство для комплексного обследования кардио-респираторной системы космонавтов

печивает популяризацию достижений в области космической медицины и предоставляет возможность дальнейшего их использования в социально-экономической сфере (Рис.6).

Следует отметить, что многие из достижений космической медицины, важные для сохранения здоровья и работоспособности человека в неблагоприятных условиях, еще не получили развития в земной медицине. Например, методы управления здоровьем, достаточно хорошо разработанные применительно к условиям длительного космического полета, еще ждут своего применения в земной медицине.

Можно с известной долей уверенности сказать, что инновационные программы в области космической биомедицины, международное партнерство в космосе и внедрение разработанных «полетных» технологий в клиническую практику станут весомыми составляющими медицины XXI века.

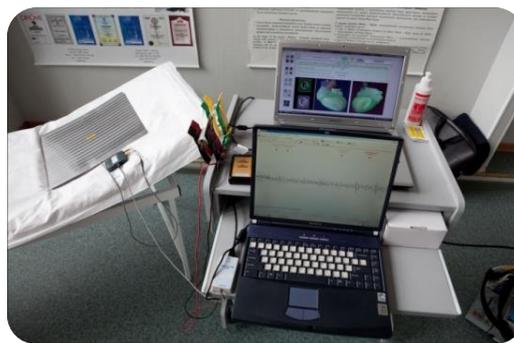


Рис. 5. Мобильное устройство в работе.



Рис. 6. Патенты и награды сотрудников Института Медико-Биологических Проблем

На основании результатов будущих медико-биологических исследований, планируемых, как на Земле, в период подготовки к проведению межпланетных полетов, так и в Космосе, на перспективных орбитальных станциях, транспортных кораблях, должны быть разработаны космические медицинские технологии, методики и аппаратура, которые найдут свое применение на Земле в различных сферах деятельности человека.

Эксперименты с высшими растениями на борту российского сегмента Международной космической станции

В.Н.Сычев*, М.А.Левинских*, И.Г.Подольский*, Г.Е.Бигхем**, М.Сугимото***

* ГНЦ РФ – ИМБП РАН

** Университет штата Юта, Лаборатория космической динамики (Логан, Юта, США)

*** Университет Окаямы, Институт биоресурсов (Окаяма, Япония).

Одной из важнейших задач космической биологии и медицины является решение комплекса проблем, связанных с медико-биологическим обеспечением жизнедеятельности человека в экстремальных условиях космического полета. В перечень этих проблем входят и вопросы создания надежных и эффективно работающих систем жизнеобеспечения (СЖО). Исследования в этом направлении являются не менее актуальными, чем создание соответствующих технических средств для освоения космического пространства.

Для длительных межпланетных космических полетов и планетарных баз (поселений), когда связь с биосферой Земли будет полностью отсутствовать, СЖО человека должна строиться на основе регенерации среды обитания из продуктов его жизнедеятельности за счет физико-химических и биологических процессов. Человек является продуктом эволюции биосферы Земли, поэтому очевидно, что оптимальной средой для его существования является среда обитания, создаваемая с помощью биосферных механизмов. Исходя из этого, создание СЖО на основе биологического круговорота веществ - биологических систем жизнеобеспечения (БСЖО) - является одним из важных направлений исследований в пилотируемой космонавтике.

Сегодня существует понимание того, что включение биологических процессов (по крайней мере, оранжереи) в состав систем жизнеобеспечения будущих межпланетных экспедиций позволит сформировать полноценную среду обитания в космическом корабле, адекватную долговременным биологическим потребностям человека, и будет способствовать устранению некоторых возможных последствий длительного пребывания человека в искусственной (абиогенной) среде обитания.

По мнению многих специалистов, оранжерея СЖО межпланетных экспедиций, скорее всего, будет предназначена для выращивания овощных культур, в основном салатных и пряно-вкусовых. Согласно диетологическим исследованиям, суточная норма потребления салатных культур для одного человека составляет в среднем около 100 г сырой биомассы. Для обеспечения суточной нормы салатных культур в рационе питания экипажа межпланетной экспедиции, который предположительно будет состоять из 6 человек, необходимо вырастить до 600 г сырой биомассы. Средняя продуктивность зеленных культур в наземных экспериментах по отработке культивирования в макетах космических оранжерейных установок при сопоставимых условиях составляет в среднем около 100 г сырой биомассы/м²-сутки. При этом следует учитывать, что продуктивность посева растений в оранжерее в значительной степени зависит от затрат электроэнергии, типа источников освещения, конструкции блоков освещения и вегетационных сосудов, количества и качества корнеобитаемой среды, наличия микропримесей в газовой фазе, от видовой и сортовой принадлежности выращиваемых растений и пр. Исходя из этого, предварительные расчеты показывают, что для обеспечения необходимого производства сырой биомассы салатных культур на борту марсианского экспедиционного корабля (МЭК) необходимо иметь около 10 м² посевной площади.

Однако для того, чтобы реализовались эти планы, необходимо понять, способны ли растения расти, развиваться и размножаться в условиях космического полета, способны

ли они обеспечить ту же продуктивность посева, как и на Земле. С этой целью на борту Российского сегмента Международной станции в период с 2002 по 20101 год была проведена серия из 16 экспериментов «Растения» с использованием космической оранжереи «Лада» (Рис. 1).



Рис. 1. Оранжерея «Лада» на борту служебного модуля РС МКС.

Космическая оранжерея «Лада» была создана для проведения экспериментов с растениями на борту РС МКС [8-10]. В связи с требованиями по ограничению времени работы космонавтов, массы оборудования и его энергопотребления оранжерея имеет небольшие размеры (её посевная площадь составляет всего около 340 см² и энергопотребление (около 60 Вт).

С целью изучения генетических последствий при выращивании растений в ряду поколений на борту Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) в космической оранжерее «Лада» было проведено 5 экспериментов по культивированию генетически маркированных растений карликового гороха.

Объектами исследований являлись растения генетически маркированных карликовых линий гороха (*Pisum sativum L.*) из коллекции кафедры генетики и селекции Биологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова. Растения линии 102 имеют высоту стебля от 15 до 22 см, форма листа – акациевидная, окраска лепестков – белая, окраска незрелых бобов – желтая. Растения линии 131 имеют высоту стебля от 25-30 см, их листовая пластинка трансформирована в разветвленные усики, окраска лепестков – розово-лиловая, окраска незрелых бобов – зеленая (Рис. 2).



Рис. 2. Растения гороха линий 102 (а) и 131 (б) в оранжерее «Лада» на борту РС МКС во время эксперимента на этапе 6-й основной экспедиции.

Показано, что характеристики роста и развития растений гороха различных линий при выращивании в течение полного цикла онтогенеза в космической оранжерее «Лада» существенно образом не изменяются по сравнению с наземным контрольным вариантом. Впервые в мире с использованием молекулярного метода RAPD – праймеров (Random Amplified Polymorphic DNA) по 10 маркерам и анализа хромосомных аббераций показано, что у растений, прошедших четыре полных цикла развития в условиях космического полета, не выявлен генетический полиморфизм, что позволяет говорить об отсутствии влияния факторов космического полета на генетический аппарат растений в первом - четвертом «космическом» поколениях. Анализ результатов по выращиванию четырех последовательных поколений гороха линии 131 позволяет говорить о том, что растения могут длительное время, сопоставимое с длительностью марсианской экспедиции, выращиваться в условиях космического полета без потери репродуктивных функций и формировать при этом жизнеспособные семена.

Было проведено сравнительное исследование кариотипов «космических» и «земных» образцов карликового гороха линии 131 с использованием методов C/DAPI-дифференциального окрашивания и флуоресцентной гибридизации in situ (FISH) с пробами рибосомных генов. Изучение рисунков C/DAPI-окраски и картина распределения сайтов гибридизации не выявила значимых различий между кариотипами всех изученных «космических» и «земных» образцов и была характерна для большинства сортов этого вида, выращиваемых в обычных условиях

В первом эксперименте, во время полета МКС-6 из двух генетических маркированных линий гороха, для дальнейших исследований была выбрана линия 131. При проведении экспериментов на борту РС МКС в корневой модуль оранжереи «Лада» высевали 8-10 семян гороха линии 131, при этом в оранжерее из-за ее малых размеров к концу вегетации получали развитие обычно 6-7 растений (Рис. 3).

После окончания каждого эксперимента, когда растения достигали стадии полного созревания, космонавты срезали бобы с семенами и помещали в пластиковые пакеты с силикагелем. Семена из части срезанных бобов впоследствии использовали на борту РС МКС для посева в космическую оранжерею «Лада» для выращивания растений следующего поколения. Сухие растения с оставшимися бобами доставляли на Землю для проведения дальнейшего анализа.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что впервые в мире в условиях космического полета на борту РС МКС получено четыре последовательных поколения семян генетически маркированной линии гороха.



Рис. 3. Борт-инженер МКС-6 Николай Бударин ведет эксперимент с первым поколением растений гороха. Эксперимент «Растения-2/Лада-2» (20 марта 2003).

