

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПИТАНИЯ ЭКИПАЖЕЙ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ

Агуреев А.Н.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Комплексное воздействие факторов космического полета (КП) может сопровождаться определенными сдвигами обменных процессов, функции пищеварения, состояния аппетита и общей реактивности организма человека.

Адекватное потребностям организма человека питание является одним из важнейших условий, обеспечивающих повышение устойчивости к воздействию различных экстремальных факторов КП и в значительной степени определяется количественным и качественным составом поступающей в организм пищи. Однако сбалансированный по содержанию незаменимых пищевых компонентов рацион не является гарантией сохранения хорошего аппетита и положительного эмоционального настроения членов экипажей, что особенно проявляется в длительных КП.

Одной из причин снижения аппетита и возникновения отрицательных эмоций, связанных с питанием, являются его монотонность, а также изменение вкусовых предпочтений членов экипажей на различных этапах КП. Преодоление монотонности питания может быть достигнуто за счет его большего разнообразия и увеличения цикличности меню.

Эти два момента реализуются в процессе обеспечения питанием экипажей Международной космической станции (МКС). Так, расширение ассортимента продуктового состава рационов достигается путем использования при их комплектации российских и американских продуктов питания, общее количество которых в настоящее время приближается к 500 наименованиям. Цикличность меню за время эксплуатации МКС была увеличена с 6 (1-я экспедиция) до 16 дней (16-я экспедиция).

Вместе с тем создание надежно функционирующей и не вызывающей нареканий со стороны экипажей системы обеспечения питанием в условиях длительного КП является довольно сложной задачей.

Это обусловлено тем, что для комплектации космического рациона может использоваться относительно ограниченный ассортимент консервированных различными способами и готовых к употреблению продуктов длительного хранения, специально разрабатываемых или (как делают наши американские коллеги) дорабатываемых для этих целей. То есть и разнообразие питания, и увеличение цикличности меню требуют постоянной разработки новых видов продуктов и модернизации технических средств бортовой системы обеспечения питанием (установки холодильников и морозильных камер, СВЧ-печи, агрегата для выпечки хлеба и т.д.).

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ АСУИК ДЛЯ АМЕРИКАНСКОГО СЕГМЕНТА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Андрейчук П.О., Карасева Г.А., Семенов А.В., Черненко В.Е., Быстров А.В., Бобе Л.С.*, Солоухин В.А.*, Рыхлов Н.В.*, Петров Д.Н.*, Зеленчуков В.В.*, Белов А.А., Никишкин И.А.****

РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

*ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

**ОАО «НПП «Звезда», г. Томилино, Россия

Ассенизационное устройство (АСУ) работает на Международной космической станции (МКС) со 2 ноября 2000 г. (с начала пилотируемого полета). АСУ включает систему приема и консервации урины СПК-УМ, оборудование системы АСУ-8А для приема и складирования плотных отходов, сборники ЕДВ-Ш и емкости типа ЕДВ. Система обеспечивает с минимальными энерготратами прием и консервирование жидких и плотных отходов от космонавтов, их транспортирование, сепарацию, сбор и хранение.

Среднесуточное энергопотребление системы при экипаже из 3 человек составляет 5 Вт, удельное энергопотребление – 30 Вт · ч на 1 л принимаемой урины. Длительная работа системы обеспечивается за счет замены выработавших ресурс блоков. На 31 марта 2008 г. системой принято и законсервировано около 9 700 л урины и 2 900 кг плотных отходов.

Отличные показатели и успешная эксплуатация АСУ на МКС обусловили решение НАСА заказать РКК «Энергия» туалетную кабину с оборудованием АСУ – систему АСУиК для американского сегмента.

Для обеспечения совместной работы с доставляемыми на станцию американскими системами жизнеобеспечения: системой регенерации питьевой воды – питьевым процессором и системой регенерации воды из урины – уриновым процессором – были разработаны дополнительные интерфейсные блоки, вошедшие в состав системы АСУиК, и решен ряд технических вопросов взаимодействия российского АСУ с оборудованием американского сегмента, а также соответствия АСУиК нормативным требованиям американского сегмента.

С использованием автоматизированной системы проектирования и трехмерного моделирования в кратчайшие сроки были разработаны компоновка оборудования АСУ в штатной американской стойке и туалетная кабина. Система АСУиК изготовлена, смонтирована и передана на испытания (в «Боинг» – НАСА). Проверочные наземные испытания системы прошли успешно.

В докладе рассмотрены результаты разработки и испытаний системы, особенности ее устройства и работы и направления дальнейшего усовершенствования систем данного типа.

К ВОПРОСУ О КАЧЕСТВЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОБИТАЕМЫХ ГЕРМООБЪЕКТОВ

Аргунова А.М., Оделевский В.К.*, Строгонова Л.Б.*

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Московский авиационный институт (ГТУ), Москва, Россия

Искусственно созданные условия среды обитания пилотируемого космического объекта относятся к экстремальным факторам космического полета (КП). Среда обитания, обеспечивающая экологически эффективные и физиологически благоприятные условия для длительного пребывания людей, позволит снизить экстремальный характер воздействующих на человека факторов КП и тем самым снизить до минимума потенциальную угрозу его здоровью, что имеет особое значение для пилотируемого полета на Марс в силу его длительности и автономности.

Исходя из теорий адаптации и эволюции человека, воздушная среда, которую необходимо создавать и поддерживать, должна иметь сходные свойства с чистым природным воздухом тех мест, климат которых считается здоровым.

Достижение указанных свойств у искусственно созданной среды позволит говорить о создании «качественной среды обитания» для человека в условиях длительного КП.

