

Секция 20

Космическая биология и медицина**ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ****«БАР» И «ЭКСПЕРТ» НА РС МКС**

*Е.А.Дешева*¹, *Е.В.Шубралова*², *В.В.Борисов*², *О.Д.Кононенко*³,
*Н.Д.Новикова*¹, *Н.А.Поликарпов*¹, *О.В.Котов*⁴

1- ГНЦ РФ - МБП РАН,

2 -ФГУП «ЦНИИМаш»,

3 - ОАО РКК «Энергия» им. С.П.Королева,

4 - ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А.Гагарина

deshevaya@imbp.ru

С 2008 г. на Российском сегменте МКС выполняются космические эксперименты «Бар» и «Эксперт» для обеспечения безопасности МКС в части отработки средств и методов обнаружения утечек, причиной которых может являться, в том числе микродеструкция гермокорпуса. Целью данного этапа КЭ «Эксперт» является:

- проведение с помощью комплекта «Бар» пространственного картографирования фоновых температурно-влажностных и акустических полей ультразвукового диапазона в модулях РС МКС для выявления зон возможной микродеструкции и создания базы данных параметров, обеспечивающей надежное распознавание признаков развития микродеструкции;

- отработка методов температурно-влажностного зондирования, акустической пеленгации, регистрации микросостояния поверхностей на борту, для создания бортовой системы раннего выявления мест микродеструкции РС МКС.

Задачи экспериментов, проводимых на РС МКС:

- выявление зон возможного развития процессов микродеструкции, (застойные зоны с плохой вентиляцией, зоны с пониженной/повышенной температурой и т. д).

- исследования температурно-влажностных параметров среды и температуры обечайки с целью выявления зон конструкции покрытых пленочной влагой;

- зондирование воздушной среды модулей для выявления застойных зон по скорости движения воздушных потоков;

- акустический мониторинг воздушной среды модулей для выявления зон с повышенными уровнями ультразвуковых колебаний, влияющими на рост биодеструкторов и возникновение эрозии на металле под пленочной влагой.

К настоящему времени в ходе экспериментов «Бар» и «Эксперт» отработан метод выявления потенциально опасных зон возможного развития процесса микродеструкции гермокорпуса, включающий:

- выявление потенциально опасных зон (по данным КЭ «Бар»), где возможно выпадение конденсата и зарегистрированы повышенные уровни ультразвуковых колебаний, значительно ускоряющих коррозию;

- отбор проб для анализа микрофлоры на поверхностях конструктивных элементов и гермокорпуса конструктивных элементов Служебного модуля (СМ) в выявленных зонах в рамках сеансов КЭ «Эксперт».

В ходе КЭ «Бар» были проведены измерения ультразвукового фона и тепловлажностных параметров среды более, чем в 250 зонах РС МКС, включая запанельное пространство. Анализ полученных данных выявил около 50 зон, в которых возможно выпадение конденсата и зарегистрирован повышенный уровень ультразвуковых колебаний. В ходе эксперимента «Эксперт» в 60% проб выявлены грибы и бактерии. В результате экспериментов, выполненных в ходе 16-22 основных экспедиций МКС, список потенциально опасных зон (56 зон расположения конструктивных элементов, соединенных с вакуумом) дополнен 30 зонами возможного развития процесса микродеструкции гермокорпуса, подлежащих регулярному контролю.

В 2010 году после доставки на РС МКС пирозендоскопа «Пирэн-В», входящего в состав комплекта «Бар», в выявленных зонах возможного выпадения конденсата проводится инструментальная инспекция (микроскопирование) наличия коррозионной среды и микроорганизмов - технофилов на гермокорпусе. Это обеспечит раннюю диагностику

начальных фаз микродеструкции гермокорпуса СМ РС МКС в интересах последующего регулярного контроля динамики развития процесса.

Противодействие биотическим загрязнениям планируется выполнять способом ультразвуковой очистки поверхности от микрофлоры и наростов с фрагментами коррозионной среды с помощью ультразвукового излучателя высокой интенсивности «Паскаль» и одновременной очисткой воздуха установкой «Поток» (2-й этап КЭ «Эксперт»). При обработке поверхности ультразвуковым прибором «Паскаль» планируется применение дезинфектанта, не вызывающего коррозию сплава АМг-6Н и допущенного Минздравом для жилых помещений.

Таким образом, полученные в ходе космических экспериментов «Бар» и «Эк5сперт» данные повышают безопасность пребывания экипажей на станции, позволяют контролировать состояние гермокорпуса и продлевать срок эксплуатации МКС. Эти данные также будут востребованы учеными и инженерами при проектировании долгоживущих пилотируемых комплексов будущего поколения, особенно актуальных для освоения Луны и Марса.

**ПРОБЛЕМАТИКА НИЗКОЧАСТОТНОГО ФОНОВОГО УЛЬТРАЗВУКА
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИССЛЕДОВАНИЮ НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ЕГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОСМОНАВТОВ ВО ВРЕМЯ ДЛИТЕЛЬНОГО
ПРЕБЫВАНИЯ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ**

Ю.Н. Маков¹, В.Б. Бычков², О.Д. Кононенко³, Е.В. Шубралова⁴

1 - МГУ им. М.В. Ломоносова, 2- ФГУП «ВНИИФТРИ», 3- ОАО РКК

«Энергия» им. С.П.Королева, 4 - ФГУП «ЦНИИМаш»

yuri.makov@mail.ru

Ранее, во время пребывания на МКС 17, 18 и 19-ой основных экспедиций, на Российском сегменте станции были проведены космические эксперименты «Бар» и «Эксперт», которые с целью обеспечения безопасности МКС были направлены на отработку средств и методов обнаружения мест утечек воздуха для предотвращения разгерметизации станции (отсеков). В ходе этих экспериментов проводились замеры спектральных характеристик акустического излучения в тех зонах рабочего отсека МКС, которые характеризуются наличием реальных источников такого излучения (вентиляторы, светильники, насосы и другие технические элементы – излучатели акустического поля). Данные заме-

ры показали заметные уровни (50-55 дБ) акустического излучения от указанных элементов в диапазоне частот 20 – 50 кГц. Этот частотный диапазон, примыкающий к верхней границе слышимого диапазона, часто определяется как низкочастотный ультразвук (НУЗ) и он характерен для акустических излучений различных промышленных установок (часть из них указана выше). Отсюда естественна постановка проблемы воздействия НУЗ на обслуживающий персонал, однако, до настоящего времени очень мало известно о механизмах и о последствиях такого воздействия; как следствие этого также практически отсутствуют дозовые характеристики для таких воздействий (заметим, что имеющиеся данные по уровням НУЗ не являются дозовыми характеристиками). При решении имеющихся задач в данной области следует иметь в виду важную особенность рассматриваемого процесса, заключающуюся в воздушном пути передачи НУЗ от излучающих элементов к объекту воздействия, т.е. реализацию бесконтактного воздействия, которое менее эффективно, чем при контактном воздействии, осуществляемом, например, в медицинской УЗ акустике.

В докладе выявлены особенности проблемы НУЗ воздействия на космонавтов на космической станции при реализации длительного полета (например, действие НУЗ в условиях ограниченного объема отсека МКС); определены наиболее уязвимые «зоны» и физиологические процессы организма космонавта при постоянном (круглосуточном) воздействии НУЗ и последствия этих воздействий (в их число входят возможные изменения функции слуха). С учетом скудных данных относительно обсуждаемой проблемы разработаны и предложены программы экспериментальных исследований, как с животными, так и с испытуемыми в земных условиях, а также на борту МКС с участием членов присутствующего экипажа.

При решении основной проблемы по изучению длительного воздействия фонового ультразвука на человеческий организм с ориентацией на космонавтов, пребывающих в невесомости, следует обращать пристальное внимание и на другие, более специфические процессы, характеризующие той же связкой «воздействующий эффект в виде фонового ультразвука – некоторый объект живого или неживого происхождения (в качестве объекта может выступать и некоторый процесс (например, химический))» с определенными изменениями под влиянием указанного воздействия. Особое значение и необходимость в исследовании имеют те «связки», которые значимы для «космической

жизнедеятельности» космонавтов. Здесь мы приходим к важной классификации в виде прямого воздействия ультразвукового фона на космонавтов и опосредованного (причем последствия последнего могут быть более негативно-значимыми, нежели результаты прямого воздействия). В качестве примера можно отметить имеющиеся разрозненные данные о проявлении (в земных условиях) эффекта, заключающегося в ускоренном росте микроорганизмов, бактерий и грибов (плесени) под воздействием низкочастотного и низкоинтенсивного ультразвука. В докладе при сделанной адаптации этого эффекта к реальной фоновой обстановке на МКС, даются предложения по отвечающим запросам пилотируемой космонавтики экспериментальным исследованиям влияния ультразвука с характерными для фонового НУЗ параметрами на рост (развитие) колонии микроорганизмов (бактерий) и грибов (плесени) как в земных условиях, так (что особенно важно) и в условиях невесомости. Актуальность таких исследований именно с ультразвуковым воздействием очевидна в силу агрессивности микроорганизмов по отношению к жизненно важным элементам станции вплоть до возможного повреждения ее корпуса.