культивирования. Проведенное исследование показало высокую стабильность кариотипов у растений гороха, выращиваемых в оранжерее «Лада» на борту РС МКС в течение нескольких поколений. Это подтверждает вывод, сделанный выше, что факторы космического полета не оказывают существенного влияния на кариотипические характеристики гороха, что может служить дополнительным аргументом в пользу возможности длительного культивирования растений в ряду поколений в составе фотоавтотрофного звена систем жизнеобеспечения межпланетных экспедиций.



Рис. 4. Командир МКС-17 Сергей Волков снимает урожай мизуны.



Рис. 5. Командир МКС-197 Геннадий Падалка у оранжереи «Лада» с растениями редиса.

Для проведения детальных генетических, биохимических и микробиологических исследований, в период с ноября 2008 года по март 2010, совместно с американскими и японскими исследователями была осуществлена серия экспериментов, в которых выращенная биомасса растений мизуны (Рис.4), редиса (Рис.5) и ячменя (Рис.6) после срезки замораживалась в холодильнике MELFI при -80°C (Рис. 7) и в замороженном виде доставлялась на Землю на борту космического корабля Space Shuttle.

Одним из важных результатов, полученных в этой серии экспериментов, является результат эксперимента «Растения-2/Лада-12» на этапе МКС-17, когда в оранжерее «ЛАДА» выращивали в течение 1 месяца ячмень сорта Akashiniriki с последующей заморозкой биомассы при температуре -80°C в условиях космического полета и доставкой на Землю в замороженном виде на борту КК «Спейс Шаттл».

После доставки замороженных растений на Землю, проводили анализ экспрессии стрессовых генов методом ПЦР-РВ. Количество транскриптов генов теплового шока не изменялось по сравнению с контрольными растениями. Условия космического полета не оказали влияния на биосинтез PR-протеинов. Среди белков, нейтрализующих активные формы кислорода, наблюдалось только увеличение экспрессии гена *gst* в 3 раза по сравнению с контролем. При анализе экспрессии генов супероксиддисмутазы, каталазы и аскорбатпероксидазы не получено статистически достоверных отличий опытных и контрольных растений.



Рис. 7. Борт-инженер МКС-17 Олег Кононенко укладывает в холодильник MELFI срезанные растения ячменя.



Рис. 6. Космический турист Аноуше Ансари демонстрирует корневой модуль оранжереи «Лада» с растениями ячменя.

Таким образом, условия космического полета, а также специфические условия замкнутого гермообъема, не вызывали стрессовых ответов у растений ячменя сорта *Akashinriki*. Эти результаты показывают, что условия космического полета и, в частности, отсутствие гравитационного стимула не являются стрессовыми факторами для растительного организма в случае обеспечения его всем необходимым для роста и развития.

Анализ результатов экспериментов на борту орбитального комплекса МИР и первого этапа (2002 – 2010 гг.) экспериментов с высшими растениями на борту РС МКС показывает, что растения способны расти, развиваться и размножаться в условиях орбитального полета. Растения формируют нормальный посев, сопоставимый с таковым в наземных условиях. Не обнаружены и генетические изменения у растений, по крайней мере, в четырех «космических» поколениях. Следует отметить, что наличие на борту МКС оранжереи имеет и существенный психологический эффект, связанный с наличием растений в замкнутом объеме при длительной изоляции человека от биосферы Земли. Все вышесказанное даёт основание говорить о возможности включения высших растений в состав систем жизнеобеспечения межпланетных космических миссий.

Результаты российского эксперимента «Биориск», проведенного на внешней стороне Международной космической станции

Н.Д. Новикова, Н.А.Поликарпов, В.Н. Сычев, Е.А.Дешева, М.А. Левинских
ГНЦ РФ – ИМБП РАН

Проблема планетарной защиты является одной из ключевых проблем при освоении дальнего космоса. Наличие устойчивых форм жизни может стать причиной несанкционированного антропогенного распространения земных организмов на другие небесные тела и, наоборот, инфицирования Земли инопланетными формами жизни. Оценка рисков, связанных с возможным переносом биологической материи в межпланетном пространстве, является приоритетной задачей космических исследований.

С целью решения данной проблемы в ГНЦ РФ ИМБП РАН создана аппаратура и программа для проведения космических экспериментов «Биориск» (Рис.1) по длительному экспонированию покоящихся стадий различных организмов на внешней стороне Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС). Аппаратура представляла собой 3 контейнера, расположенных на платформе, которая, в свою очередь, была закреплена на узле Пирс, входящем в состав РС МКС. Перед закреплением у каждого контейнера открывались вентили. В процессе эксперимента приблизительно один раз в 6 месяцев на Землю доставлялось по одному контейнеру

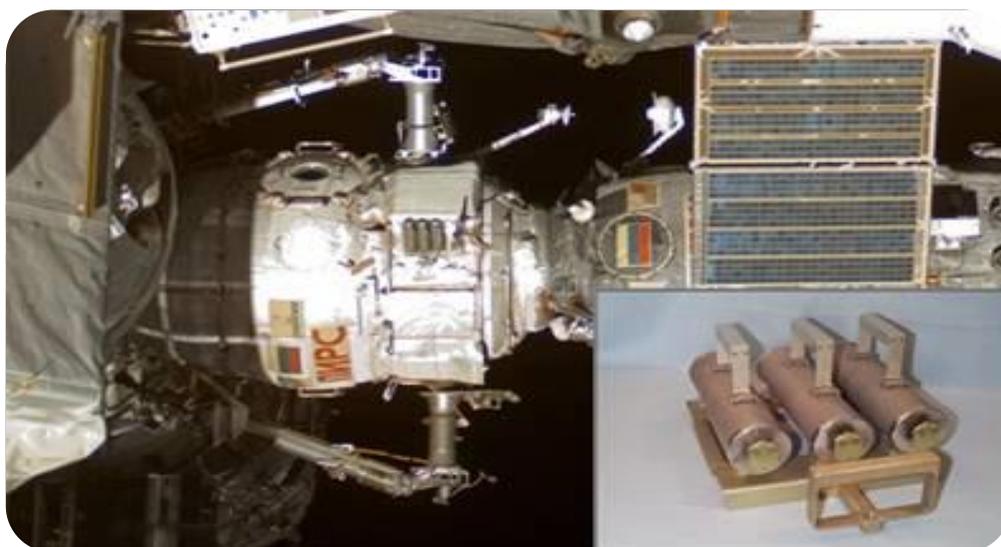


Рис.1. Аппаратура эксперимента «Биориск» и ее расположение на РС МКС.

В первом эксперименте в процессе длительного (в течение 1,5 лет) экспонирования различных микроорганизмов на внешней поверхности Международной космической станции установлена возможность сохранения жизнеспособности споровых форм бактерий и микроскопических грибов в условиях космического пространства. Результаты, полученные в эксперименте «Биориск», свидетельствуют о значительном влиянии условий открытого космоса на ультраструктуру, рост, репродукцию и биологические свойства тестируемых бактерий и грибов (Рис.2).

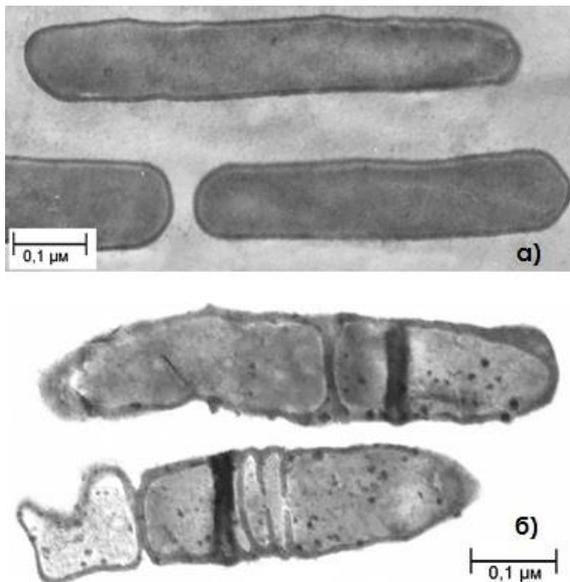


Рис. 2. Ультраструктура бактерий вида *B.subtilis*: а – контроль (тест-культура микроорганизма до полёта); б – опыт (тест культура после экспонирования в открытом космосе).

Так, у штаммов *B.subtilis* после экспонирования в космическом пространстве отмечалось нестандартное деление клетки, в частности, появление такого признака как множественность септ, что является косвенным показателем того, что после пребывания в условиях открытого космоса происходит нарушение функционирования группы генов отвечающих за процессы деления клетки. Подобные, но менее выраженные изменения были обнаружены и у послеполетных штаммов вида *B.licheniformis*. Вместе с тем, важно отметить, что уже после третьего пассажа данных микроорганизмов в обычных условиях наблюдалось полное восстановление репаративных систем генома бактерий.