Известно, что одним из основных биопозитивных факторов микроклимата естественных подземных полостей и некоторых искусственно пройденных горных соляных выработок является отсутствие аллергенов и патогенных микроорганизмов, и, что особенно важно, высокая объемная концентрация легких отрицательных аэроионов.

В результате исследований, проведенных в Московском авиационном институте, было разработано устройство для обеззараживания воздуха «Галоингалятор» (модель ИГК-02), с фильтром из солей Верхнекамского месторождения, позволяющее создавать в замкнутых помещениях воздушную среду, насыщенную аэрозолями и аэроионами, эквивалентную атмосфере соляных пещер. Проведенные наземные лабораторные, клинические и модельные исследования показали, что воздушная смесь, создаваемая устройством, оказывает бактерицидное и бактериостатическое воздействие на отдельные виды бактерий и грибов, а слой минерального природного наполнителя при прохождении воздуха через него адсорбирует вредные примеси, содержащиеся в воздухе. Назначение регулярных ингаляций обработанной устройством воздушной среды людям, длительно находящимся в условиях замкнутого пространства и дышащим регенерируемым воздухом, положительно сказывается на их работоспособности, препятствует ослаблению иммунитета и развитию хронических заболеваний.

В экстремальных условиях КП использование прибора «Галоингалятор», введенного в воздушный контур системы обеспечения жизнедеятельности, позволит гармонизировать параметры качества воздушной среды и улучшить качество жизни космонавта, что приведет к повышению уровня безопасности длительного пилотируемого КП.

ГИПОТЕЗА О ПРИРОДЕ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО СРЕДЫ ОБИТАНИЯ КОСМОНАВТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Артамонов А.А., Цетлин В.В., Носовский А.М.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

На основе анализа спектров распределения плотности потока солнечного ветра за пределами магнитосферы Земли было обнаружено его отличие от ожидаемого нормального распределения. С.Э.Шноль и соавт. отмечали, что такими же свойствами обладают распределения характеристик многих макросистем. Эта особенность получила название «макроскопические флуктуации». Предполагается, что таким разбросом свойств могут обладать параметры систем жизнеобеспечения и среды обитания.

Для оценки свойств распределения скорости протекания различных процессов макросистем предложена математическая модель процессов, в которой солнечный ветер является индикатором макроскопических флуктуаций солнечной активности. Одной из возможностей реализации конкретных форм дискретных распределений в качестве универсального агента может быть выбрано изменение размера единицы времени, которое (согласно С.Э.Шнолю) может быть следствием гравитационных возмущений – изменение кривизны пространства–времени. Повидимому, это связано с тем что плотность солнечного ветра и галактического излучения сопоставима с критической плотностью Вселенной. Вариации этой плотности указывают на изменение в пространстве–времени.

По мере того как увеличивалась глубина наблюдаемой в телескоп Вселенной, приблизительная плотность уменьшалась. Согласно де Вокулеру, уменьшение всегда было пропорционально R^{D-3} (D – фрактальная размерность). Наблюдаемый показатель D много меньше 3 – и в наилучшем приближении $D = 1,23$. Согласно данным, полученным Уэббимком, массу Млечного пути внутри сферы радиуса R вполне можно представить в виде $M(R) \sim R^D$. Однако эффективная фрактальная размерность не обязательно должна иметь одно-единственное значение, а может флуктуировать между верхним и нижним пределами. На основе анализа временных и пространственных характеристик определены эти пределы.

УРЕАЗНЫЙ ДЫХАТЕЛЬНЫЙ ТЕСТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЛИЧИЯ HELICOBACTER PYLORI В ЖЕЛУДКЕ КАК АСПЕКТ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ

Афонин Б.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Хеликобактер пилори (*Helicobacter pylori*, Hp) является этиологическим фактором основных хронических заболеваний желудка и 12-перстной кишки. Скрининговые обследования населения показывают, что Hp инфицировано до 70 % населения. Высокий процент инфицированных в семьях больных язвенной болезнью

желудка служит доказательством его передачи от человека к человеку. Специфика обитания в космических кораблях и орбитальных станциях подобна семейной, и скрытое бактерионосительство предполагает возможность аналогичного инфицирования. Благоприятными условиями для колонизации Нр слизистой желудка является «закисление» желудка, снижение его нейтрализующей способности и эвакуаторной активности, наличие рефлюксов. Именно такие изменения функциональной активности желудка возникают в невесомости.

В условиях, предполагающих возможность передачи Нр от человека к человеку, наиболее эффективной мерой защиты, по-видимому, может являться заблаговременное (на этапе отбора и подготовки экипажей) выявление бактерионосителей с последующей эрадикацией микроорганизма. Маастрихтским соглашением по эрадикации–санации Нр рекомендовано использовать для тестирования инфицированных Нр уреазный метод с ^{13}C -мочевинной – ^{13}C -уреазный дыхательный тест (^{13}C -УДТ). В ГНЦ РФ – ИМБП РАН разработаны методика ^{13}C -УДТ и «Научно-методические рекомендации по определению Нр в желудке с использованием ^{13}C -уреазного дыхательного теста для медико-санитарного обеспечения космических полетов».

Анализ проведенных скрининговых исследований показал, что доля выявления Нр у членов экипажей, готовящихся к участию в орбитальных экспедициях, меньше, чем при обследовании населения. При обнаружении Нр в желудке у 50 % определялась низкая, у 38 % – средняя и только у 12 % – высокая уреазная активность. Исследования после эрадикации микроорганизма показали, что фармакологическая санация при использовании стандартных схем терапии органов пищеварения была успешной в 90 % случаях. Только в 10 % случаев пришлось проводить повторную эрадикацию.

Таким образом, использование ^{13}C -уреазного дыхательного теста для медико-санитарного обеспечения космических полетов позволяет выявлять Нр и подтверждать проведение его успешной эрадикации в период подготовки экипажей.