**НАНОКОМПОЗИТНЫЕ АНТИМИКРОБНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ И
АВИАСТРОЕНИИ**

В.М.Елинсон¹, С.Б.Нестеров², А.Н. Лямин¹, Р.А.Нежметдинова²

1 - «МАТИ» - РГТУ им. К.Э.Циолковского,

2 - ФГУП «НИИВТ им. С.А. Векшинского»

vm_e@mail.ru

Биоповреждение материалов различного химического состава является актуальной экологической проблемой, которая в последнее время привлекает внимание большого числа исследователей. Наиболее активными возбудителями биоповреждений являются мицелиальные грибы и бактерии, на долю которых приходится наибольшее количество биоповреждений.

Микроорганизмы представляют собой исключительно своеобразную форму организации живой материи, обладающую колоссальным приспособительным потенциалом, изменчивостью и огромной резистентностью по отношению к разнообразным экстремальным факторам,

а также многочисленностью и разнообразием форм, повсеместностью распространения, обширностью сфер взаимодействия со средой обитания. Известны данные о жизнеспособности микроорганизмов при температурах в $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$, в условиях глубокого вакуума, при воздействии ультрафиолетовой радиации в дозе $50\ 000\text{ эрг/мм}^2$, ионизирующей радиации в дозах до 2–4 Мрад, дающие основание считать весьма вероятной возможность сохранения ими жизнеспособности на субстратах искусственного и естественного происхождения в космическом пространстве. Если же говорить о возможности микроорганизмов заселять космические орбитальные станции, а также салоны и технические отсеки самолетов и др., то здесь она практически безгранична. Искусственная среда обитания, создаваемая и поддерживаемая в космическом объекте, является комфортной для человека, а следовательно, и для большинства известных микроорганизмов. Источниками поступления микроорганизмов в среду обитания космического объекта являются как космонавты, их покровные ткани и слизистые оболочки, так и оборудование и материалы, постоянно доставляемые на борт. Таким образом, данная проблема в большой степени определяет возможность длительного функционирования орбитальных космических станций и авиационной техники.

Одним из путей решения проблемы микробиологических повреждений полимерных материалов и изделий является создание на поверхности полимеров нанокompозитных материалов методами ионно-плазменной технологии, обладающих антимикробной активностью и вследствие этого препятствующих размножению микроорганизмов и образованию колоний. Предварительные испытания таких материалов, сформированных на поверхности ПЭТФ и полиамида в условиях воздействия сравнительно высокой температуры, высокой влажности, ионизирующей радиации и электромагнитного излучения низко- и высокочастотного диапазонов показали принципиальную возможность создания антимикробных материалов для указанных целей.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОТ
МИКРОМИЦЕТОВ**

Л.Н.Ленкова, С.В.Поддубко, Н.Д.Новикова

ГНЦ РФ ИМБП РАН

poddubko@imbp.ru

В условиях пилотируемого космического полета постоянным экологическим партнером человека являются не только бактерии, но и микромицеты, способные в результате своей жизнедеятельности вызывать биоповреждения полимеров и биокоррозию металлов. При этом в отдельных зонах отмечается формирование специфических резервуаров накопления и размножения микроорганизмов, приводящее в ряде случаев к ухудшению работы и даже выходу из строя различной аппаратуры. Кроме того большинство представителей грибной флоры могут вызывать различные токсико-аллергические заболевания у людей. В связи с вышеизложенным, целью работы являлось испытание нового противомикробного препарата и различных методов его применения в целях предотвращения процессов биоповреждений конструкционных материалов применительно к условиям космического полета.

При проведении исследования использовали следующие тест-культуры грибов-микромицетов, выделенных с конструкционных материалов ОК «МИР» и МКС: *Aspergillus niger* van Tieghem., *Aspergillus versicolor* (Vuill.) Tirab., *Penicillium expansum* Link., *Penicillium aurantiogriseum* Dierckx., *Ulocladium botrytis* Preuss.

Были выбраны биоциды на основе четвертичных аммониевых соединений, применяемые в космических объектах в качестве санитарно-гигиенических и антимикробных средств, а также новые перспективные средства. В экспериментах исследовали следующие химические средства: «Окаdez», «Велтогран», этиловый спирт в различных концентрациях.

Для проведения экспериментов были отобраны следующие полимерные материалы: листы из технической резины; ария; аримид; алюминиевая фольга. Данные материалы входят в состав интерьера и оборудования МКС.

Установлено, что наиболее эффективным средством предотвращения развития микромицетов на поверхности полимерных материалах различной химической структуры является «Велтогран». С помощью

протираания салфетками, пропитанными 0,2% водным раствором препарата, достигается эффективное подавление развития грибов.

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕМЯН,
ЭКСПОНИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ РС МКС В РАМКАХ
ЭКСПЕРИМЕНТА «БИОРИСК-МСН-2»**

***М.А.Левинских, В.Н.Сычев, Е.Л.Нефедова, Т.А.Дерендяева,
Н.Д.Новикова***

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

ritalev@imbp.ru

Исследование устойчивости покоящихся стадий различных биологических объектов к воздействиям факторов открытого космоса является одной из актуальных проблем современной космической биологии. Проведенный в 2005-2006 г.г. эксперимент «Биориск-МСН-1», предусматривающий длительное экспонирование различных микроорганизмов на внешней оболочке Международной космической станции (МКС), показал, что споры отдельных бактерий и грибов устойчивы к комплексу негативных факторов, присущих космическому пространству, таким, как вакуум, значительные колебания температуры и космическая радиация.

В марте 2010 г. закончен второй эксперимент «Биориск-МСН» по экспонированию покоящихся стадий различных организмов, включая воздушно-сухие семена 16 сортов и линий растений, в условиях открытого космоса.

Для проведения космических экспериментов по длительному экспонированию покоящихся стадий различных организмов на внешней стороне Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) создана аппаратура «Биориск-МСН». Аппаратура «Биориск-МСН» состоит из трех металлических контейнеров, содержащих внутри пластиковые чашки Петри, в которых размещаются исследуемые организмы. Контейнеры закрепляются на специальной платформе на внешней оболочке стыковочного узла «Пирс». В данном оборудовании отсутствует температурный датчик. При этом известно, что колебания температуры на внешней поверхности МКС могут быть весьма значительны – от –100-150°С до +100-150°С.

Впервые показано, что семена некоторых видов растений (редис, листовая горчица) сохранили жизнеспособность после 31 мес. экспо-

зиции в космическом пространстве, несмотря на воздействие высоких температур (по косвенным оценкам, около 90°C) и других факторов космического полета. Состояние семян в контейнере №3 (31 мес. экспонирования в открытом космосе) существенным образом отличалось по сравнению с семенами из контейнеров №1 (13 мес.) и №2 (18 мес.): их всхожесть и энергия прорастания были значительно снижены. Растения, выросшие из «космических» семян по генетическим, биохимическим, физиологическим и морфологическим свойствам не отличаются от растений из «земных» семян.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант 08-04-01235-а).

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ МИКОБИОТЫ АНТАРКТИДЫ КАК
ЕСТЕСТВЕННОЙ АСТРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ
ЛАБОРАТОРИИ НА ЗЕМЛЕ**

***О.В.Василенко¹, Н.И.Чигинева², С.Ю.Фирсов¹, Г.А.Кочкина²,
Н.Е.Иванушкина², Е.В.Спирина³, Д.А.Гиличинский³, С.М.Озерская²***

1 – ГНЦ РФ – ИМБП РАН,

2 - ИБФМ им. Г.К.Скрябина РАН,

3 - ИФХиБПП РАН

ovvasilenko@gmail.com

Исследование жизнеспособности микроорганизмов, в том числе эукариотных, в условиях постоянных отрицательных температур предоставляет возможности не только для изучения способов их адаптации к экстремальным условиям среды обитания, но и для разработки методических подходов астробиологии. В частности, многолетнемерзлые отложения Антарктиды могут рассматриваться в качестве астробиологической модели Марса. Наиболее информативным и значимым подходом при изучении биоразнообразия микроскопических грибов является сочетание микробиологических и молекулярно-биологических методов.