Исследования ультраструктуры эукариотных организмов - грибов видов *Aspergillus versicolor* и *Penicillium expansum* также выявили ряд мрфологических изменений, по – видимому, связанных с активизацией защитно-приспособительных механизмов к экстремальным условиям открытого

космического пространства. Так, у штаммов указанных микромицетов после семимесячного экспонирования на внешней оболочке МКС по сравнению с контрольными культурами аналогичных видов имели место существенные различия, касающиеся, в первую очередь, структуры клеток вегетативного и генеративного мицелия – изменения в клеточных покровах мицелия, цитоплазматической мембране, рибосомах, митохондриях и вакуолях, что свидетельствовало о повышенной активности окислительных и литических процессов в клетках мицелия.

Было установлено возрастание активности ферментов, характеризующих уровень потенциала патогенности (РНК-азы и ДНК-азы), а также устойчивости микроорганизмов к антимикробным средствам. При этом, как было выявлено, у большинства штаммов вступает в силу защитно-приспособительный механизм, заключающийся в активизации ферментативной и биохимической активности микроорганизмов после их нахождения в экстремальных условиях космического пространства.

Таким образом, после 7 и 12 и 18 месяцев экспонирования микроорганизмов на внешней оболочке МКС, впервые были получены уникальные данные, подтверждавшие возможность длительного выживания представителей бактерий и грибов в условиях открытого космического пространства. Более того, у тестируемых микроорганизмов отмечено сохранение высокой биологической активности.

Полученные уникальные данные давали основание продолжить эксперимент «Биориск» с использованием более широкого спектра биологических объектов, отличающихся высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Во втором эксперименте в контейнерах в качестве биологических тест-объектов были размещены не только споры бактерий и грибов, но также и покоящиеся формы высших растений, насекомых, низших ракообразных и позвоночных животных. Циклограмма второго эксперимента «Биориск» в связи с изменением графика внекорабельной деятельности

на РС МКС была изменена. Съем первого контейнера состоялся через 13, второго через 18, а третьего только через 31 месяц экспозиции в космическом пространстве.

Анализ полученных результатов показал, что **при длительном пребывании (31 месяц) в экстремальных условиях космического пространства сохраняют свою жизнеспособность не только споры микроорганизмов, но и покоящиеся формы других организмов, стоящих в эволюционном ряду на более высоких уровнях развития (семена высших растений, личинки комара, яйца низших ракообразных).**

Вместе с тем, было установлено, что всхожесть и энергия прорастания сохранивших жизнеспособность семян существенно изменилась. Также было показано, что длительное экспонирование семян высших растений в условиях открытого космоса не привело к изменению биологических характеристик семян редиса и листовой горчицы и растений, выращенных из этих семян.

Были 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, вероятно, было связано с различной глубиной диапаузы.

Криптобиотические личинки африканской хирономиды после воздействия условий открытого космоса восстанавливали метаболизм в течение 50-70 минут после помещения их в водную среду. Несмотря на то, что часть личинок была физически деформирована, ткани большинства личинок (>80%) сохраняли жизнеспособность. Лишь небольшая часть реактивированных личинок была способна к дальнейшему метаморфозу и подтверждение сохранения способности к размножению хирономиды пока не получено.

Таким образом, впервые в мировой практике освоения космоса были получены уникальные данные по длительному сохранению жизнеспособности биологических объектов в экстремальных условиях космического пространства, имеющие огромное как фундаментальное (распространение жизни во вселенной), так и прикладное (обоснование стратегии планетарного карантина) значение.

Космическая кардиология на службе практики здравоохранения

Р.М. Баевский, Е.Ю. Берсенов, И.И. Фунтова

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

Сердечнососудистая система как индикатор адаптационных реакций всего организма играет исключительно важную роль в приспособлении организма космонавтов к условиям длительной невесомости. Еще в 60-е годы, в самом начале эры пилотируемых космических полетов сформировался специальный раздел космической медицины – космическая кардиология.

На Международной космической станции с 2002 года проводился научный эксперимент «Пульс», а с 2007 г. регулярно проводится эксперимент «Пневмокард» (Рис.1). Эти эксперименты проводятся ежемесячно у всех российских членов экипажей и за 10 лет накоплен огромный объем научной информации по космической кардиологии. На основе анализа этой информации созданы и успешно используются новые технологии для оценки функциональных резервов организма, для определения степени напряжения регуляторных систем, для оценки риска развития патологии. Эти новые технологии послужили базой как для дальнейшего развития кардиологических систем на МКС, так и для создания уникальных приборных комплексов для использования в практике здравоохранения. К числу последних можно отнести аппаратно-программный комплекс «Экосан-2007» (Рис.2).



Рис.1. Выполнение эксперимента «Пневмокард» на борту Международной космической станции.

«Экосан-2007» - это многоцелевой прибор для раннего выявления самых начальных отклонений в состоянии здоровья. Он реализует возникший в космической медицине принцип донологической диагностики - изучение изменений в организме, предшествующих развитию заболеваний (так называемых нозологических форм патологии). Этот прибор уже используется для обследования водителей транспортных средств, летчиков гражданской авиации, испытуемых в наземных экспериментах с воздействием различных стрессорных факторов.



Рис. 2. Исследование с использованием комплекса «Экосан-2007»

При обследовании 105 водителей автобусов были получены данные об их функциональном состоянии перед рейсом, о степени напряжения регуляторных систем и о функциональных резервах организма (Рис.3). Оказалось, что более 30% водителей находилось в донозологических и преморбидных состояниях, что резко повышает риск дорожно-транспортных происшествий.

При обследовании летчиков гражданской авиации с помощью комплекса «Экосан-2007» было показано, что длительный хронический стресс, связанный с их производственной деятельностью, повышает риск развития патологии, что следует учитывать при экспертной оценке пригодности к летной работе, особенно у лиц в возрасте старше 50 лет.

дует учитывать при экспертной оценке пригодности к летной работе, особенно у лиц в возрасте старше 50 лет.

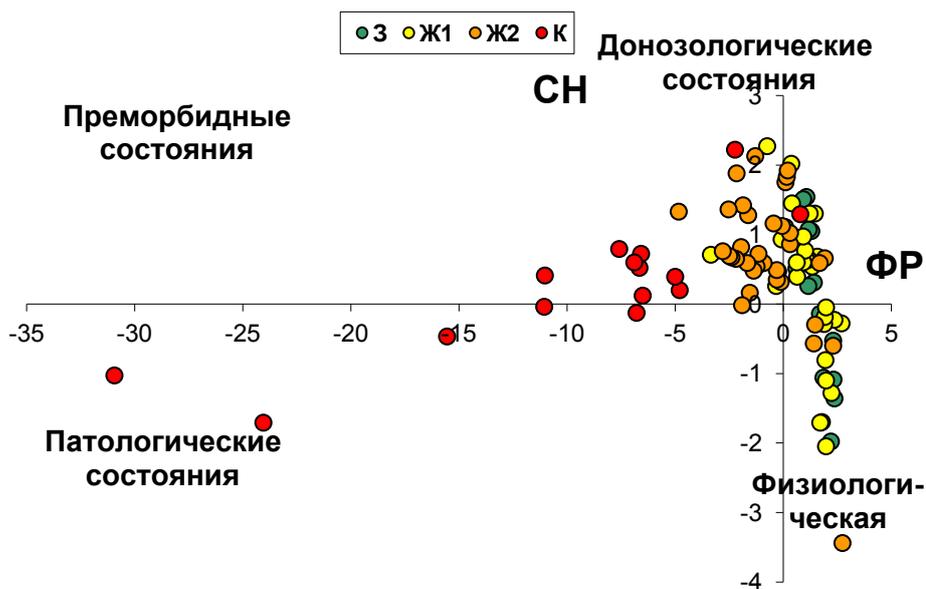


Рис. 3. Функциональное состояние водителей автобусов во время обследования перед рейсом.

Комплекс «Экосан-2007» был использован в 520-суточном наземном эксперименте по моделированию полета к Марсу. При этом одновременно проводились ежемесячные исследования «марсианского» экипажа, находившегося в гермокамере - макете межпланетного корабля и испыателей-добровольцев контрольных групп в 12 различных регионах мира (Рис.4). Телемедицинские долговременные медико-экологические исследования с использованием комплекса «Экосан-2007» являются прообразом будущей системы индивидуального донозологического контроля, основу которой составят методы космической кардиологии.