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР И БИМЕДИЦИНСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ПИЛОТИРУЕМОЙ ЭКСПЕДИЦИИ НА МАРС

Баранов В.М., Нечаев А.П., Холин С.Ф., Демин Е.П.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Реализация крупного космического проекта обычно связана с научно-техническим «рывком» в развитии технологий, материаловедения, приборостроения, информатики, биологии и медицины, что в опережающем порядке внедряется в науку, технику, народное хозяйство. Пилотируемый космос определяет получение новых данных об адаптации организма человека к неблагоприятным факторам среды обитания, которые реализуются в клинической медицине и физиологии, фармакологии, гигиене труда, эргономике, санитарии, медицинской информатике, системах жизнеобеспечения (СЖО).

Современный уровень развития науки, техники и технологий, а также прогноз на ближайшую перспективу определяют конкретность и своевременность постановки вопроса о начале подготовки пилотируемой миссии на Марс.

Важным элементом подготовки, отработки СЖО, системы медицинского обеспечения (СМО) являются модельные наземные эксперименты различной продолжительности в макете марсианского космического комплекса, включая полномасштабный 520-суточный эксперимент с моделированием всех этапов миссии.

Для эффективной реализации экспериментов, получения максимального объема данных требуется точное определение целей и задач, прогноз на основе анализа медицинских рисков, разработка методологии и альтернативных путей проведения экспериментов.

Важным элементом разработки и реализации пассивных и активных методов коррекции, профилактики и оптимизации психофизиологического состояния и достижения эффективности и надежности человеческого фактора являются оптимальное, совершенное аппаратно-информационное и программно-математическое обеспечение исследований, интеграция всех элементов в единый психофизиологический комплекс, распределенный функционально на специализированные аппаратно-программные биомедицинские стойки, обладающий объединенной базой данных, системой ее управления, медицинскими экспертными системами, аналитико-информационной системой и телемедицинскими средствами.

В докладе будут рассмотрены основы методологии модельных экспериментов, требования к СМО реальной миссии, этапы и принципы ее наземной отработки в наземном медико-техническом комплексе, основные принципы и задачи создания и реализации единой системы аппаратного, информационного и программно-математического обеспечения СМО, комплексных биомедицинских исследований и реализации перспективных элементов СЖО.

ОПЫТ МЕДИЦИНСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОРБИТАЛЬНОМ ПОЛЕТЕ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ МЕДИЦИНСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДОБНЫХ ОПЕРАЦИЙ В ДАЛЬНОМ КОСМОСЕ

Барер А.С., Гноевая Н.К., Богомолов В.В.*, Осипов Ю.Ю.*, Катунцев В.П.*, Катаев Ю.В.**

ОАО «НПП «Звезда», г. Томилино, Россия

*ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

**Федеральное медико-биологическое агентство, Москва, Россия

1. Многолетний опыт (с 1965 г.) медицинского сопровождения внекорабельной деятельности (ВКД, 240 человеко-выходов) и анализ имевших место осложнений дают основание для возможности сохранения безопасности человека при использовании автомониторинга и «медицинского самообеспечения» в аналогичных условиях дальнего космоса (ДК).

1.1. Практическая реализация положения по п. 1 потребует предварительного обучения и тренировки экипажа и программирования ЭВМ корабля и скафандра для помощи космонавту в диагностике своего состояния и дополнительной поддержке действий для решения возникшей медицинской проблемы.

2. В условиях ДК возрастает роль оценки состояния экипажа на этапе подготовки ВКД. Оценка должна быть нацелена на прогнозирование возможных осложнений и выработку рекомендаций по их купированию, с доминирующей целью выполнения намеченных работ без негативных последствий для здоровья.

2.1. В основе стратегии обеспечения медицинской безопасности космонавта непосредственно в процессе ВКД в ДК должны доминировать опережающие действия по профилактике возникновения угроз и сохранению работоспособности экипажа.

2.2. В период подготовки ВКД, непосредственно в процессе ВКД и в ближайшем последствии ЦУП должен быть готов предоставлять экипажу высококвалифицированную медицинскую консультацию с рекомендациями, учитывающими фактор реального запаздывания в прохождении радиосигнала.

3. Наиболее подготовленным для программной проработки по п. 1.1 является круг вопросов, связанных с взаимодействием организма человека и СЖО скафандра. Более того, анализ параметров СЖО способен расширить мониторинг организма человека в оценке текущих характеристик динамики метаболизма и теплового баланса.

4. Медико-технические требования (МТТ) к скафандру ВКД для ДК должны содержать позиции, предусматривающие возможность «медицинского самообеспечения» в ограниченном объеме, без снятия скафандра.

5. В МТТ по планетарным скафандрам и с учетом отечественных исследований 1960-х годов по лунной программе необходимо учесть специфику позы человека и характера его двигательной активности, обусловленную отличной от земной силой тяжести. МТТ должны содержать ограничения по допустимому весу скафандра, передающемуся непосредственно на тело человека.

6. В числе разнообразных лечебно-профилактических средств бортового оборудования целесообразно предусмотреть портативную установку гипербарической оксигенации с избыточным давлением не менее двух атмосфер. Применительно к ВКД такая установка может быть использована для лечения ВДБ.

КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СЖО ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ

Барцев С.И., Межевикин В.В., Охонин В.А.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Подготовка долговременных космических экспедиций включает разработку систем жизнеобеспечения (СЖО) с определенными характеристиками. Поскольку СЖО может включать различные виды организмов и физико-химические компоненты, огромное разнообразие вариантов возможных конфигураций СЖО порождает сложность сравнения и выбора наилучшего варианта. Рассмотрение только

оптимальных, по выбранным критериям, конфигураций позволяет существенно снизить остроту этой проблемы.