Анализ таксономической структуры грибов проводился в рамках работ, поддержанных грантом РФФИ № 09-04-01251-а. Исследования проводились на образцах, отобранных 53-ей Российской Антарктической Экспедицией (2007/2008) в свободных ото льда оазисах в районах расположения российских станций Прогресс, Оазис Бангера, Русская и

Беллинсгаузен по периметру прибрежной зоны Антарктического континента. Образцы различались глубиной залегания, возрастом, генезисом и температурным режимом вмещающих мерзлых пород.

Из 18 изученных образцов при температурах культивирования 4 и 25°C было изолировано 25 штаммов микромицетов. Таксономическое разнообразие выделенных грибов представлено 6 родами и 13 видами, не считая темноокрашенного стерильного мицелия. Видовое разнообразие грибов по отдельным горизонтам невелико, в основном от 1 до 3 видов, увеличивается до 4-5 только в образцах со станции Беллинсгаузен.

Наиболее разнообразно в исследованных отложениях представлены роды *Penicillium* – 4 вида и *Cladosporium* — 3 вида, обычно доминирующие в многолетнемерзлых грунтах Арктики и Антарктиды. Анализ геномной рДНК (локус ITS2) выявил 17 операционных таксономических единиц в трех из четырех исследованных образцов. Из них 8 принадлежат аско- и базидомицетным грибам, 2 – лишайникам, 1 – инфузории и 6 не имеют соответствия в базе данных ГенБанк.

Сопоставление данных, полученных традиционными микробиологическими и молекулярно-биологическими методами, показывает, что эти два метода дополняют друг друга. Анализ ДНК не выявил мелкопоровые низшие грибы *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium chrysogenum*, *P. variable*, *P. waksmanii*, но в целом обнаружил примерно на порядок большее разнообразие в расчете на образец за счет других видов, в том числе плохо культивируемых. Это согласуется с данными предыдущих работ.

Таким образом, впервые проведено комплексное изучение мицелиальных грибов многолетнемерзлых отложений, отобранных в разных точках Антарктиды. Микробиологическими методами установлена их численность, микроочаговое распределение по профилю и видовой состав. Впервые выделена суммарная геномная ДНК из глубинных антарктических толщ. С помощью ДНК-технологий получены данные о таксономическом разнообразии грибов на уровне классов в пробах многолетнемерзлых отложений Антарктиды. Показано, что распределение грибов неоднородно.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ
И СЛАБЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**

О.С.Круглов, К.А.Труханов, Т.С.Гурьева, О.А.Дадашева

ГНЦ РФ - ИМБП РАН

kruglovos@mail.ru

В межпланетном полете и при работе на лунной базе человек столкнется с таким новым фактором внешней среды, как гипомангнитные условия (ГМУ) межпланетного пространства. Межпланетное магнитное поле на несколько порядков ниже привычного геомагнитного поля. Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют об отрицательном влиянии на жизнедеятельность организма при воздействии даже не столь низких магнитных полей.

В качестве объекта для исследований ГМУ был выбран японский перепел, который может являться элементом системы биорегенеративного жизнеобеспечения. Система колец Гельмгольца, в которой проводились эксперименты, путем специально созданного противонаправленного магнитного поля, давала ослабление геомагнитного поля в 80-100 раз. При исследовании комбинированного воздействия на эмбрионы гипомангнитных условий и слабого переменного электромагнитного поля подавалось слабое переменное магнитное поле частотой 50 Гц с целью компенсировать отсутствие привычного геомагнитного поля. В контрольных экспериментах питание колец Гельмгольца и дополнительного витка отключали. Собранные в течение 3-4 суток от одного поголовья перепела яйца закладывали в ячеистый держатель в количестве 8 штук и устанавливали в специально созданный инкубатор, в котором автоматически поддерживалась температура в пределах $+37,5 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность в пределах 60 – 80%.

Оценка влияния гипомангнитных полей на эмбриональное развитие перепела проводилась на 4-х суточных эмбрионах. В норме 4-суточный зародыш имеет четко выраженные анатомические данные, с зачатками (почки) крыльев и лап, с развитым пигментированным глазом и завершенным органогенезом. На этом этапе развития кровеносные сосуды покрывают половину желточного мешка. Кровообращение – это первая функционирующая система развивающегося эмбриона. На 3-4 сутки развития начинается процесс формирования четырехкамерного сердца, когда между предсердиями начинает расти перегородка, а на 6-ые сут-

ки развития у эмбриона перепела полностью образуют межпредсердные и межжелудочковые перегородки.

В результате экспериментов по инкубированию перепелиных яиц при ГМУ в течение 4 суток было установлено, что все эмбрионы были живыми и соответствовали 3-4 суткам развития. Однако почти у всех эмбрионов были обнаружены аномалии в развитии сердечно-сосудистой системы: наличие двух сердец с развитой системой кровеносных сосудов от каждого сердца, отсутствие межпредсердной перегородки, нарушение сосудистого рисунка, наличие анемии нижней части туловища эмбриона и отсутствие сосудов 2-го порядка в нижней части желточного мешка. У одного из эмбрионов была отмечена патология хвостового отдела туловища – расщепление на два.

Результаты эксперимента по влиянию ГМУ («подсветка» переменным магнитным полем отсутствовала) на раннее развитие перепела (4 суток) выявили, также как и в первом, нарушение развития рисунка кровеносных сосудов, выражающееся в разрастании сети сосудов 3-го порядка и капилляров. Следует заметить, что режим без воздействия слабого переменного поля не вызвал столь значительных изменений в морфологии сердца.

Таким образом, экспериментальные данные показали, что инкубирование яиц в гипемагнитном поле оказывает воздействие на ранней период эмбрионального развития японского перепела, вызывая у них нарушения в формировании сердечно-сосудистой системы. По-видимому, слабые низкочастотные электромагнитные поля с выбранными параметрами не компенсируют воздействия гипемагнитных условий на развитие эмбрионов японских перепелов.

Следует подчеркнуть, что даже возможное существенное сокращение сроков полета благодаря разработке и внедрению принципиально новых энергодвигательных комплексов (ядерных и других) межпланетных кораблей не снимет проблемы воздействия гипемагнитных условий межпланетного пространства и на поверхности Луны и Марса.

**ПОВЫШЕНИЕ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЕМЯН ПОСЛЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ**

Е.Л.Нефедова, М.А.Левинских, В.В.Цетлин

ГНЦ РФ - ИМБП РАН

ritalev@imbp.ru

Ранее в модельных наземных экспериментах нами было установлено отрицательное влияние высоких температур в диапазоне от +75⁰С до +100⁰С на биологические характеристики семян высших растений, выражающееся в снижении процента всхожести семян и увеличении длительности их прорастания (Левинских и др., 2010). Проращивание семян в условиях пониженного в 200-300 раз геомагнитного поля приводило к снижению их всхожести до 40% по сравнению с контролем. Темп развития проростков при этом существенно замедлялся (Нефедова, Левинских, Цетлин, 2009). В то же время проращивание семян высших растений в воде, облученной гамма-частицами, приводило к повышению их всхожести на 40% (Нефедова, Левинских, Цетлин, 2009).

Данная работа выполнена с целью исследования возможности повышения устойчивости семян высших растений к воздействию высоких температур, пониженному геомагнитному полю и электромагнитному излучению, предварительно облученных гамма-частицами в диапазоне от 75 до 500 рад.

Исследовали всхожесть и энергию прорастания воздушно-сухих семян пажитника, горчицы красной, редиса и томата после облучения гамма-источником (накопленная мощность дозы составила 75, 150, 250 и 500 рад). Эти же семена были использованы в трех вариантах эксперимента (проращивание после 3-х суточного воздействия температур +85⁰С и +90⁰С, в камерах с пониженным геомагнитным полем и низким электромагнитным излучением). В контрольном эксперименте использовали необлученные семена. Во всех экспериментах проращивание семян осуществлялось по стандартной методике.

Показано, что биологические характеристики семян, облученных с накопленной мощностью дозы от 75 до 500 рад не отличались от таковых в контроле. Всхожесть семян, подвергнутых дополнительных воздействиям, и длительность их прорастания не отличались от контрольных показателей, а для некоторых культур даже превосходила их.

Таким образом, установлено, что предварительное облучение сухих семян гамма-частицами приводит к повышению их неспецифической устойчивости.

Полученные предварительные результаты могут быть использованы при разработке способов повышения жизнеспособности семян, экспонируемых в условиях открытого космоса в рамках проведения научных экспериментов «Биориск-МНС», «Экспоуз» и «Фобос-Анабиоз».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант 08-04-01235-а).

**ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЁННОГО ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ АДАПТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗМА
ЖИВОТНЫХ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ КОМБИНИРОВАННОМ
РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

С.В.Татаркин, М.Ю.Баранцева

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

barantseva@imbp.ru

Устойчивость организма животных к различным, в том числе экстремальным, факторам окружающей среды можно количественно оценивать с помощью обобщённого логарифмического показателя $Lg[Ni(t)/N0i(t)]$. Ранее была показана корректность этого математического метода для оценки характера химического, радиационного, электромагнитного и др. воздействий, а также адаптационных способностей организма.