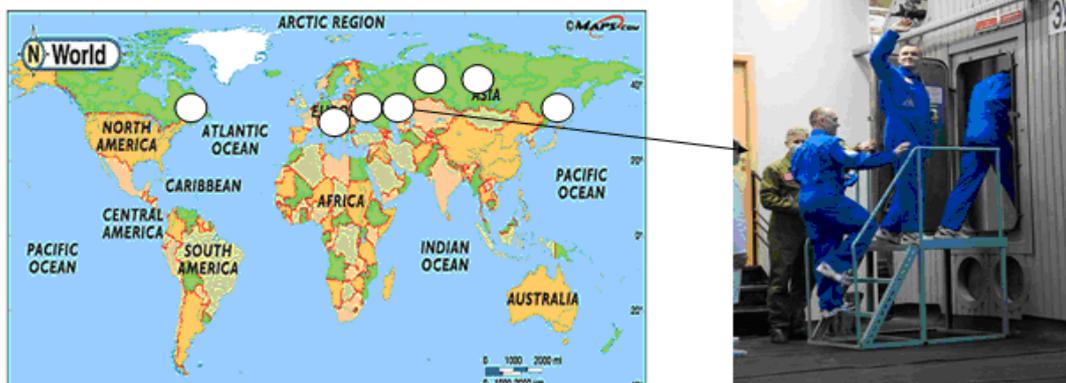


Рис. 4. Наземный эксперимент «Марс-500», в котором наряду с исследованием «марсианского» экипажа в макете межпланетного корабля (справа), проводились параллельные исследования контрольных групп испытателей-добровольцев в 12 регионах мира (слева).

Результаты наземных исследований, выполненных с помощью комплекса «Экосан-2007», послужили базой для дальнейшего развития космической кардиологии. Сейчас разрабатываются два новых прибора для МКС, которые начнут работать на борту с 2014 года. Один из них - «Кардиовектор» - будет развитием «Пневмокарда», к которому будут добавлены блоки для регистрации пространственной баллистокardiограммы. Это позволит провести точные измерения энергетики миокарда и оценить активность правых и левых отделов сердца. Второй прибор - «Космокард» - развивает использованный в «Экосане-2007» метод дисперсионного картирования электрокардиограммы. Он позволит неинвазивным путем исследовать обменно-энергетические характеристики миокарда на разных этапах космического полета. В будущем эти приборы смогут успешно использоваться в практике здравоохранения.

Исследования сна в космосе помогают современной медицине

Р.М. Баевский, Е.С. Лучицкая, И.И. Фунтова

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

Исследования ночного сна в условиях невесомости интересовали специалистов по космической медицине с первых шагов пилотируемой космонавтики. Ведь нормальный полноценный сон является основой для поддержания необходимых космонавтам высокой психической работоспособности и хорошего физического состояния. Однако, применяемый в клинике метод исследования сна (полисомнография) требует использования большого числа датчиков, которые мешают нормальному сну. В связи с этим необходимы 2-3 ночи предварительных исследований для привыкания к методике, чтобы получить достоверные научные данные. Кроме того аппаратура для полисомнографии громоздка и нуждается в специальном обслуживании, что неприемлемо в условиях космического полета. Поэтому данные о качестве сна космонавтов в условиях длительной невесомости до последнего времени были весьма ограниченными.



Рис. 1. Установка прибора «Сонокард» перед сном во время космического полета.

В 2007 году на Российском сегменте МКС появился новый прибор «Сонокард», который позволял исследовать сон с помощью миниатюрного устройства размером с пачку сигарет. Внутри прибора расположены: датчик-акселерометр, усилительно-преобразовательное устройство, блок памяти, контроллеры для связи с внешним компьютером и источник питания. Прибор размещается слева в верхнем кармане футболки космонавта (Рис.1) и его датчик воспринимает микроколебания грудной стенки, связанные с работой сердца. Перед сном космонавт укладывает прибор в карман футболки и размещается в спальном мешке.

После пробуждения он должен присоединить прибор к бортовому компьютеру и считать из памяти прибора информацию, записанную в течение ночи. Эти данные затем оперативно передаются на Землю по каналам Интернета, а перед возвращением на Землю перезаписываются на карту памяти типа РСМСИА для последующего более детального анализа полученных материалов в лабораторных условиях.

Используемый метод получил название бесконтактной регистрации физиологических сигналов, поскольку его реализация не требует фиксации на теле электродов или специальных датчиков. Записи сигналов, получаемые с помощью прибора «Сонокард» представляют собой результат регистрации всех вибраций, воспринимаемых датчиком – акселерометром. Для извлечения полезной информации используются довольно сложные программные средства. При этом определяются частоты пульса, частота дыхания и двигательная активность. Центральное место при оценке результатов бесконтактной регистрации физиологических сигналов занимает анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР). Этот метод успешно используется в различных областях медицины и физиологии для оценки состояния вегетативной регуляции функций. Космическая медицина была одной из первых областей его применения и к настоящему времени накоплен большой опыт его использования для оценки функционального состояния членов космических экипажей во

время полета. При анализе данных, полученных во время сна, определяются изменения активности симпатического и парасимпатического звеньев регуляции в первые после засыпания и последние перед пробуждением часы сна. Это позволяет оценить, насколько сумел расслабиться организм за время сна и насколько он восполнил израсходованные за предыдущий день функциональные резервы.

Научные эксперименты с использованием прибора «Сонокард» проводятся на борту МКС у всех Российских космонавтов каждые две недели. За 5 лет накоплен огромный материал относительно сна в условиях невесомости. Впервые можно говорить о результатах, на которых не отражаются факторы рабочей нагрузки и психоэмоционального напряжения, последние всегда присутствуют днем при выполнении научных экспериментов в рамках штатной программы полета. Естественно, что на эти данные существенно влияют индивидуальные особенности вегетативной регуляции и психологического статуса космонавтов. Вместе с тем имеются и некоторые общие закономерности динамики. Достоверным является снижение частоты дыхания во время длительного 6-месячного пребывания в условиях невесомости. Наблюдается постепенное смещение вегетативного баланса в сторону увеличения активности симпатического звена регуляции, в частности растет активность подкоркового центра регуляции сосудистого тонуса. На 5-6-м месяцах полета в процесс адаптации включаются надсегментарные уровни регуляторного механизма, ответственные за энерго-метаболические процессы.

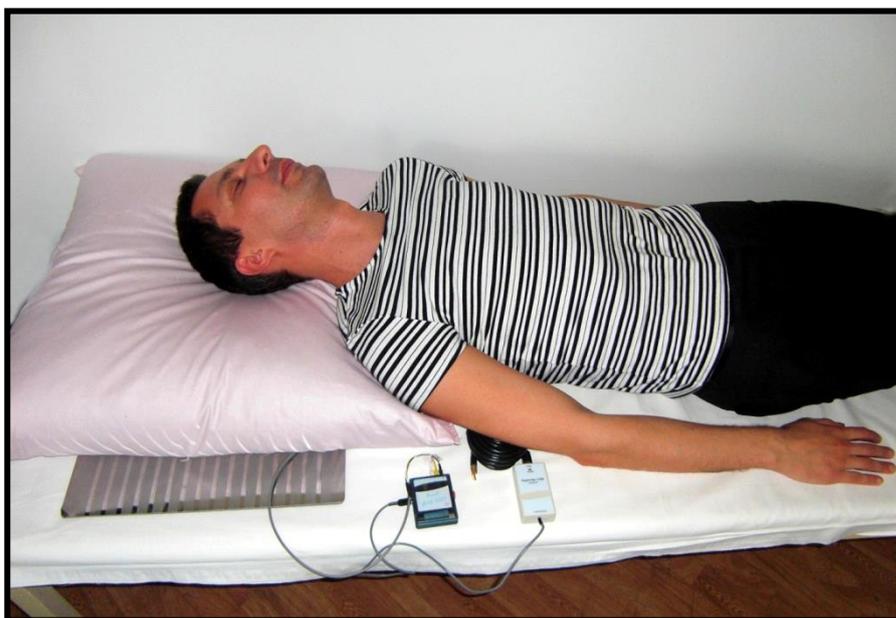


Рис. 2. Комплекс «Кардиосон-3» - наземный аналог космического прибора «Сонокард».

Качество сна и эффективность процессов восстановления функциональных резервов могут быть оценены путем сопоставления данных первого и последнего часа сна. Во время сна частота пульса снижается, и ее утреннее значение оказывается меньше вечернего. Отмечается увеличение активности парасимпатического звена регуляции. Качество сна за весь полет можно оценить по соотношению числа ночей с нормальными соотношениями динамики симпатического и парасимпатического звеньев регуляции в % к общему числу проведенных в полете исследований. Анализ качества сна у членов экипажей МКС по разностным значениям отдельных показателей продемонстрировал, что сон в условиях длительной невесомости не всегда обеспечивает достаточное восстановление функциональных резервов организма. Так, у обследованных нами 10 членов экипажей,

среднеполетное качество сна выше 80% было в у четырех космонавтов, у пяти космонавтов оно было в пределах 50-80% и у одного – ниже 50%.

Созданная для применения на МКС бесконтактная методика исследования сна была успешно использована на Земле. Для этого датчик был выполнен в виде подкладываемой под подушку или под матрац пластины, которая воспринимала колебания тела человека, связанные с сердечными сокращениями и дыханием (Рис.2). Записанные в течение ночи сигналы переписывались в компьютер и анализировались методами, уже апробированными в космических исследованиях.