Для вычисления оптимальной конфигурации СЖО была построена математическая модель, задающая минимальное описание компонентов, достаточное для корректного определения критерия оптимальности. Разработана программа, позволяющая находить оптимальные конфигурации космических СЖО, включающих различные наборы биологических и физико-химических систем регенерации, с учетом их массовых и энергетических характеристик.

Получены конфигурации оптимальных по суммарной массе СЖО различного базового типа (физико-химические, биологические и гибридные) для полета к Марсу. Показано, что различие масс СЖО базовых типов незначительно, что приводит к необходимости использовать более полный критерий выбора СЖО для полета.

Естественным интегральным критерием такого рода является безопасность экипажа. Для определения конфигурации наиболее безопасных ЗЭС в работе предложен критерий «интегральной надежности». Надежность космической миссии может быть количественно измерена вероятностью катастрофы, которую вследствие малости слагаемых можно представить в виде суммы: 1) вероятности отказа самой СЖО; 2) вероятности катастрофы из-за фатальной ошибки экипажа; 3) вероятности катастрофы из-за сбоя технических систем космического корабля.

Показано, что использование высших растений позволяет понизить общую вероятность катастрофы. При этом не только параметры собственно СЖО являются существенными для успеха миссии и должны оптимизироваться, но и некоторые параметры сценария также подлежат оптимизации. Расчеты конфигураций СЖО в соответствии с критерием интегральной надежности показывают, что на ближайшее десятилетие уровень замкнутости, достигнутый в установке «Биос-3», представляется достаточным для космических программ.

ПРИМЕНЕНИЕ ОРАНЖЕРЕЙ С ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИМИ РАСТЕНИЯМИ ДЛЯ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ АВТОНОМНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ

Беркович Ю.А.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Анализ энергетических характеристик, например в терминах «эквивалентной массы», показал, что биолого-технические системы жизнеобеспечения (БТСЖО) существенно уступают известным физико-химическим СЖО, например действующим на Международной космической станции. По существующим оценкам «эквивалентная масса» БТСЖО, производящей 50 % пищи для экипажа марсианского пилотируемого корабля, в 5–10 раз выше, чем у физико-химической СЖО с запасами пищи. Увеличение доли воспроизводимой на борту пищи приводит лишь к возрастанию соотношения эквивалентных масс СЖО. Однако критерий эквивалентной массы не учитывает улучшения качества среды обитания в БТСЖО, по-

вышающего надежность выполнения космической миссии в целом. При пилотируемых полетах к Марсу и на планетных базах с помощью культивирования растений в оранжереях малой мощности можно улучшать среду обитания экипажа за счет обогащения рациона свежей зеленью с хорошо усвояемыми витаминами и минералами, одновременно оказывая членам экипажа эмоционально-психологическую поддержку при общении с элементом земной биосферы и снижая проблемы избытка свободного времени в ограниченном пространстве. Получение новой информации биологического и технологического характера в процессе эксплуатации таких оранжерей важно для дальнейшего совершенствования экономичности и надежности конструкций и агротехники в космических вегетационных устройствах следующих поколений.

В ГНЦ – ИМБП РАН созданы прототипы высокоэффективной конвейерной оранжереи с цилиндрической посадочной поверхностью с потребляемой мощностью 0,25 кВт (фитоконвейер) и 0,5 кВт (фитоцикл СД). На этом же принципе разработана концепция 4-модульной конвейерной оранжереи, с энергопотреблением около 10 кВт и объемом около 3 м³, которая могла бы обеспечить экипаж марсианского транспортного корабля из 6 человек основными витаминами и минеральными солями.

РАБОТА СИСТЕМЫ ПРИЕМА И КОНСЕРВАЦИИ УРИНЫ СПК-УМ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

**Бобе Л.С., Солоухин В.А., Рыхлов Н.В., Боровикова Г.С., Коледов Н.А.*,
Протасов Н.Н.*, Пеева Л.В.*, Карасева Г.А.***

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

*РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

Система приема и консервации урины СПК-УМ работает на Международной космической станции (МКС) со 2 ноября 2000 г. (с начала пилотируемого полета). Система обеспечивает прием урины от космонавтов, ее транспортирование в виде газожидкостной смеси, фильтрование от механических примесей, сепарацию жидкости в центробежном разделителе, консервацию урины с целью предотвращения бактериального и химического разложения, сбор и длительное хранение консервированной урины. В аппаратуре системы в условиях невесомости реализуются с минимальными затратами энергии процессы фильтрования, сепарации, консервации, транспортировки и хранения жидкости.

Среднесуточное энергопотребление системы при экипаже из 3 человек составляет 5 Вт, удельное энергопотребление составляет 30 Вт · ч на 1 л принимаемой урины. Длительная работа системы обеспечивается за счет замены выработавших ресурс блоков. Удельные затраты массы при замене оборудования составляют 0,07 кг на 1 л принимаемой урины. На 31 марта 2008 г. системой принято и консервировано около 9 700 л урины.

Эксплуатация системы СПК-УМ на МКС позволила получить данные для совершенствования аппаратуры и разработки аналогичной системы для межпланетных полетов.

В докладе рассмотрены результаты работы системы на МКС и направления по дальнейшему усовершенствованию системы.

Главной задачей в настоящее время является разработка и использование на станции системы регенерации воды из собираемой урины. При существовании этой системы за рассматриваемый период работы МКС можно было получить дополнительно более 8500 л регенерированной воды и соответственно в четыре раза снизить массу доставок воды на станцию.