Для оценки изменения адаптивных возможностей организма лабораторных мышей F1 black (СВА×С57ВL6) при комбинированном радиационно-химическом воздействии в изоэффективных концентрациях был проведён комплекс исследований гемопозза включающий: динамику кариоцитов в костном мозге; ретикулоцитов, эритроцитов, лейкоцитов в периферической крови. Эффективная остаточная доза гамма излучения составила 25сГр. Затравочная смесь состояла из ацетона, ацетальдегида и этанола. Концентрации этих веществ в гермокамере в течение всего экспериментального периода колебались в пределах 0,67-1,4; 0,86-1,75; 3,78-9,91 (мг/м³) соответственно и не превышали ПДКпка.

Анализ полученных данных показал, что в контрольной группе (240 особей) обобщённый логарифмический показатель, рассчитанный для кариоцитов, ретикулоцитов, эритроцитов и лейкоцитов находились в интервале 0 – 0,05 шкалы, что свидетельствует об идеальном состоянии этой группы на протяжении всего эксперимента. Динамика клеточ-

ных популяций системы кроветворения соответствовала общепринятым значениям «нормы» для этого штамма мышей. В экспериментальной группе наблюдались значительный сдвиг адаптационной способности животных по всем исследованным параметрам системы кроветворения. Радиационное воздействие привело к отклонению логарифмического показателя рассчитанного по динамике количества ретикулоцитов до 0,2, что свидетельствует о стадии напряжения системы кроветворения донозологического характера. Отклонения от контрольных значений для всех изученных клеточных популяций были статистически значимыми ($p < 0,05$). Наблюдался сдвиг в лейкоцитарной формуле: общая лейкопения за счёт уменьшения процента нейтрофилов, при этом соотношение молодых и зрелых форм достоверно не менялось, что свидетельствует о раннем неспецифическом ответе системы кроветворения. Во время последующего воздействия затравочной смесью (10 недель) наблюдался сдвиг напряжённости адаптационных процессов по логарифмическим показателям, рассчитанным для кариоцитов (0,12) и, особенно, для лейкоцитов (0,18), что свидетельствует об активной адаптации гемопозеза. Сохранилось статистически значимое ($p < 0,001$) отличие от контрольных значений у всех изученных клеточных популяций. Наблюдалась нейтропения. В восстановительный период (90 суток) после комбинированного радиационно-химического воздействия количество кариоцитов и лейкоцитов превышало контрольные значения ($p < 0,01$), а ретикулоцитов в периферической крови было меньше нормы ($p < 0,05$). Организм лабораторных животных оставался в стадии активной адаптации, о чём свидетельствует значение обобщённого логарифмического показателя (0,1).

**РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ
КОСМОНАВТОВ В ТЕЧЕНИЕ ИХ ЖИЗНИ ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ
ДЛИТЕЛЬНЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ ПОЛЕТОВ И В СЛУЧАЕ**

МЕЖПЛАНЕТНОГО ПОЛЕТА К МАРСУ

А.В.Шафиркин¹, Ю.Г.Григорьев²

1- ГНЦ РФ - ИМБП РАН,

2 - ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА

a.v.shafirkin@mail.ru

Перед научным коллективом Института медико-биологических проблем (ИМБП) МЗ СССР академиком С.П. Королевым в 1964 г. была

поставлена научно-практическая задача — провести многолетний эксперимент по облучению животных во временном режиме и в дозах, моделирующих радиационное воздействие на космонавтов при полете на Марс, и получить необходимые данные к обоснованию допустимых уровней радиационного воздействия на космонавтов при осуществлении этого длительного межпланетного полета. Это предложение было активно поддержано заместителем министра МЗ СССР А.И. Бурназяном, академиками А.В. Лебединским и В.В. Париным.

Постановка «Хронического эксперимента» по 3-х и 6-ти летнему облучению большой партии собак в различных дозовых нагрузках была успешно осуществлена в ИМБП в 1966 г. Эксперимент по наблюдению за здоровьем животных продолжался в течение 14 лет. В эксперименте принимали участие коллективы нескольких институтов СССР и зарубежные ученые. Это был уникальный эксперимент, результаты которого освещались в журнале Советский Союз и были представлены на Выставке достижений народного хозяйства в павильоне «Космос». Нигде в мире не проводилось столь масштабного и длительного эксперимента, который дал бы большой массив данных, необходимых для решения вопросов радиационного нормирования на Земле и в Космосе.

Результаты этого эксперимента, наряду с другими экспериментами на мелких лабораторных животных, составили основу для построения различных моделей формирования радиационного поражения организма с учетом восстановительных процессов на разных уровнях биологической организации, а также позволили разработать алгоритм и провести расчеты суммарного радиационного риска для космонавтов в течение всей их жизни после осуществления длительных космических полетов.

В сообщении кратко будут представлены данные об изменениях в наиболее радиочувствительных обновляемых тканевых системах: системе кроветворения и сперматогенного эпителия, рассмотрен характер адаптационных процессов, степень напряженности регуляторных механизмов в процессе длительного облучения, активация и истощение компенсаторных механизмов регуляторных систем, отдаленные неблагоприятные морфологические изменения в органах и тканях, а также данные о сокращении продолжительности жизни животных в зависимости от величин доз радиационного воздействия.

Будут обсуждена модель радиационной скорости смертности млекопитающих, определяющая закономерности снижения компенсатор-

ных резервов организма и увеличения возрастных коэффициентов смертности в зависимости от дозы и мощности дозы радиационного воздействия, рассмотрен алгоритм расчета суммарного радиационного риска в течение жизни космонавтов и возможного сокращения продолжительности их жизни.

Проведенные расчеты показали, что при межпланетном полете к Марсу, длительностью 720 суток, проводимому в период максимума солнечной активности при толщине защиты бытовых отсеков около 20 г/см² алюминия, суммарный радиационный риск в течение жизни (к 70 годам) для космонавтов составит 7,5 - 8 %, а возможное сокращение средней предстоящей продолжительности жизни (СППЖ) – около 2,5 лет. При орбитальных полетах на станции Мир, длительностью 0,5 года, суммарный радиационный риск не превысит 1%, а сокращение СППЖ для космонавтов в возрасте 30 – 50 лет 0,3 и 0,25 года.

Важно отметить, что наши расчеты показали, что суммарный радиационный риск в течение жизни космонавтов включает не только канцерогенный риск, но также риск неопухолевой отдаленной патологии, что при относительно высоких дозах может приводить к снижению потенциала нейрогуморальной регуляции, развитию сосудистых нарушений, увеличению частоты болезней системы кровообращения, частоты инфарктов и инсультов. Поэтому установленный в нормативах 1985 г. предел дозы за всю карьеру космонавтов (4 Зв) в новых нормативах 2004 г. применительно к орбитальным полетам (Методические указания МУ 2.6.1. 44-03-2004) был снижен в 4 раза и составил 1,0 Зв. Согласно расчетам при этой дозе значение суммарного радиационного риска в течение жизни не превысит 10 %, риск смертности от опухолей для космонавтов, начавших карьеру в возрасте 30; 40 и 50 лет, составит 4,6; 3,1 и 2,4 % соответственно, а возможное сокращение продолжительности жизни оценивается равным 3,4; 3,1 и 2,7 года.

Интересно рассмотреть представленные в таблице 1 данные о риске отдаленных неблагоприятных радиационных последствий и о предельных за всю карьеру нормативных уровнях радиационного воздействия на космонавтов (астронавтов), установленных в России, а также космическими агентствами США и Японии.

Для космонавтов России разного возраста предельное значение среднетканевой эквивалентной дозы установлено одинаковым 1,0 Зв, поскольку нами было показано, что суммарный радиационный риск практически не зависит от возраста начала космической деятельности. В

то же время для астронавтов разного пола и возраста в нормативных документах США, Японии представлены разные пределы доз за карьеру, поскольку в основу положен только риск развития опухолей, который не должен превышать 3 % и недооценен суммарный радиационный риск, который для астронавтов в возрасте 55 лет может реально превысить 30 %.

Основной предел дозы для хрусталика – предельное значение эквивалентной дозы на хрусталик за всю карьеру космонавтов был снижен в 3 раза по сравнению с установленным ранее в 1985 г. значением. Он составил в новом нормативном документе России равным 2,0 Зв. При превышении этого значения дозы возможно увеличение скорости образования помутнений хрусталика и увеличение частоты образования катаракт, о чем свидетельствуют данные экспериментальных работ и эпидемиологических исследований.