Новый аппаратно-программный комплекс, получивший название «Кардиосон-3» был испытан в ряде наземных экспериментах, в том числе в длительном 520-суточном эксперименте, моделирующем полет к Марсу. В настоящее время комплекс проходит апробацию в клинике контроля за состоянием больных после мозговых инсультов и инфаркта миокарда. Такой прибор будет полезен не только для клинических исследований, но и в практике спортивной медицины, медицины труда и профилактической медицины. Так, станет возможным оценить качество сна у спортсменов перед ответственными соревнованиями и таким образом определить их функциональные резервы. Прибор может использоваться для определения эффективности восстановительных мероприятий в санаториях и реабилитационных центрах. Разрабатывается вариант прибора для применения в домашних условиях с передачей данных в аналитический центр по каналам Интернета.

Таким образом, прибор «Сонокард», разработанный для проведения исследований на МКС, становится источником ряда новых технологий, создаваемых в интересах земной медицины.

Космические медицинские технологии на страже здоровья землян

И.Б. Козловская*, И.В. Саенко**

* ГНЦ РФ – ИМБП РАН

** ООО «Центр авиакосмической медицины»

Исследований, которые выполняются в ИМБП, являются по существу прикладными – Институт обеспечивает безопасность человека в космических полетах. Однако решение связанных с этой задачей проблем было и остается невозможным без глубоких фундаментальных разработок, результатом которых явилось рождение новой области физиологических наук – гравитационной физиологии.

Гравитация, существующая на Земле миллионы лет, встроилась в системы жизнедеятельности всех живых организмов в качестве фактора, обеспечивающего возможности их функционирования в гравитационном поле Земли. Однако до тех пор, пока не появились условия для исследований деятельности живых систем в отсутствие гравитации, гравитационные механизмы не могли стать и не стали предметом систематического изучения. Космические полеты, открывшие эти возможности и способствовавшие развитию наземных моделей невесомости, открыли дверь для изучения последствий устранения гравитации. За 10 лет, прошедших с начала существования МКС, накопилось большое количество данных, сведений и фактов, которые позволили перейти от описания явлений и феноменов к разработке теории о роли и месте гравитационных механизмов в различных системах организма.

В качестве примера такой эволюции развития новых знаний в двигательной системе является открытие ведущей (т.е. незамещаемой) роли в регуляции позно-тонических реакций млекопитающих сенсорной системы, реагирующей на изменение гравитации. Роль новых органов чувств выполняют рецепторы глубокой кожной чувствительности – так называемые тельца Фатера-Пачини, большое скопление которых было обнаружено на подошвах стоп. Они открыты еще в XIX веке, но их роль в гравирецепции установлена совсем недавно. Рецепторы воспринимают не вес тела, а силу реакции опоры, равную весу по величине и противоположную по направлению и получили название рецепторы опоры.

Устранение опоры в экспериментах с людьми и на животных в условиях реальной (космические полеты) невесомости сопровождается развитием закономерной картины сенсомоторных нарушений, включающей атонию и атрофию позно-тонической мускулатуры, перцептивные феномены и атаксию. Сотрудники отдела сенсомоторной физиологии и профилактики выяснили, что механическое воздействие силы реакции опоры передается через нервную систему и влияет на активность клеток головного и спинного мозга, в частности определяет порядок рекрутирования ДЕ (двигательных единиц) в мотонейронных совокупностях спинного мозга. В результате, в зависимости от силы реакции опоры включаются или выключаются системы, ответственные за контроль и управление двигательной активностью и мышечно-суставным аппаратом, нормализующие мышечный тонус, корректирующие работу позно-тонической системы. Полученные теоретические зна-



Рис. 1. Компенсатор опорной разгрузки «КОР».

ния позволили предположить, что развитие сенсомоторных нарушений может быть предотвращено применением "искусственных" опорных раздражений. На основании результатов исследований была создана уникальная технология - компенсатор опорной разгрузки «КОР» (Рис.1), прибор позволяющий стимулировать опорные зоны стоп в режиме естественной ходьбы человека.

Уникальность данного прибора заключена в том, что он позволяет имитировать показатели физического воздействия на стопу при ходьбе: величину давления, временные характеристики (длительность импульса, интервалы между воздействиями на пяточную и плюсневую опорные зоны и интервалы между воздействиями на правую и левую ноги).

Но развитие нарушений мышечного тонуса, координации движений не является процессом, свойственным исключительно невесомости. Заболевания ЦНС, травмы различного генеза, длительное снижение двигательных нагрузок при старении, некоторых специфических условиях труда также сопровождается развитием вышеперечисленных изменений. Основываясь на этих данных, сотрудники ИМБП, совместно с коммерческими компаниями проводят интенсивную работу по внедрению разработанных для невесомости средств коррекции двигательных нарушений в практику лечения и реабилитации больных с глубокими моторными нарушениями вследствие детского церебрального паралича, инсульта, черепно-мозговой и спинальной травм.



Рис. 2. Испытания компенсатора опорной разгрузки «Корвит».

В 2005-2011 гг. компанией «Центр авиакосмической медицины» был разработан клинический вариант компенсатора опорной разгрузки - «Корвит», проведены его технические и комплексные клинко-физиологические испытания, получены все разрешительные документы.

Сегодня эта технология с успехом применяется в острейшем периоде инсульта и способствует более значительному регрессу двигательных нарушений и более раннему восстановлению навыка ходьбы по сравнению с традиционными методами лечения. Особенно интересны данные о

предотвращении развития избыточной спастичности в мышцах паретичной конечности к концу острого периода инсульта в случае применения устройства «Корвит» с первых часов после развития инсульта (Рис.2).

Применение метода опорной стимуляции у детей на этапе раннего восстановления при оперативном лечении переломов костей голени способствует снижению величины отека на 17-20%, увеличению амплитуды движения в голеностопном суставе на 45% уже в первые 72 часа после операции. У детей, которым не проводится стимуляция, отек сохраняется до 6 - 8 суток, что затрудняет движение в поврежденной конечности и замедляет регенеративные процессы.

Использование аппарата «Корвит» в комплексной реабилитации больных с ДЦП позволило максимально восстановить баланса сил мышц-разгибателей и мышц сгибателей, особенно в вертикальной стойке, а также к нормализовать функцию стояния и ходьбы, следовательно нормализовать координационного управления движениями различного класса.

Оценка информационного потенциала космических визуально-инструментальных методов изучения природной среды Мирового океана

А.Н. Евгущенко*, Б.В. Коновалов**

* ФГБУ НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина,

** ФГБУ науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Одной из особенностей океанологических исследований, выполняемых с участием экипажей отечественных орбитальных станций, является широкое применение метода научных визуально-инструментальных наблюдений акваторий Мирового океана из космоса. В основе метода - визуальный поиск, обнаружение и идентификация изучаемых явлений в приповерхностном слое океана и атмосфере над ним. Это простейший, но один из наиболее информативных способов получения данных видимого диапазона о состоянии природной среды океана.

Достоверность и научная ценность получаемых при этом сведений об океане существенно повышается за счет целевого использования специальной регистрирующей аппаратуры, а также применения бортовых инструментов, расширяющих возможности зрительного анализатора космонавта в процессе наблюдений. Наблюдения в таком исполнении принято называть визуально-инструментальными (ВИН). Методы ВИН применимы для формирования информационных ресурсов видимого диапазона ЭМВ не только в области космической океанологии, но и в других областях знаний и практической деятельности.

Многолетний отечественный опыт проведения океанологических экспериментов экипажами долговременных орбитальных станций (ДОС) «Салют», «Мир» и МКС позволяет оценить информационный потенциал космического метода ВИН акваторий Мирового океана как проверенную в условиях орбитального полета предельную возможность решения методом ВИН конкретных задач океанологии, отработки техники и технологии дистанционного зондирования океана. Данные, касающиеся этой характеристики метода, часто бывают востребованы при постановке океанологических экспериментов, проводимых с участием космонавтов.

Подход к оценке информационного потенциала рассматриваемого метода, излагаемый в статье, основан на изучении экспериментальных материалов, помещенных в отчетах и публикациях экипажей орбитальных комплексов, результатах анализа зарисовок и аудиозаписей космонавтов, дешифрирования полученных ими фотоизображений высокопродуктивных акваторий, областей речного стока, полей облачности над океаном, грозных явлений, морских льдов и других объектов.

Сведения, приведенные в указанных материалах, были собраны в процессе многолетних наблюдений акваторий Мирового океана из космоса в поясе $\pm 56^\circ$ широты. Вне границ этого широтного пояса визуальные наблюдения и видеорегистрация океанологических объектов с орбит ДОС, имеющих наклонение 51.6° , практически невозможны из-за мешающего влияния атмосферной дымки. К числу постоянных факторов, ограничивающих полноту реализации информационного потенциала метода ВИН, относится также невозможность проведения систематических наблюдений определенного района океа-

на, обусловленная многоцелевым характером пилотируемых ДОС, переменной светотеневой обстановкой и состоянием облачности над его акваторией.