РАБОТА СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДЫ ИЗ КОНДЕНСАТА АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ СРВ-К2М НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Бобе Л.С., Солоухин В.А., Боровикова Г.С., Астафьев В.Б.,
Андрейчук П.О.*, Протасов Н.Н.*, Запрягайло Е.Д.*, Синяк Ю.Е.**,
Раков Д.В.****

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

*РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

**ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Система СРВ-К2М работает на Международной космической станции (МКС) со 2 ноября 2000 г. (с начала пилотируемого полета). Система обеспечивает прием конденсата атмосферной влаги в виде газожидкостной смеси, транспортируемой из системы кондиционирования воздуха станции, фильтрование от механических примесей и каталитическое окисление органических веществ в двухфазном потоке, сепарацию жидкости в статическом сепараторе за счет капиллярных сил, сорбционно-каталитическую и ионообменную очистку жидкости от органических и неорганических примесей, насыщение очищенной воды пищевыми солями, микроэлементами и ионным серебром, термическое обеззараживание полученной питьевой воды и дозированную выдачу ее экипажу.

В аппаратуре системы в условиях невесомости реализуются с минимальными затратами энергии процессы фильтрования, катализа, сепарации, сорбции, пастеризации, транспортировки и хранения жидкости.

Среднесуточное энергопотребление системы при экипаже из 3 человек составляет 30 Вт, удельное энергопотребление – 2 Вт · ч на 1 л регенерированной воды. Длительная работа системы обеспечивается за счет замены выработавших ресурс блоков. Удельные затраты массы при замене оборудования составляют 0,08 кг на 1 л регенерированной воды, что в 15 раз меньше затрат на доставку воды, которые составляют 1,3 кг на 1 л регенерированной воды.

На 31 марта 2008 г. в системе регенерировано и получено около 10 000 л питьевой воды, что составляет 45 % от общего расхода воды на станции. Обеспечена экономия доставки с Земли 13 000 кг грузов. Качество воды полностью соответствует нормативам на питьевую воду.

Эксплуатация системы СРВ-К2М на МКС позволила получить данные для совершенствования аппаратуры и разработки аналогичной системы для межпланетных полетов.

В докладе рассмотрены результаты работы системы на МКС и направления по дальнейшему усовершенствованию системы.

МИКРОКЛИМАТ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Богатова Р.И., Агуреев А.Н., Кутина И.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В полете на борту ПКА могут возникать нештатные ситуации в работе систем жизнеобеспечения (СЖО), при которых климатические условия среды обитания выходят за пределы нормируемых величин. Исходя из основной задачи СЖО пилотируемых космических полетов – обеспечения комфортных условий для профессиональной деятельности экипажа, – оценка микроклимата как базовой основы для прогнозирования состояния здоровья и работоспособности человека является актуальной гигиенической задачей. Температурно-влажностный комфорт в отсеках ПКА зависит от эффективности работы СЖО, в частности, системы терморегулирования (СТР), и теплоизоляции ограждающих конструкций. Проведенный сравнительный анализ микроклиматических условий на ОС «Мир» позволил выявить три периода в работе системы терморегулирования:

– на протяжении первого периода (с 1-й по 6-ю основные экспедиции) работа СЖО в основном позволяла поддерживать гигиенические параметры микроклимата в пределах нормируемых величин;

– начиная с 7-й основной экспедиции члены экипажей периодически отмечали повышение температуры в районе расположения тренажеров для выполнения физических тренировок, а также в каютах. Температурно-влажностный режим в районе расположения спортивных тренажеров оценивался экипажами как «жаркий», «тропический»;

– в период работы на орбитальном комплексе 23-й основной экспедиции в связи с нештатной работой СТР и необходимостью проведения ремонтно-восстановительных работ возникли наиболее серьезные проблемы с температурно-влажностным режимом.

За время эксплуатации Международной космической станции (16 основных экспедиций) члены экипажей редко отмечали дискомфортное состояние, связанное с изменением температурно-влажностного режима. Этому, возможно, способствовало своевременное осуществление замены отработанных элементов систем жизнеобеспечения.

В перспективе для поддержания на постоянном уровне комфортного состояния среды обитания и своевременного осуществления мероприятий по ее стабилизации на ПКА с целью сохранения высокой работоспособности членов экипажей при длительных космических полетах необходимо усовершенствовать приборное и методическое обеспечение системы контроля комплексных показателей микроклимата, позволяющих моделировать теплообмен человека при различных комбинациях температуры, скорости движения газовой среды и теплового излучения.

ИЗУЧЕНИЕ ПОРОГОВОЙ КОНТРАСТНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОРГАНА ЗРЕНИЯ И ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЦВЕТОВОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ (ПЧХ)

**Богатова Р.И., Агуреев А.Н., Кутина И.В., Сальницкий В.П., Беляев Р.И.*,
Гвоздев С.М.*, Ливенцова А.А.*, Садовникова Н.Д.***

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*ООО «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский светотехнический институт», г. Балашиха, Россия

Искусственная световая среда является одним из наиболее значимых компонентов среды обитания гермозамкнутых помещений. При длительном пребывании человека в гермозамкнутом пространстве очень важно, чтобы светоцветовая среда была оптимальной для функционирования зрительного анализатора как по уровням освещенности общего и локального освещения, так и по своим спектральным характеристикам. Наиболее адекватным для работы зрительного анализатора является максимальное приближение искусственной световой среды по своему спектральному составу к дневному свету.

В общем виде можно сформулировать принципы формирования световой среды замкнутых объектов длительного пребывания человека, при реализации которых, с одной стороны, продуктивность различных видов зрительной работы будет достаточной, а с другой – зрительное утомление будет возможно минимальным.