При обосновании этого предельного значения дозы на хрусталик для космонавтов России за всю их профессиональную деятельность учитывались полученные в экспериментальных работах высокие значения коэффициентов ОБЭ для ускоренных тяжелых ионов, достигающие при низких уровнях дозы значений в интервале 40-67, а при совсем малых значениях дозы – до 100. Принимались во внимание также полученные недавно данные об увеличении частоты ухудшения прозрачности хрусталика и развитии начальных стадий катаракт у американских астронавтов при существенно меньших дозах на хрусталик, накопленных ими за весь период их профессиональной работы.

В то же время в документах США предельное значение дозы на хрусталик составило 4,0 Зв, а в Японии 5,0 Зв.

О ПЕРВОМ КОСМОНАВТЕ ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ Ю.А. ГАГАРИНЕ

И.П.Пономарева

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

ip@imbp.ru

«...Не будем завидовать людям будущего. Им, конечно, здорово повезет, для них станет привычным то, о чем мы можем только мечтать. Но и нам тоже выпало большое счастье. Счастье первых шагов в космос. И пусть потомки завидуют нашему счастью».

Ю.А. Гагарин

12 апреля 1961 г. в Советском Союзе впервые в истории был осуществлен полет человека в космос. На околоземную орбиту вышел космический корабль «Восток» с летчиком-космонавтом Ю.А. Гагариным.

Для обоснованного общебиологического заключения возможности пребывания живого существа в условиях полета на космическом летательном аппарате к сотрудничеству с авиационными и космическими медиками были привлечены многие лаборатории Академии наук и Академии медицинских наук. Необходимо отметить роль академиков Н.М. Сисакяна, В.Н. Черниговского, В.В. Парина, А.В. Лебединского, О.Г. Газенко, которые помогли организовать научную кооперацию.

Медико-биологическая подготовка кандидатов в космонавты являлась одним из основных разделов и заключалась в ознакомлении космонавтов с воздействием на организм ряда факторов, с учетом которых были определены принципы и конкретные методы тренировок космонавтов.

Перед специалистами была поставлена цель – изучить действие таких факторов полета, как одиночество, сенсорная депривация, изоляция, а также исследовать особенности психофизиологического состояния человека, выявить индивидуальные особенности реакций и его поведения во время пребывания в сурдокамере. Анализ специальных материалов, литературных источников, экспериментальных работ, выполненных к этому времени, и наблюдений свидетельствовал о том, что действие этих факторов может оказать отрицательное влияние на здоровье и психическое состояние космонавта.

Представлялось актуальным исследовать в условиях Земли особенности нервно-эмоциональной сферы человека, попытаться узнать, как будет чувствовать себя будущий космонавт, изолированный от привычного для нас порядка, изменятся ли его психические функции, характер двигательных реакций; не скажется ли это на способностях принимать быстрые, обоснованные решения в аварийных ситуациях и т.д.

Кандидат в космонавты Ю.А. Гагарин, отличавшийся хорошим физическим развитием, на протяжении всего периода подготовки к полету показал высокую устойчивость к воздействию различных факторов внешней среды. Он точно выполнял заданную деятельность в условиях искусственно создаваемых помех во время пребывания в сурдобарокамере. Физическая и нервно-психическая устойчивость Ю.А. Гагарина была оценена очень высоко. Ф.Д. Горбов – основатель космической психологии и руководитель этого направления работ – отмечал, что

эмоциональная устойчивость, чувство юмора, доброжелательное отношение к людям, а также объективные показатели обследования позволили сделать благоприятный прогноз нервно-психической устойчивости Ю.А. Гагарина в предстоящем полете.

Минуло почти пятьдесят лет! Но все, что было в тот день – старт на Байконуре, первое сообщение ТАСС, прочитанное Ю. Б. Левитаном по радио с теми же интонациями, с которыми он читал победный приказ в мае 1945 года, ликующая Москва, взбудораженная планета, - все это живет в памяти и сегодня.

Будем надеяться, что последующие поколения будут помнить о подвиге Ю.А. Гагарина, и от первого вступившего на поверхность планеты Марс землянина прозвучат слова летчика-космонавта В.В. Полякова: «Он первый позвал нас на Марс!»

РАЗРАБОТКА КОРНЕОБИТАЕМОГО СУБСТРАТА И МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩНЫХ РАСТЕНИЙ НА БОРТУ МАРСИАНСКОГО ЭКСПЕДИЦИОННОГО КОРАБЛЯ

А.Г.Кареткин, М.А.Левинских, О.Б.Сигналова, Т.А.Дерендяева,

Е.Л.Нефедова

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

ritalev@imbp.ru

Для выращивания овощных растений в долгосрочном космическом полете, в условиях длительной изоляции от Земли, необходимо создать надежную систему коревого питания. В настоящее время опыт наземных и космических исследований не позволяет говорить о возможности длительной эксплуатации оранжерейных устройств без замены корнеобитаемой среды. Так, все ныне существующие технологии позволяют проводить не более 2-3 вегетаций высших растений в одной и той же корнеобитаемой среде. Создание корнеобитаемых сред, способных обеспечить многократное интенсивное культивирование высших растений без снижения их потребительских качеств в условиях герметизированного объема, является важной задачей в плане подготовки длительной межпланетной миссии.

Для решения поставленной задачи необходимо было, во-первых, найти или разработать корневой субстрат, отвечающий ряду требований для культивирования растений, а во-вторых, обеспечить минеральное питание, которое способствовало бы высокопродуктивному уро-

жаю растительной биомассы с высоким содержанием витаминов, клетчатки и других полезных веществ.

Работа состояла из 6 этапов исследований свойств корневого субстрата и минерального питания при культивировании листового овощного растения мизуны (*Brassica rapa var. nipposinica*) в условиях модельного эксперимента. На каждом этапе исследований проводили серию вегетаций растений, по результатам которых выбирали вариант, отличающийся максимальной продуктивностью биомассы. Растения выращивали 30-36 суток в установке «Люминостат» в сосудах, имитирующих корневой модуль оранжереи. Круглосуточный режим освещения растений обеспечивался люминесцентными лампами ЛБ-60. Температура и влажность воздуха в зоне выращивания составляли соответственно 22-25°C и 60-70%. Полив проводился дистиллированной водой методом неограниченной капиллярной подпитки. Полученный растительный материал анализировали по морфометрическим и биохимическим показателям.

В результате продолжительных многоэтапных исследований был разработан и комплексно испытан композиционный корнеобитаемый субстрат с минеральным питанием для выращивания овощных растений в условиях длительного космического полета. Новый субстрат характеризуется малым удельным весом, структурной стойкостью, благоприятной влажно-воздушной средой для развития корней, способствует высокой продуктивности растений и обеспечивает длительное бесменное культивирование растений в ряду вегетаций. Разработанный субстрат не уступает по своим качествам используемым до настоящего времени в наземных и космических экспериментах корнеобитаемым средам, а по ряду параметров превосходит их.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
С ЛИСТОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ**

О.Б.Сигналова, Т.А.Дерендяева, А.Г.Кареткин

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

ritalev@imbp.ru

Применение искусственных субстратов для длительного культивирования растений в космических оранжереях вызвало необходимость исследования возможности использования удобрений пролонгированного действия. Особенность этих удобрений заключается в том, что со-

бренные в гранулы питательные элементы, постепенно поступают к корням растений. Для экспериментов выбрали гранулированные удобрения с разным процентным содержанием нутриентов ((N-P-K) и соответственно рассчитанные на различный по длительности период использования:

- “Osmocote” (N-P-K) 14-14-14, рассчитанный на 4 месяца вегетации, производство США;
- “Osmocote” 15-9-12, рассчитанный на 12-14 месяцев вегетации, производство США;
- “STA-green” 17-17-17, рассчитанный на 6 месяцев вегетации, производство США;
- “STA-green” 18-6-12, рассчитанный на 9 месяцев вегетации, производства США;
- “Nutricot” 18-6-8, рассчитанный на 8-9 месяцев вегетации, производство Японии;
- “Nutra-Gel” 12-13-9, рассчитанный на 4-6 месяцев вегетации, производство США.

Объектом исследований являлась листовая салатная капуста – мизуна (*Brassica rapa var. nipposinica*), которую выращивали в установке «Люминостат», в сосудах объемом 3 л, при круглосуточном освещении. Температура воздуха в помещении была около 24 градусов, а влажность воздуха около 50%. Семена предварительно не замачивали. Полив осуществляли дистиллированной водой методом неограниченной капиллярной подпитки. В качестве субстрата использовали инертный, негорючий, нетоксичный вспученный перлитовый песок – «агроперлит». Для улучшения гидрофизических свойств добавляли гидрогель. Для внесения необходимых для растений кальция и магния, добавляли доломитовую муку. Количество удобрений добавляли, выравнявая по содержанию азота.