Метод ВИН относится к классу пассивных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Он основан на визуальном восприятии и регистрации цветовых (яркостных) контрастов в видимом диапазоне спектра ЭМВ приблизительно от 0,38 до 0,78 мкм. Это единственный участок спектра ЭМВ, решение зрительных задач в котором не требует применения специальных средств визуализации исследуемых объектов. Канал поступления океанологической информации на борт ДОС при использовании рассматриваемого метода образован оптическим трактом, основными звеньями которого являются поверхность и приповерхностный слой океана, слой атмосферы над исследуемой акваторией, остекление иллюминатора ДОС, оптика регистрирующих приборов и приборов, расширяющих возможности зрительного анализатора космонавта-наблюдателя (биноклей, зрительных труб, визуальных поляризационных анализаторов, колориметров и т.п.).

Каждое из указанных звеньев оказывает определенное влияние на перенос солнечного излучения и формирование информационного потенциала метода ВИН, но определяющая роль в функционировании этого канала принадлежит зрительному анализатору космонавта - сложной нейрорецепторной системе, обеспечивающей у человека (и животных) восприятие и анализ зрительных раздражений. Фоторецепторы и связанные с ними нейроны глаза, проводящие пути (зрительный нерв, зрительный тракт и др.), нервные клетки центральной нервной системы во взаимодействии с "обслуживающими" системами жизнеобеспечения организма образуют в совокупности сложный биооптический инструмент со своей широкоугольной проекционной системой, селективными фотоприемниками дневного (в цвете) и ночного видения, системой «кодирования» сигнала для головного мозга, решающего задачи опознавательного процесса.

В работах /Лазарев А.И. и др., 1979, 1981/, /Хачатурянц Л.С. и др., 1974/ приведен ряд характеристик зрения человека, особо значимых для наблюдения природных океанологических (в большинстве своем малоконтрастных) явлений по таким признакам, как свойства структуры наблюдаемого объекта, форма его границ, цветовые и яркостные контрасты.

К их числу в первую очередь относится высокая *контрастная чувствительность* зрения, достигающая при благоприятных значениях углового размера объекта и его яркости значений в 1 - 2%. Зрительная система человека отличается также высоким (до 1 нм) спектральным разрешением (*цветоразличением*). Для фазы стабильной работоспособности организма эти значения можно считать пороговыми и все объекты исследований, контрасты яркости и цвета которых с фоном не ниже указанных величин, при определенных условиях могут быть обнаружены из космоса визуально. Этим условиям отвечают чистый (с пропусканием не менее 85%) иллюминатор, незамутненная атмосфера, оптимальные значения углов визирования и солнечного освещения.

Зрительный анализатор человека обеспечивает, кроме этого, возможность проведения визуальных наблюдений океана в широком диапазоне углов Солнца над местным горизонтом. Доказано, что рабочий динамический диапазон яркости для зрительной системы человека составляет $10^5 - 10^{-5}$ кд/м². Это весьма важная для океанологических наблюдений из космоса характеристика, поскольку зрительная работа космонавта на освещенных участках орбиты выполняется на фоне больших перепадов яркости подстилающей поверхности, обусловленных существенным различием отражательных свойств водной поверхности, облачных полей и островов.

Высокая пороговая чувствительность зрения в видимой области спектра, достигаю-

щая по ночному лучистому потоку 10^{-17} Вт на длине волны 510 нм, открывает возможность изучения океанологических процессов на теневом участке орбиты с использованием биолюминесцентного свечения высокопродуктивных вод океана в качестве индикационного признака.

С учетом достаточно высокой (около 1') разрешающей способности зрения указанные характеристики, оптимально сочетающиеся в одной системе, позволяют считать метод ВИН, основанный на использовании зрительного анализатора подготовленного космонавта-исследователя, универсальным, надежным и эффективным способом получения первичной информации о процессах и явлениях, наблюдаемых из космоса в поверхностном слое океана и атмосфере над ним.

Масштабы применения метода в практике океанологических исследований ограничены недостаточно широким диапазоном зрительно воспринимаемых ЭМВ, сильной зависимостью информативности ВИН от пропускания оптического тракта. Кроме этого, пока не решена проблема точной географической привязки фотоизображений, получаемых в процессе ВИН океана серийными ручными фотокамерами. Другие ограничения относятся к процессу обнаружения и идентификации исследуемых объектов по признаку цвета - свойству света вызывать у наблюдателя определенные зрительные ощущения, зависящие от длины волны принимаемого излучения.

Ограничение метода при этом состоит в том, что физиологический механизм цвето-восприятия позволяет различать не все излучения видимого диапазона. Установлено, например, что смеси красного и зеленого в определенных соотношениях визуально неотличимы от желто-зеленого, желтого и оранжевого излучений; цвет смеси синего с оранжевым может быть уравнен с цветом смесей красного с голубым или с сине-зеленым. Учет этой неоднозначности необходим при анализе результатов визуальных наблюдений цвето-контрастных образований в океане, связанных, например, с массовым развитием фитопланктона, включая его виды, вызывающие экологически небезопасное явление «красного прилива».

К настоящему времени наиболее широко представлен класс задач, связанных с изучением биологических ресурсов Мирового океана. Повышенное внимание пилотируемой космонавтики к этому направлению исследований объясняется актуальностью проблемы и возможностью проведения исследований с использованием относительно недорогой серийной фотоаппаратуры и других регистраторов. Решение проблемы находится в сфере постоянных интересов фундаментальной и промысловой океанологии, ориентированной в основном на традиционный способ использования биоресурсов океана - на рыболовство и промысел других видов пищевого сырья.

Поэтому наиболее заметное проявление информационного потенциала метода ВИН океана из космоса датируется началом 80-х годов прошлого столетия, когда в основу целеуказаний промысловому флоту Минрыбхоза СССР закладывались координаты высокопродуктивных акваторий, обнаруженных в полете экипажами ДОС «Салют». В большинстве случаев работы промысловых судов на таких акваториях сопровождалась значительным экономическим эффектом, получаемым за счет сокращения усилий разведфлота по поиску акваторий, перспективных на промысел. В этот же период была отработана методика поиска и обнаружения из космоса высокопродуктивных акваторий Мирового океана методом ВИН, признанная изобретением и успешно применяемая в настоящее время.

В условиях орбитального полета космонавты обнаруживают высокопродуктивные акватории, используя в качестве индикационного признака цветовые контрасты полей планктона с фоновыми водами. Для фитопланктона такие контрасты появляются благодаря свойству одноклеточных водорослей, содержащих хлорофилл, образовывать огромные скопления, способные придавать морской воде зеленый, бурый или даже красный цвет. Фоном таким акваториям служат малопродуктивные воды, имеющие синий цвет вод, обусловленный рассеянием солнечного излучения на молекулах воды. В связи с этим основным объектом поиска и наблюдений для космонавта-исследователя при решении задач этого класса является крупномасштабное цветоконтрастное образование (ЦКО) на поверхности океана (Рис. 1 а,б).



Рис. 1а. Цвето-контрастные и морфологические особенности полей фитопланктона открытого океана.

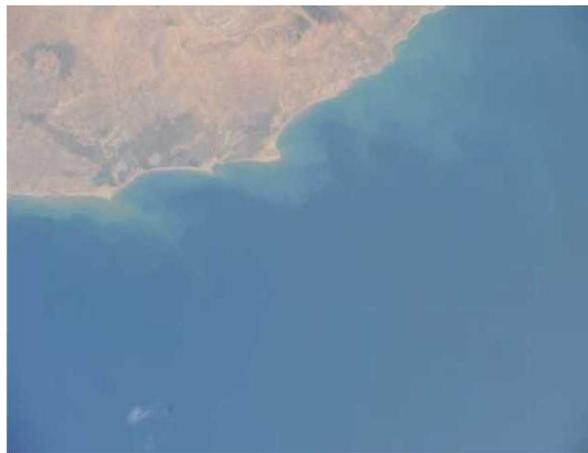


Рис. 1б. Цвето-контрастные особенности и форма границ полей фитопланктона прибрежной зоны.

В большинстве случаев географическое положение таких ЦКО экипажу орбитального комплекса заранее неизвестно, поэтому во время, отводимое планом полета на проведение наблюдений океана (10-15 мин), процесс поиска высокопродуктивных акваторий с высоты орбиты ведется непрерывно. В качестве рабочего иллюминатора при этом используется иллюминатор диаметром около 200 мм, так что ЦКО на поверхности океана, случайно появляющееся в его поле зрения, доступно космонавту-наблюдателю в течение не более 3 - 4 минут. За это время экипаж успевает определить соответствие обнаруженного ЦКО поставленной задаче, выполнить аудиозапись условий наблюдения, задать режим фотосъемки (работы других регистраторов), выполнить регистрацию наблюдаемого явления с точной (до 1 с) временной привязкой.

Следует отметить, что в процессе решения задач промыслового характера далеко не каждый сеанс наблюдений океана сопровождается обнаружением высокопродуктивных акваторий. Однако, благодаря факторной интеграции, свойственной большинству космических методов наблюдения Земли, эффективность использования полетного времени, отводимого для решения океанологических задач, может быть сохранена на приемлемом уровне за счет получения океанологической информации по другим направлениям исследований. Универсальный характер метода ВИН обеспечивает подтвержденную практикой возможность получения космонавтом натуральных данных, относящихся к морской метеорологии, гидрофизике, экологии природной среды океана.