Многочисленными экспериментами было подтверждено, что светотехнические параметры среды обитания оказывают серьезное влияние на состояние психоэмоциональной сферы, определяют скорость нарастания утомления и влияют на уровень работоспособности. Целью проведенных экспериментальных испытаний явилась оценка состояния физиологических и психологических функций операторов в условиях воздействия искусственной световой среды с изучением пороговой цветовой контрастной чувствительности, характеризующей пространственно-частотной характеристикой органа зрения.

Предварительная обработка материала показала, что изучение цветовой пространственно-частотной характеристики органа зрения на трех цветах (синий, зеленый, красный) с двумя типами светильников с параллельной фиксацией психофизиологического состояния операторов и их работоспособности показало, что величина контрастной чувствительности органа зрения и регистрируемые физиологические параметры зависят от пространственной частоты и предъявляемого цвета, т.е. от ПЧХ органа зрения, которая может быть использована как индикатор психофизиологического состояния человека.

Экспериментальные исследования влияния цветовой ПЧХ ОЗ показали также взаимосвязь психофизиологического состояния и работоспособности оператора.

При проведении тестирования задавались яркость объекта и фона, пространственная частота и цветность. Статистические исследования с несколькими операторами пороговой яркости обнаружения объекта с синусоидальным распределением яркости позволили рассчитать контрастную чувствительность.

ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ДЛИТЕЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ПОЛЕТАМ

Богдашевский Р.Б., Ярополов В.И., Крючков Б.И.

Российский государственный научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Россия

В целях подготовки к утверждению того или иного космонавта, проходящего подготовку к полету, в состав экипажа, а также формирования рекомендаций ЦУП по взаимодействию с ним в процессе полета осуществляется профессионально-психологический прогноз деятельности космонавтов в предстоящем космическом полете (КП).

При этом дается оценка профессионально значимых качеств каждого космонавта по следующим направлениям: профессиональная подготовка и опыт полетов, личностные качества, обучаемость, поведение в экипаже, деятельность в штатных режимах полета, действия в нештатных ситуациях, принятие решений, взаимодействие с ЦУП, ведение связи, языковая подготовка.

Оценка перечисленных выше профессионально значимых качеств по всем указанным направлениям производится специально созданной группой экспертов, включающей в свой состав космонавтов, имеющих опыт выполнения КП, высокопрофессиональных психологов, инструкторов по подготовке космонавтов, ученых, сотрудников медицинского профиля. Каждый член группы по результатам подготовки космонавтов дает индивидуальную экспертную оценку профессионально значимых качеств космонавтов, входящих в состав основного и дублирующего экипажей. По результатам такой оценки осуществляется профессионально-психологический прогноз деятельности каждого космонавта, который формируется как целостный документ на общем заседании группы экспертов и оформляется соответствующим заключением, направляемым в ЦУП перед полетом экипажа. В докладе представлена методика формирования экспертных оценок и результирующего заключения.

ДИНАМИКА АКУСТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ПЕРИОД РАБОТЫ ЭКИПАЖЕЙ НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Богомолов В.В., Богатова Р.И., Кутина И.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Контроль акустической обстановки в жилых помещениях Российского сегмента (РС) МКС осуществляется с 1-й экспедиции до настоящего времени. Результаты исследований среды обитания как на ОС «Мир» в течение 15 лет ее эксплуатации, так и на МКС свидетельствуют о том, что физические факторы среды (в том числе и шумовая обстановка) во многом зависят от работоспособности и состояния различных элементов систем жизнеобеспечения (СЖО).

Как показал опыт санитарно-гигиенического обеспечения космических полетов (КП), из нормируемых физических факторов среды обитания ПКА наиболее зна-

чимым с точки зрения вредного влияния на организм космонавтов является шум, который создается при постоянной работе отдельных агрегатов СОЖ, системой вентиляции, экспериментальным оборудованием, переговорными устройствами и аварийной сигнализацией.

Клинические проявления при действии шума могут быть подразделены на специфические, возникающие в периферическом отделе органа слуха (Кортиевом органе), и неспецифические, возникающие в различных органах и системах организма. Из неспецифических реакций особенно выделяются нарушения функций вегетативного отдела центральной нервной и сердечно-сосудистой системы.

Исследования акустической обстановки на борту МКС выполнялись по общему уровню (L_a , дБА) и уровням звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 63–8000 Гц в 11 контрольных точках вдоль продольной оси СМ с частотой измерений 1–2 раза за экспедицию.

Анализ проведенных измерений в период работы первых основных экспедиций МКС выявил значительное превышение уровней звука в каютах и вдоль геометрической оси по всему служебному модулю выше нормативных значений.

В ходе всех экспедиций проводились противозумовые мероприятия для снижения шума в его источнике (СОЖ) и по пути его распространения.

В период полета МКС-13 и МКС-14 выполнены работы по установке средств снижения шума, в результате чего удалось значительно уменьшить уровень шума в каютах. Кроме того, отмечено снижение уровня шума на основных рабочих местах вблизи расположения основных источников шума (СОА «Воздух», СКВ и др.).

Выявленная закономерность может оказывать влияние на взаимодействие экипажей в период полетов, снижая разборчивость речи, а также формировать у них утомление слухового анализатора, которое может проявляться как в повышении порогов слуха и общего утомления, так и снижении работоспособности. Кумуляция акустического воздействия слуховым анализатором и организмом в целом может вызывать стойкие нарушения со стороны различных систем организма.

Внедрение комплекса мероприятий по снижению шумового воздействия на космонавтов, в том числе разработка и использование наиболее перспективных средств защиты органов слуха и, как правило, выход за пределы нормативов по среде обитания связаны с выработкой ресурса или нарушениями в работе тех или иных систем и агрегатов СЖО.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТИВНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СОВЕРШЕНСТВА СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Брагин Л.Х., Воронков Ю.И., Гончарова А.Г.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Проведено исследование формирования функциональных резервов кардиореспираторной системы, показателей газового состава крови и их динамики в за-

висимости от содержания углекислого газа и микропримесей (аммиак, ацетальдегид) в воздухе гермообъектов при пребывании в этих условиях от 8 до 40 сут. Участники – практически здоровые мужчины-добровольцы в возрасте 25–45 лет.