Результаты исследований показали, что максимальный урожай с сосуда в первой вегетации был получен при использовании удобрения “Nutricot”. В вариантах с использованием “Osmocote” 15-9-12 и обоих вариантах с “STA-green” урожай был практически одинаков. Наименьший урожай с сосуда был получен при использовании удобрения “Nutra-Gel”.

**УСТОЙЧИВОСТЬ СЕМЯН РАЗНЫХ ВИДОВ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ
К КОМПЛЕКСНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ И
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Зубрицкая О.Е., Нефедова Е.Л.

ГНЦ РФ – ИМБП РАН

vsychev@imbp.ru

Проблема выживания покоящихся стадий различных биологических объектов под действием космофизических факторов, в частности, пониженной температуры, вызывает интерес в связи с экспериментом «Биориск» по экспонированию покоящихся стадий различных организмов, включая воздушно-сухие семена, в условиях открытого космоса.

Задача данного исследования состояла в подборе семян высших растений по их устойчивости к комплексному воздействию температур для возможного дальнейшего использования в космических экспериментах. Для этого был проведен ряд модельных наземных экспериментов. Исследовали семена редиса сортов «Французский завтрак» и «Жара», различающихся по форме корнеплодов. Эксперимент состоял из 3 частей: на семена редиса воздействовали пониженными (-20 °С; -80 °С), повышенными (+75 °С; +85 °С) и комплексом положительных и отрицательных температур. Исследовано 7 вариантов температурного воздействия на семена редиса:

1. Контроль.
2. Замораживание семян редиса в течение 3 суток при температуре -20 °С.
3. Замораживание семян редиса в течение 3 суток при температуре -20 °С и последующий их прогрев при температуре +85 °С в течение 3 суток.
4. Замораживание при -20 °С, прогрев при +85 °С, замораживание при -20 °С.
5. Прогрев при +85 °С в течение 3 суток.
6. Замораживание при -80 °С в течение 3 суток.
7. Прогревание при +75 °С в течение 3 суток.
8. Замораживание семян при температуре -80 °С в течение 3 суток и последующий их прогрев при +75 °С в течение 3 суток.
9. Замораживание семян при температуре -80 °С в течение 3 суток и последующий их прогрев при +85 °С в течение 3 суток.

Ростовые характеристики семян и морфометрические показатели растений определяли по стандартной методике (Гриценко, 1976).

Основные различия по всхожести семян редиса между вариантами воздействия получили на 1-е сутки. Воздействие исключительно отрицательных температур не повлияло на всхожесть (варианты 2,6). Прогрев семян при +85 °С задерживал всхожесть семян сорта «Французский завтрак»; температура +75 °С никак не влияла на всхожесть семян редиса обоих сортов, которая была такой же, как в контроле. После воздействия на семена редиса обоих сортов отрицательных, а затем положительных температур (варианты 3,4) их всхожесть резко снизилась. При воздействии температуры +75 °С и +85 °С после -80 °С (варианты 8,9) всхожесть семян редиса сорта «Французский завтрак» снизилась на 6 и 56 % соответственно, а у семян редиса сорта «Жара» повысилась на 32 и 18 % соответственно. На 2-е сутки прорастания семян редиса обоих сортов после комплексного воздействия их всхожесть была значительно лучше, чем у семян после воздействия температуры +85 °С. Следует отметить, что на 7-е сутки всхожесть семян у всех вариантов опыта выравнивалась и становилась сопоставимой с таковой в контроле.

Воздействие исключительно отрицательных температур не повлияло на рост и развитие растений. После воздействия на семена редиса обоих сортов как отрицательных температур (-80 °С и -20 °С), так и положительных температур (+75 °С и +85 °С), не обнаружено отличий в росте и развитии опытных растений по сравнению с контролем. Содержание фотосинтетически активных пигментов (хлорофилла «а» и «в»), сумма каротиноидов и сумма пигментов были такими же, как в контроле.

В результате опытов было установлено, что температурное воздействие ограничивалось только скоростью прорастания семян: отрицательные температуры не оказали никакого влияния на рост и развитие растений. Воздействие исключительно положительных температур задерживало всхожесть семян и комплексное воздействие отрицательных и положительных температур вначале также задерживало всхожесть семян, но затем скорость прорастания увеличивалась и к концу прорастания всхожесть выравнивалась с таковой в контроле.

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ У ЭМБРИОНОВ ЯПОНСКОГО ПЕРЕПЕЛА, ПРОШЕДШИХ ПОЛНЫЙ ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ПЕРИОД В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

Д.В. Комиссарова, Т.С.Гурьева, О.А.Дадашева, В.Н.Сычев

ГНЦ РФ - ИМБП РАН

darja-komissarova@rambler.ru

Известно, что в процессе эволюции силы земного притяжения являлись определяющими в морфогенезе и строении населяющих Землю живых существ, и, прежде всего, это сказалось на костной системе.

Ранее проведенные эксперименты на животных на биоспутниках серии «Космос» показали, что у опытных крыс происходило торможение образования костной ткани. Причем, масса, объем и содержание минеральных элементов у животных, экспонированных в условиях невесомости, зависели также и от их возраста. В большинстве проводимых экспериментах участвовали только взрослые особи, а само исследование захватывало только определенный этап жизни живого организма.

Поэтому, проведенные на борту ОК «Мир» эксперименты по изучению влияния факторов космического полета на эмбриогенез японского перепела, позволили провести изучение процесса костеобразования у птиц в динамике.

В данной работе приведены результаты исследования развития в динамике опорных костей у разновозрастных эмбрионов японского перепела, развившихся в условиях невесомости и лабораторного контроля.

Исследование развития костной ткани в условиях невесомости проводили на костях нижних конечностей разновозрастных (7, 10, 14 и 16 суток) эмбрионов японского перепела в сравнении с таковыми лабораторного контроля. Для изучения были взяты 2 кости нижних конечностей: бедренная и большеберцовая. Были проведены промеры самих костей и участков окостенения в исследуемых костях у эмбрионов отдельных групп.

Результаты показали, что длина бедренной кости у эмбрионов, развившихся в условиях невесомости, отставала на 10-е и 16-е сутки на 2,3 и 4,1 мм по сравнению с таковой лабораторного контроля. Длина большеберцовой кости у эмбрионов японского перепела полетной группы также была меньше, чем у лабораторного контроля и для эмбрионов 10, 14 и 16 суток на 1,31, 0,3 и 0,7 мм соответственно.

Известно, что разрушение сердцевины хряща в бедре эмбриона птицы начинается на 7 сутки, а к 14-16 суткам инкубирования происходит полностью разрушение хрящевой ткани. Поэтому помимо определения длины костей нижних конечностей у эмбрионов проводили замеры участков окостенения с целью определения степени процесса остеогенеза, происходящего в условиях невесомости.

Морфометрия костей нижних конечностей эмбрионов полетной группы выявила задержку процесса окостенения по сравнению с лабораторным контролем. Участок окостенения бедренной кости у 10-суточных эмбрионов полетной группы был в 2 раза меньше, чем у таковых лабораторного контроля; а для большеберцовой костей у 10-и суточных эмбрионов полетной в 1,5 раза, у 16-и суточных – в 1,2 и 1,13 раза меньше соответственно по сравнению с эмбрионами лабораторного контроля.

Таким образом, результаты исследований показали, что процесс костеобразования в костях нижних конечностей эмбрионов японского перепела полетной группы шел, хотя и с отставанием. К моменту вылупления птенцов в условиях невесомости кости нижних конечностей практически не отличались от таковых птенцов лабораторного контроля.

НАЗЕМНАЯ ПОДГОТОВКА ПОЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «БИОСИГНАЛ»

Гальчук С.В., Григорьева О.В., Рудимов Е.Г., Буравкова Л.Б.

ГНЦ РФ - ИМБП РАН

[*buravkova@imbp.ru*](mailto:buravkova@imbp.ru)

Исследования, проводимые на клеточных моделях при действии микрогравитации и других ФКП, являются базисным уровнем выявления и изучения физиологических механизмов адаптации живых существ к условиям космического полета. Полетные и наземные эксперименты по изучению клеточных эффектов микрогравитации показали, что условно их можно разделить на две группы: 1 – быстрые ответы клетки, связанные с ремоделированием цитоскелета, изменением ряда мембранных процессов и активацией «быстрых генов», 2 – отсроченные реакции, выражающиеся в изменении синтеза или модификации отдельных белков и факторов транскрипции, а также вторичных изменения клеточного цикла и регуляторных контуров, включающих внутриклеточные посредники. Большинство экспериментальных результатов,

полученных на беспилотных аппаратах «Бион» и «Фотон», а также на МКС в рамках научных программ РКА, НАСА и ЕКА с использованием клеточных культур и оборудования типа КУБИК, КРИОГЕМ и др., позволяют осуществить только послеполетный анализ возвращаемого биологического материала, в том числе, зафиксированных клеток, поскольку, за редким исключением не представляется возможным динамическая регистрация каких-либо клеточных параметров в течение длительного периода времени.