В поле зрения экипажа ДОС, наблюдающего акватории океанов по трассе полета, постоянно присутствуют облачные образования практически всех форм и видов, предусмотренных международной классификацией. Кроме этого, в полях облачности,

наблюдаемой над океаном, нередко встречаются специфические явления, не имеющие аналогов в атмосфере над сушей и представляющие интерес для морской метеорологии, обслуживающей судоходство, авиацию и промысел морепродуктов. В их числе - облачные индикаторы тропических циклонов, находящихся на разных стадиях развития, включая фазу зарождения; протяженные безоблачные линеаменты в полях сплошной облачности или, наоборот, облачные линеаменты на безоблачном фоне, индицирующие струйные течения; акватории интенсивных процессов атмосферной конвекции, выраженные плотными скоплениями кучевых облаков мощного вертикального развития на фоне 10-бальной слоистой облачности (Рис. 2 а,б,в).

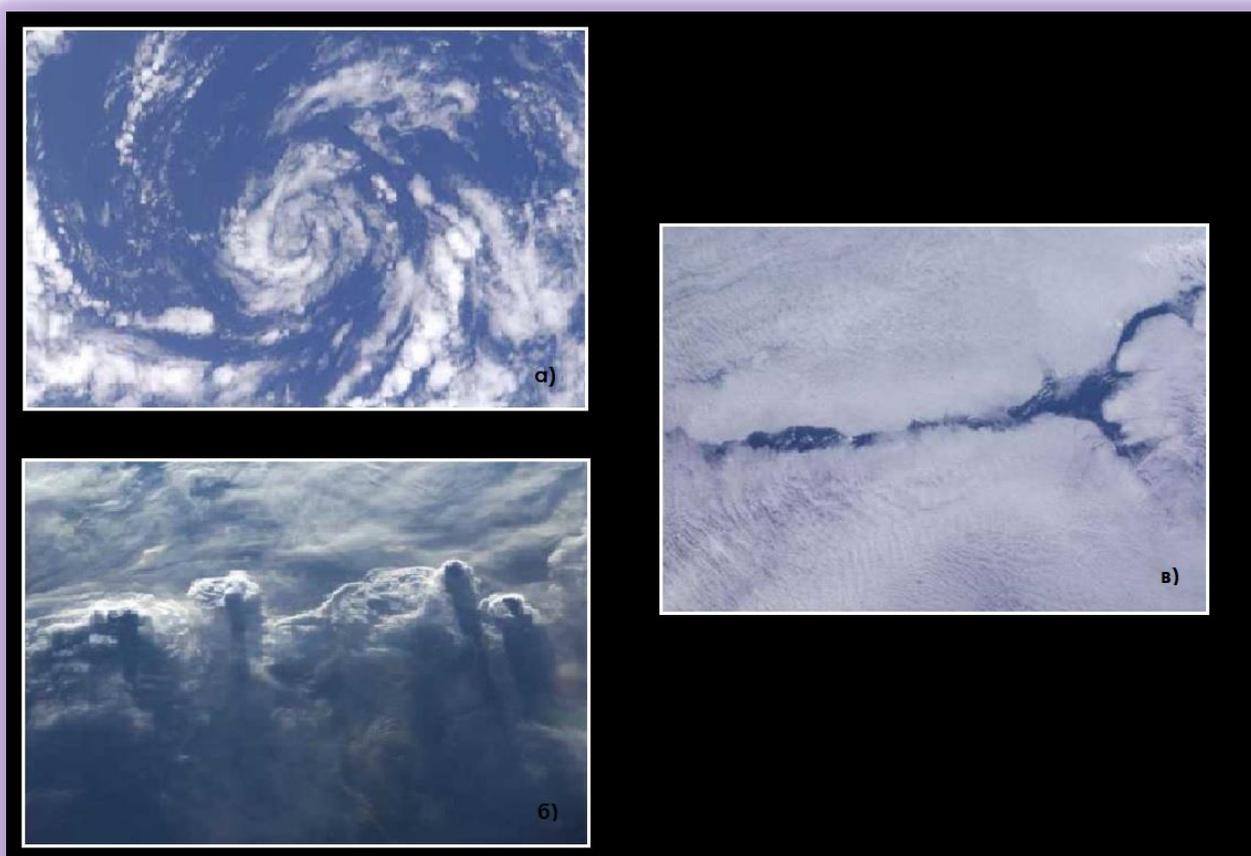


Рис. 2. Облачности. а) – облачный щит тропического циклона, находящегося в стадии развития; б) – безоблачные линеаменты в полях сплошной облачности; в) – Кучевая облачность интенсивного вертикального развития.

Многочисленное в течение суток пересечение экватора трассой полета ПКА создает условия для получения информации, характеризующей структуру облачности и широтное положение границ приэкваториальной зоны, т. н. внутритропической зоны конвергенции, оказывающей большое влияние на теплообмен между океаном и атмосферой и отличающейся интенсивным развитием конвективных облаков.

Особое место среди гидрометеорологических явлений, доступных изучению методом ВИН, занимают тропосферные облачные образования, характерные для запрепятствованных движений воздушных масс в атмосфере островных провинций (вихревые дорожки Кармана, гравитационно-сдвиговые волны Гельмгольца и др.). Экспериментально доказана также возможность обнаружения и фоторегистрации из космоса оптически активных явлений в атмосфере, влияющих на ее передаточную функцию (туманов, терригенных

пыле-песчаных потоков (Рис. 3), пепловых вулканических облаков над океаном и т.п.), а также районов с признаками интенсивной грозовой деятельности.

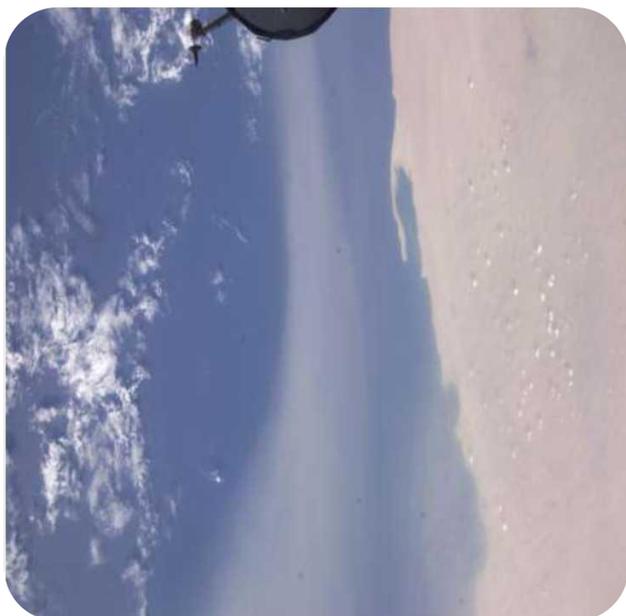


Рис. 3. Пыле-песчаные потоки в атмосфере Центрально-Восточной Атлантики.

основные атрибуты цвета вод. Так, замечено, что воды повышенной солености и температуры имеют более интенсивный голубой цвет, тогда как для холодных и менее соленых вод характерны цвета зеленоватых оттенков.

Применительно к гидрофизическому направлению исследований океана метод ВИН обеспечивает получение документированных данных о структуре полей поверхностного волнения, битого льда, яркости и цвета вод по изучаемым акваториям (Рис. 4а,б,в).

Результаты тематического дешифрирования таких данных могут быть использованы и используются в задачах описания важнейших элементов общей циркуляции вод океана (течений, фронтов и фронтальных зон, вихрей и вихревых структур, явлений апвеллинга и др.).

По опыту визуальных наблюдений океана из космоса известно также, что физические свойства фоновых океанических вод, такие как соленость, температура, прозрачность влияют на цветовой тон и насыщенность –



Рис. 4а. Зона штиля в аэродинамической «тени» гористого острова.

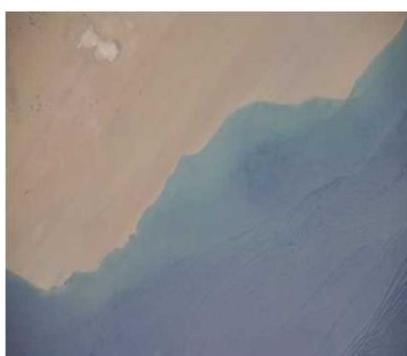


Рис. 4б. Проявления океанических внутренних волн в поле поверхностного ветрового волнения.



Рис. 4в. Текущее состояние ледового покрова на прибрежной акватории.

Возможность прямого наблюдения глубоководных форм донного рельефа экспериментально доказана пока для глубин не более 120 м. (Рис. 5а,б,в):



Рис. 5. Особенности цвета водных глубин. а) - Особенности донного рельефа, наблюдаемые из космоса на глубинах 6 – 40 метров; б) - Наблюдаемые из космоса форма и цвет цоколя Бермудских островов; в) - Наблюдаемые из космоса форма и цвет цоколя тихоокеанского атолла.