Изучение трахеобронхиальной проходимости показало, что до начала пребывания в гермообъекте выявленные значения ФЖЕЛ превышали среднеевропейские возрастные нормы на 4–10 %. На фоне регистрации повышения концентрации углекислого газа и микропримесей (аммиак, ацетальдегид) в воздухе гермообъектов в рамках ПДК изменялась характеристика пневмограммы, уменьшалась проходимость различных отделов трахеобронхиального дерева. Динамика МОД и ДО составила 9,4 и 8,6 %, ЖЕЛ, в среднем, – 0,5 %.

При исследовании кислотно-основного состояния и газов крови у обследуемых было установлено, что все показатели газового и кислотно-основного состава крови обследуемых соответствовали нормальным значениям, за исключением сниженного pO_2 . При этом парциальное напряжение углекислого газа в капиллярах крови приближалось к верхней границе нормы. Отмечена тенденция к снижению уровня буферных оснований, что указывает на тенденцию развития газового компенсированного ацидоза.

Проведенные исследования подтвердили, что исследование функциональных резервов кардиореспираторной системы является объективным показателем совершенства СЖО. Выявленные сниженные резервные возможности кардиореспираторной системы неспецифичны, могут рассматриваться как адаптивные, однако могут быть и предпосылкой к развитию заболеваний.

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «РАДИОСКАФ»: ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСА НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ «РАЗРЕЗ»

Брильков И., Бенгин В., Григорян О., Шуршаков В.*, Dachev T.,
Burmeister S.*****

НИИ ядерной физики МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

*ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

**Bulgarian Academy of Sciences Solar-Terrestrial Influences Laboratory Acad. Sofia, Bulgaria

***Institut für experimentelle und angewandte Physik Extraterrestrische Physik Dosimetrie in Luft- und Raumfahrt, Kill, Germany

В 2009 г. планируется начать эксперимент с комплексом научной аппаратуры «Разрез», которую намечено установить в отработавший свой срок космический скафандр типа «Орлан-М». Скафандр «Орлан-М» будет удален с борта МКС и в процессе автономного снижения с орбиты будет передавать данные измерений. Работа с комплексом научной аппаратуры «Разрез» будет проводиться в рамках эксперимента «Радиоскаф», который является международным научно-образовательным проектом. Ожидается, что скафандр будет постепенно (в течение нескольких месяцев) снижаться с орбиты МКС (~370 км) до плотных слоев атмосферы. Такая снижающаяся траектория позволит получить экспериментальные данные по радиационным условиям в достаточно слабо изученной области высот (200–400 км).

Для определения доз радиации, получаемых космонавтами при работе в открытом космосе, в скафандре, который в общем-то и не предназначен для защиты от проникающей радиации, будут размещены в различных точках под различной защитой дозиметры (DOSTEL и Liulin). Такая дозиметрическая система позволяет регистрировать поглощенную дозу в диапазоне от 0,093 до 1,56 nGy и спектры ЛПЭ в диапазоне от 0,27 до ~200 кэВ/мкм.

Детектирующие устройства располагаются в различных точках скафандра, что позволит оценить распределение уровней радиации внутри скафандра. Детекторы располагаются в ноге скафандра, в области пояса и головы, т.е. в тех местах человеческого тела, где расположены наиболее чувствительные к радиации ткани и органы, такие как костный мозг, селезенка, эпителий кожи и кишечника, центральная нервная система. С целью имитации окружающих эти органы тканей детекторы дозиметров помещаются в различной толщины оболочки, изготовленные из полиэтилена высокого давления, который, как принято, является наилучшим имитатором живых тканей. Толщина и форма такой оболочки индивидуальны для каждого органа и рассчитываются по методике, аналогичной использованной в эксперименте «Матрешка».

СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ: ОТ СТАНЦИИ «МИР» К «МКС»

Варавва В.И., Дедков Д.К., Скрипников А.В.

Российский государственный научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Россия

Наиболее полное развитие системы жизнеобеспечения (СЖО) получили на ОПС «Мир» и Международной космической станции. Пятнадцать лет функционирования ОПС «Мир» и почти восемь лет полета МКС позволяют провести сравнительный анализ СЖО как с точки зрения их прогресса, так и определенного регресса.

Зарождение МКС происходило в условиях развала СССР, кризиса военно-промышленного комплекса, связанного с космонавтикой, в условиях финансовых и кадровых проблем и потери приоритетных позиций в космической области.

В докладе последовательно рассмотрены средства обеспечения газового состава, средства водообеспечения, санитарно-гигиенического обеспечения, питания и средства пожарообнаружения и пожаротушения.

Анализ данных показал, что СЖО совершенствуются и развиваются. Производительность систем «Воздух» и «Электрон» увеличена в 1,5–2 раза, управление ряда систем переведено на управление от бортовой вычислительной системы, полностью доведена система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги, введена в действие принципиально новая система пожарообнаружения. В то же время на фоне общего развития СЖО наблюдается очевидный «провал» в развитии средств санитарно-гигиенического обеспечения, временное снижение качества изготовления комплектующих узлов и вынужденный отказ от ряда автоматических процедур в системе кислородообеспечения. Также имеются проблемы

с хранением свежих и быстрозамороженных продуктов питания космонавтов. Не введена в строй система переработки углекислого газа — реактор Сабатье, разработанный и испытанный в НИИхиммаш более пятнадцати лет назад, и др.