При проведении эксперимента «Биосигнал» будет использован прибор «ФЛЮОР-К» - прецизионный малогабаритный, автономный, двухканальный флуориметр с программируемым алгоритмом работы. Он предназначен для измерения динамики дифференциального флуоресцентного сигнала нано- и микрообъектов органической и неорганической природы (суспензированные клеточные органеллы, клетки человека и животных, одноклеточные водоросли, бактерии, флуоресцирующие коллоидные растворы различной природы) в малых объемах. Кроме этого прибор позволяет осуществлять регистрацию температуры и гравитационных нагрузок (положение в пространстве, ускорение по любому вектору, удар) как основных физических факторов влияющих на анализируемый объект.

Прибор разработан для проведения продолжительных программируемых автономных экспериментов в условиях космического полета на пилотируемых (ТПК «Союз ТМА», РС МКС) космических кораблях и станциях, а также биологических спутниках. Он может быть также успешно использован в исследовательских экспедициях, когда обслуживание научной аппаратуры (НА) должно быть минимальным, а габаритные размеры и масса, надежность и безопасность, являются важными критериями для успешного решения поставленных исследовательских задач и безопасности людей в экстремальных ситуациях

Объектом исследования является суспензионная культура клеток (лимфоциты человека, выделенные из периферической крови непосредственно перед заправкой аппаратуры и передачей ее на космический корабль для проведения измерений, начиная с этапа взлета).

В процессе проведения космического решаются следующие задачи:

- изучение влияния микрогравитации и других факторов космического полета на внутриклеточные параметры, отражающие интеграль-

ные характеристики функционального состояния клетки, такие как система внутриклеточной рН-регуляции;

- анализ влияния температурного режима на динамику функционального состояния клеток при различных гравитационных нагрузках (этапы полета), а также оценка влияния температуры в данных условиях как модулирующего фактора активации внутриклеточных систем.

Оценка влияния микрогравитации и других факторов космического полета на систему внутриклеточной рН-регуляции осуществляется с помощью метода флуоресцентных зондов. Регистрация данных (интенсивность флуоресценции объектов, температура) начинается сразу после установки элементов питания в прибор. После доставки прибора на РС МКС ФЛЮОР-К размещается в инкубаторе при температуре плюс 29оС на период 4-7 суток. После завершения эксперимента на борту МКС и возвращения космического корабля на Землю производится съем и анализ информации, из собственной энергонезависимой памяти прибора ФЛЮОР-К, а также производится оценка жизнеспособности клеток и специальный анализ биоматериала, возвращаемого с МКС.

Динамический анализ влияния ФКП на функциональное состояние иммунокомпетентных клеток человека непосредственно во время КП с автоматической коррекцией дискретности оценки исследуемых параметров в зависимости от этапов КП на уровне внутриклеточных систем и данные синхронных наземных экспериментов позволят:

- реализовать исследовательскую программу эффекторного анализа влияния факторов космического полета и температурной модуляции функционального состояния внутриклеточных систем на примере системы внутриклеточной рН-регуляции иммунокомпетентных клеток человека;

- разработать систему скринингового анализа влияния ФКП на биологические объекты на уровне внутриклеточных систем;

- разработать миниатюризированный прибор для проведения флуоресцентных измерений в условиях КП.

В настоящий момент проведены лабораторные испытания прибора с измерением жизнеспособности клеток при длительной работе прибора в различных режимах, которые продемонстрировали возможность эксплуатации прибора и проведение КЭ длительностью до двух недель. Кроме этого осуществлен скрининг флуоресцентных зондов для оценки эффективности измерений при длительном режиме работы прибора при различных температурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского космического агентства, РАН и гранта «Ведущие научные школы» НШ-4592.2010.4

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

К.Н. Еськов

ГНЦ РФ - ИМБП РАН

eskov@imbp.ru

Введение. В обозримом будущем ожидается реализация программы пилотируемого полёта к Марсу. Специфические ограничения межпланетных полетов (высокая степень риска, отрыв от Земли, соизмеримая с этапом жизни продолжительность полета, вынужденное межличностное общение) требуют исследования внутригрупповых процессов, протекающих в подобных сложных условиях.

За последние годы в России в ГНЦ РФ - Институте медико-биологических проблем РАН и за рубежом (с участием сотрудников Института) проведен ряд наземных экспериментов с продолжительной изоляцией. Для изучения особенностей межличностного взаимодействия использовалась инструментальная методика «Гомеостат».

Цель. Оценка эффективности взаимосвязанной операторской деятельности в условиях продолжительной изоляции.

Методика. «Гомеостат», как модель взаимосвязанной операторской деятельности, представляет собой замкнутую биотехническую систему автономного саморегулирования с перекрестными обратными связями. Методика выполняется с использованием компьютеризированного комплекса «Гомеостат»: ноутбук, блок контроллера, четыре индивидуальных пульта. Специальная компьютерная программа позволяет настроить необходимую конфигурацию обследования, выполняет первичную обработку и хранение полученных данных.

Результаты. В исследовании использовались данные, полученные в трех наземных экспериментах: EXEMSI (четверо испытуемых, продолжительность изоляции - 60 суток, 1992), HUBES (трое, 135 суток, 1994), SFINCCS (четверо, 240 суток, 1999). Всего в 45 сеансах группового обследования было предъявлено более 400 инструментальных гомеостатических задач.

Получен график успешности решения инструментальных гомеостатических задач, наглядно демонстрирующий универсальную (неза-

висимо от конкретной группы и длительности изоляции) динамику эффективности взаимосвязанной операторской деятельности на протяжении изоляционного периода.

Форма графика имеет выраженный волнообразный характер. Наблюдаются четыре экстремума - кульминационные моменты изоляционного периода: два минимума и два максимума, причем амплитуда второго максимума вдвое больше первого. Условно разделив период изоляции на четыре этапа равной продолжительности, можно видеть, что тенденция к повышению эффективности взаимосвязанной операторской деятельности наблюдается: на временном отрезке от первой трети первого этапа до начала второго этапа изоляционного периода и в большей степени - от третьей четверти второго этапа к началу первой трети четвертого заключительного этапа изоляции.

Выводы. Целесообразно планирование сложных технологических операций на борту космического корабля, требующих от экипажа согласованных взаимосвязанных действий, с учетом прогнозируемого времени подъема или спада эффективности совместной деятельности. Особое внимание специалистов, осуществляющих полетный психоневрологический мониторинг, следует обратить на периоды снижения уровня эффективности межличностного инструментального взаимодействия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-исследовательского проекта № 10-06-00566а.

О ФОРМАХ И СТАДИЯХ СТРЕССОГЕННЫХ «АСТЕНИЧЕСКИХ» РАССТРОЙСТВ

Е.А.Шапошников¹, М.Н.Пузин², И.А.Никифоров², К.Н.Есков¹

1 - ГНЦ РФ - ИМБП РАН, 2 – ИПКВ ФМБА

eskov@imbp.ru

Проблема синдрома «астенизации» (СА) в результате посттравматических стрессогенных изменений по-прежнему привлекает внимание специалистов не только клинической, но и прикладных областей медицины (в первую очередь авиакосмической, морской, военной, производственной) и специальных разделов психологии. Между тем СА нередко развивается при действии комплекса стрессогенных и других экстремальных факторов (длительная гипокинезия, интеллектуальное,

эмоциональное перенапряжение, психотравмы, боевой стресс, глубокие негативные переживания и др.) у ранее практически здоровых людей. Между тем, отмечается, что процесс «астенизации» весьма варьирует по форме и последствиями для психического здоровья, от чего зависят индивидуально подобранные коррекционно-профилактические мероприятия.

Методология. На клинических базах ГНЦ РФ - Института медико-биологических проблем РАН проведено комплексное медико-психологическое и клиничко-нейрофизиологическое обследование 69 человек с явлениями СА, который был обусловлен длительным эмоциональным «стрессом», психотравмами на работе или в семье (перенапряжение, конфликты, ситуации связанные с опасностью для жизни и т.д.) на фоне хронически сниженного уровня двигательной активности (профессионально-бытовая гипокинезия). Все обследованные были представителями операторского труда (служащими, ИТР, включая различных операторов, работающих в экстремальных условиях - МЧС, МВД и другие спецслужбы) в возрасте от 22 до 55 лет (средний возраст $41 \pm 0,5$). Из них женщин было 62%, мужчин - 38%. Фоновое и заключительное (после завершения курса лечения и реабилитации) обследования проводились по стандартной клинической схеме, включавшей электроэнцефалографию, биохимическое исследование (катехоламины и др.), УЗДГ, ретиноскопию, магнитно-резонансную томографию (МРТ) - на базе ГНЦ РФ ИМБП РАН, клинике ОАО «Медицина», медико-психологического центра Индивидуальности.