Однако дешифрирование цветных фотоизображений поверхности океана с привлечением результатов батиметрической съемки свидетельствует о влиянии рельефа дна на цветовой тон океанических вод - над более глубокими местами вода имеет цвет от голубого до темно-синего, над менее глубокими — зеленоватый. Знание таких закономерностей экипажем ПКА повышает информационный потенциал метода ВИН океана из космоса применительно к задачам изучения морфологических особенностей дна исследуемых акваторий.

Важнейшей особенностью метода визуально-инструментальных наблюдений, выгодно отличающей его от чисто инструментальных методов ДЗЗ, является возможность оперативной оценки экологического состояния системы «океан- атмосфера», выявления аномальных процессов и явлений в природной среде океана, установление причинно-следственных связей и взаимодействий между ними.

К настоящему времени накоплен значительный по объему фактографический материал разных уровней генерализации, полученный в процессе визуально- инструментальных наблюдений биотопов океана из космоса и сгруппированный по различным объектам экомониторинга. Применительно к экосистемам открытого океана наиболее широко представлены результаты наблюдений и цветных фотосъемок океана, характеризующие

многообразие форм и состояние коралловых рифов, морфологию разномасштабных полей фитопланктона и гидродинамические особенности среды его обитания (Рис. 1а,б; 6).



Рис. 6 Строение атолла Индо-Тихоокеанских островных провинций.

Негативное антропогенное воздействие на экосистемы открытого океана наблюдается из космоса по разливам нефти и нефтепродуктов, а также по загрязнению вод фотического слоя водами поверхностного стока, продуктами промывки железомарганцевых конкреций, добываемых со дна в рудных провинциях Мирового океана.

Одним из главных результатов мониторинга экосистем океанического шельфа является оценка откликов прибрежных экосистем на антропогенные возмущения. К числу таких откли-

ков, наблюдаемых из космоса по признаку цвета, относится, например, эвтрофирование вод, вызванного избыточным поступлением биогенных веществ со стоком рек. При этом степень эвтрофированности интегрально отражается насыщенностью зеленого цвета акваторий заливов, районов дельт и эстуариев. С поверхностным стоком в океан связано также загрязнение прибрежных вод терригенными взвесями, нефтяными углеводородами и другими поверхностно-активными веществами, пагубно влияющими на все звенья биологической цепи. Индикационные признаки таких загрязнений (цветовой тон, «выглаженные» участки в поле ветрового волнения) надежно распознаются и регистрируются в процессе ВИН прибрежных акваторий (Рис.7а,б,в,г).

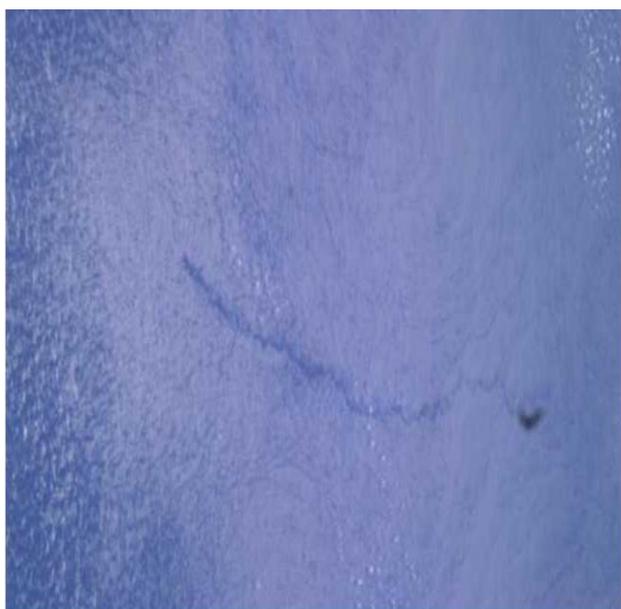


Рис. 7а. Воды открытого океана, загрязненные нефтепродуктами транспортных средств.

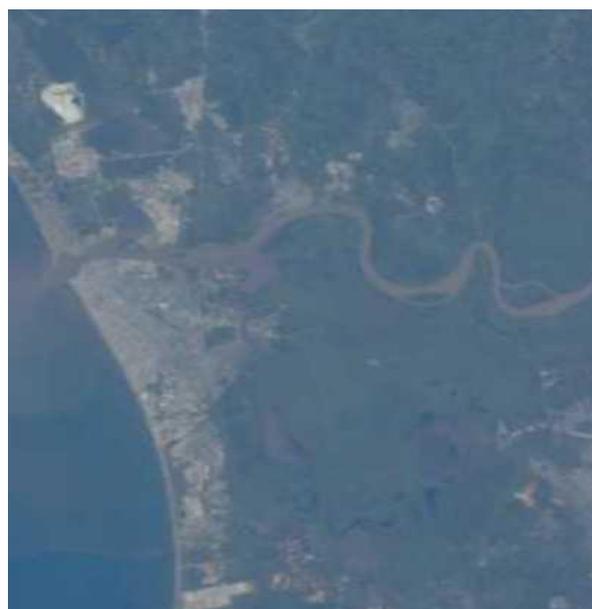


Рис. 7б. Воды приустьевой области океана, загрязненные мутными водами речного стока.

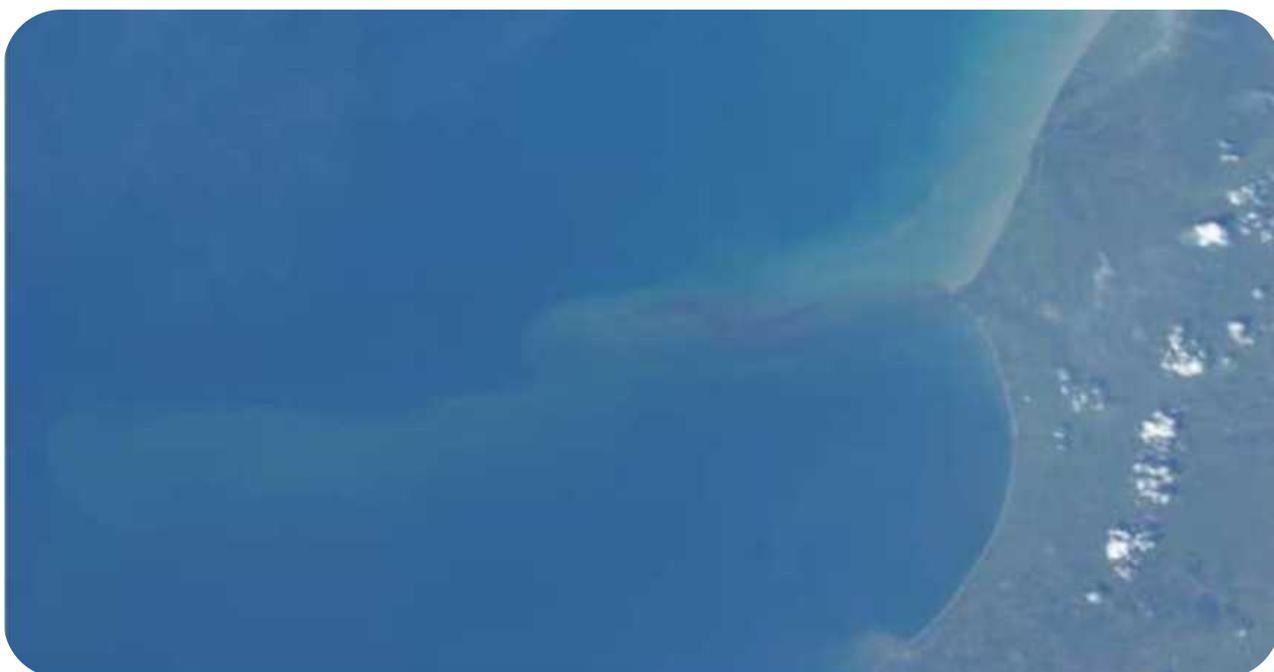


Рис. 7в. Воды приустьевой области океана, загрязненные нефтепродуктами материкового стока.



Рис. 7г. Неоднородности в поле ветрового волнения, обусловленные наличием пленок ПАВ.

В целом информационный потенциал метода может быть качественно охарактеризован совокупностью и других значимых океанологических задач, возможность решения которых с участием экипажей пилотируемых космических аппаратов доказана экспериментально. Вместе с тем необходимо отметить очевидную зависимость потенциальных возможностей метода ВИН и полноты их реализации от уровня специальной подготовки космонавта, состава и технических характеристик применяемой бортовой аппаратуры, качества управления и научно-методического сопровождения процессов ВИН персоналом Центра управления полетами.



РОСКОСМОС

Федеральное космическое агентство

<http://www.federalspace.ru>



Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения»

<http://new.tsniimash.ru>

<http://knts.tsniimash.ru>