Цель данного исследования - комплексное медико-психологическое и клиничко-нейрофизиологическое изучение феноменологии и закономерностей течения СА, а также определение его клинических форм у лиц преимущественно интеллектуально-операторских профессий, связанных с экстремальными (психотравмирующими) условиями деятельности, стрессогенным стилем частной жизни, определение адекватных коррекционно-реабилитационных мероприятий.

В результате были установлены три, наиболее частых, формы СА: компенсированная (доминировали признаки синдрома хронической усталости - СХУ) - 58%, субкомпенсированная (чаще всего в виде синдрома тревожности - СТ) - 24% и декомпенсированная - с преобладанием синдрома эмоционального выгорания (СЭВ) - 18%. Необходимость дифференциальной диагностики указанных форм СА обусловлена потребностью в индивидуальных схемах профилактики, лечебной коррек-

ции и реабилитации. В частности, от конкретной формы и стадии СА зависят показания к применению преимущественно психотерапевтических, медикаментозных или нейротерапевтических (массаж, рефлексотерапия и др.) мероприятий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-06-00360а).

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СКАФАНДРАХ «ОРЛАН»

С.Н. Филипенков

ОАО НПП «Звезда» им. Г.И. Северина

zvezda@zvezda-npp.ru

В докладе рассматриваются основные физиологические проблемы моделирования выхода в космос при внекорабельной деятельности (ВКД) в отечественных скафандрах космонавтов (СК). На основе данных по физиологическим испытаниям СК типа «Орлан» анализируются результаты отработки методов перемещения человека по поверхности в обезвешенном СК полужесткого типа, специальная подготовка к выходу в космос в вакуумной термобарокамере (ТБК), а также обсуждается состояние психофизиологической подготовки и перспективы совершенствования тренировки операторов к предстоящим в лунных и марсианских экспедициях высадкам на поверхность другого небесного тела.

В испытаниях на наземных стендах, а затем и при эксплуатации в космосе, на протяжении более чем 40 лет постоянно улучшались физиолого-гигиенические, медико-технические характеристики полужесткого СК и его автономной системы обеспечения жизнедеятельности (АСОЖ) при сохранении ставшей уже классической конструктивной схемы оболочки СК типа «Орлан» (Абрамов И.П., Северин Г.И., Сверщек В.И., Стоклицкий А.Ю., Шарипов Р.Х., 1984; Абрамов И.П., Дудник М.Н., Сверщек В.И., Северин Г.И., Скуг А.И., Стоклицкий А.Ю., 2005; Северин Г.И., Абрамов И.П., Сверщек В.И., Поздняков С.С., 2006).

Анализ проведенных физиологических испытаний в ТБК по пешему перемещению по поверхности и восхождению на ступеньку высотой 17-23 см при работе в полужестких СК типа «Орлан» с частотой 5-30 движений в минуту при среднечасовых энерготратах 250-400 ккал и пиках до 8-12 ккал/мин (42 эксперимента с участием 9 испытуемых при ими-

тации ВКД 2,5-5 ч), «Орлан-Д» (42 эксперимента с участием 12 испытателей при имитации ВКД 3,5-5 ч в ТБК-30), «Орлан-ДМ» (158 экспериментов с участием 67 испытателей при имитации ВКД 5-7,5-ч в ТБК-50) и «Орлан-ДМА» (202 эксперимента с участием 42 испытателей по 5-8,5-часовой имитации ВКД в ТБК-50) показал, что работа по циклограмме выхода вызывает физическое, эмоциональное и терморегуляторное напряжение организма человека, а также утомление, значимо усиливающееся при длительности ВКД более 5 ч. Ограничение максимального пути, пройденного в физиологических испытаниях полужестких СК, расстоянием в 5-10 км было обусловлено не столько временем функционирования АСОЖ сколько тяжелыми физическими нагрузками, достигаемыми при моделировании пешего перемещения по поверхности. Результаты стендового моделирования лунных условий тяготения при ходьбе в вывешенном полужестком СК были вполне сопоставимы по энерготратам лунным американским экспедициям. При этом скорость передвижения составляла в среднем 2-2,9 км/ч, максимум 6-7 км/ч и соответствовала таковой при моделировании лунной гравитации (1/6 G) на стенде вывешивания и в полетах по параболической траектории на летающей лаборатории самолета «Ту-104А» ЛИИ.

В перспективной задаче высадки на поверхность небесного тела проблема обеспечения эксплуатационной пригодности индивидуально защитного снаряжения становится критичной, т.к. масса современного комплекта СК для ВКД с АСОЖ превышает 100 кг. Кроме того, мягкие оболочки ног и рук имеют ограниченную подвижность при высоком избыточном давлении 0,4 ати, достаточную только для успешного выполнения задач передвижения в условиях невесомости. Данные ограничения требуют специальных исследований рабочих операций в СК, оптимизации позы для отдыха, совершенствования биомеханики движений и снижения энергетики локомоций, а также поиска конструктивных способов облегчения и ускорения пешего передвижения по поверхности. В ближайшей перспективе круг исследуемых физиологических функций человека может быть ограничен кинематическими и динамическими параметрами опорно-двигательного аппарата при работе в СК, изучением психофизиологических особенностей восприятия и распознавания информации, оценкой возможностей управления различными системами и их эргономической оптимизацией в плане сочетаемости с другими элементами системы ВКД.

В дальнейших исследованиях может быть изучен вопрос о декомпрессионной безопасности регулярной ВКД со снижением давления в СК до 0,2-0,3 ати при применении в кабине взлетно-посадочного комплекса искусственной гипобарической газовой атмосферы с общим давлением до 0,6-0,8 ата и заменой азота на гелий или неон. При сохранении рабочего давления в СК на уровне 0,4 ати и применении в кабине нормальной воздушной атмосферы потребуется длительная процедура десатурации организма от азота в процессе шлюзования перед выходом, что экономически неоправданно по причине дополнительного расхода запасов газа.

В перспективе масса АСОЖ в комплекте со СК должна быть облегчена с целью повышения работоспособности космонавтов и увеличения продуктивности труда. Подвижность планетарного СК должна быть увеличена для того, чтобы обеспечить удобство спуска и подъема по трапу взлетно-посадочного корабля, входа и выхода из транспортного средства, а также свободного хождения по сильно пересеченной местности и возможности работы руками с образцами проб грунта, для чего необходимо нагибаться вперед или вставать на колено. Комплект СК и АСОЖ должен быть приспособлен для дистанционного управления роботами-автоматами, телеуправляемыми устройствами и мобильными транспортными средствами, необходимыми для расширения сферы ВКД, повышения производительности труда, увеличения силовых и энергетических возможностей операторов. Изучение всего перечня физиологических и эргономических проблем может быть осуществлено в полунатурных или полевых условиях с привлечением разработанных и изготовленных на научно-производственном предприятии «Звезда» экспериментальных СК: «Орлан-Э» для эксперимента «Марс-500» и прототипа марсианского скафандра.

АКВАРИУМ

В.С.Дудников

(Днепропетровский национальный университет, Украина)

dudnikovvs@rambler.ru

Автором разработан аквариум, предназначенный для проведения экспериментов по биологии развития организмов в условиях космического полета. При этом для изучения влияния на развитие чисто космических факторов (невесомость, радиационная обстановка, магнитное

поле и т.д.) аквариум снабжен биогенной автоматической системой аэрации на основе фотосинтеза растений, обеспечивающей адекватное земному содержание растворенного в воде кислорода без нарушения естественного ритма световой и темновой экспозиции.

С этой целью емкость аквариума разделена на две части, в одной из которых размещены водные растения, освещаемые искусственным источником света, управляемым по специальной временной программе в зависимости от показаний датчика концентрации растворенного кислорода, размещенного во второй части аквариума, в которой размещены рыбы. Части емкости аквариума разделены светонепрозрачной газопроницаемой перегородкой, а емкость с растениями снабжена системой светонепрозрачных шторок.

При освещении естественным или искусственным светом водные растения поглощают углекислый газ, образующийся в результате жизнедеятельности рыб, отделенных от растений газопроницаемой перегородкой. При фотосинтезе растения генерируют кислород, который растворяется в воде и через газопроницаемую перегородку проникают в емкость с рыбами.

Аквариум представляет собой замкнутую биологическую систему без газообмена со средой кабины космического корабля, при этом обеспечивается полная стерильность, как для обитателей аквариума, так и для экипажа космического корабля, отсутствует необходимость установки фильтров, компрессоров, насосов.

Конструкция признана изобретением.