В докладе рассмотрены объективные и субъективные причины такого положения вещей. На сегодняшний день, к сожалению, можно констатировать, что отечественная пилотируемая космонавтика в плане СЖО базируется на разработках тридцатилетней давности, и если в перспективных планах стоит полет на Марс, то доработка уже имеющихся систем и создание новых, способных обеспечить практически замкнутый цикл жизнеобеспечения, является делом чести научно-производственного космического комплекса.

ПРОДУКЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОНВЕЙЕРА ОВОЩНЫХ РАСТЕНИЙ, ВЫРАЩЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ CO₂

Величко В.В., Тихомиров А.А., Ушакова С.А.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Современные концепции обеспечения жизнедеятельности человека на стационарных космических станциях предусматривают разработку биорегенеративных систем жизнеобеспечения (БСЖО), основанных на круговороте веществ, где в качестве ключевых компонентов будут использоваться высшие растения. При этом фотосинтезирующее звено системы предполагается формировать в виде разновозрастных многовидовых ценозов. Многолетний опыт экспериментов в биорегенеративной системе «Биос-3», а также в других СЖО показал, что из-за различных особенностей реализации в них технологических процессов часто возникают ситуации, при которых содержание CO₂ в атмосфере системы может увеличиться до 1 % и сохраняться на этом уровне в течение длительного времени. Поэтому целью наших исследований является изучение ответных реакций конвейера разновозрастных овощных растений, возможных представителей фотосинтезирующего звена БСЖО, на их выращивание в течение всего вегетационного периода при повышенных концентрациях CO₂. В качестве объектов исследования были выбраны овощные растения редиса (*Raphanus sativus* L.), капусты кольраби (*Brassica caulorapa* L.), моркови (*Daucus carota* L.) и свеклы (*Beta vulgaris* L.), которые были выращены методом гидропоники на керамзите в режиме разновозрастного конвейера при непрерывном освещении. В соответствии с целью работы использовали два диапазона концентраций углекислого газа – 0,15–0,3 % и 0,7–0,9 %. Исследование динамики CO₂-газообмена и продуктивности многовидового разновозрастного овощного конвейера при различных концентрациях CO₂ показало, что выращивание растений при концентрации CO₂ в атмосфере 0,7–0,9 % приводило к увеличению интенсивности CO₂-газообмена растений на начальных этапах их роста. Это выражалось в усилении интенсивности фотосинтеза и подавлении дыхательной активности растений. Однако по мере дальнейшего роста растений интенсивности фотосинтеза и дыхания при разных концентрациях CO₂ постепенно выравнивались.

К концу вегетации интенсивность фотосинтеза и дыхания растений, выращенных при более высокой концентрации CO_2 , была ниже, чем у растений, выращенных при концентрации CO_2 – 0,15–0,3 %. В результате конечная продуктивность растений, выращенных при различной концентрации CO_2 , достоверно не отличалась. Таким образом, длительное повышенное содержание CO_2 в атмосфере не должно привести к снижению производства растительной продукции и кислорода овощным конвейером фотосинтезирующего звена БСЖО.

ПОТЕНЦИАЛ ХЕМОАВТОТРОФНОГО ЗВЕНА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СЖО

Волова Т.Г.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

На основе хемоавтотрофных водородокисляющих бактерий возможно решение основных задач жизнеобеспечения человека: регенерации атмосферы за счет утилизации в процессах хемосинтеза выдыхаемых человеком CO_2 и других газообразных продуктов обмена; утилизации жидких выделений; регенерации воды; воспроизводства полноценной по аминокислотному составу белковой части рациона. Для утилизации всего объема CO_2 , выдыхаемого человеком в сутки, объем культуры *Ralstonia eutropha* составит порядка 25 л при реально достигнутой продуктивности культуры 30 г/л·сут. Хемоавтотрофы генетически стабильны и устойчивы к воздействию ионизирующего излучения и невесомости; энергетически они на порядок эффективнее фототрофных организмов. Суммарная мощность СЖО с водородными бактериями и электролизом оценена в 1 кВт на одного человека. Сопоставление величины водообразования в системе с необходимым для электролиза количеством H_2O позволяет получить водный баланс, сходящийся до 0,3 %. При полном балансе газового и водного обменов СЖО с блоком «водородные бактерии – электролиз» можно удовлетворить за счет синтеза 720 г биомассы/сут потребности человека в белке, включая все незаменимые аминокислоты и ряд витаминов, в большинстве макроэлементов при дефиците углеводов и отдельных элементов (натрия, хлора, йодидов, фторидов). Технология культивирования водородных бактерий, в том числе с рециркуляцией среды и введением в ее состав жидких выделений человека, реализована; исследована реакция культуры на различные физико-химические стрессы, включая условия реального космического полета, и показана ее устойчивость; положительно оценена биологическая ценность биомассы в производственных экспериментах на высших животных; создано ферментационное оборудование и проработаны вопросы биоинженерии хемосинтеза на водороде, включая системы с взрывобезопасным внутренним электролизом воды. Анализ СЖО различной структуры показал, что система, содержащая блок «водородные бактерии – электролиз», предназначенный для регенерации воздуха, воды и воспроизводства 20 %-ной белковой части рациона, по функциональным, энергетическим и весовым характеристикам предпочтительнее всех иных вариантов для длительной (от года и

выше) эксплуатации в пределах Солнечной системы и за ее пределами; ее энергетический КПД может составить до 70–80 % при полном сведении газового и водного баланса и удовлетворении человека в полноценном белке. Для разработки СЖО такой структуры первоочередным является изучение пищевой ценности белка и других компонентов биомассы *Ralstonia eutropha*. Эта культура может быть источником экологически чистых полимеров, пригодных для получения нетканых материалов, одежды, предметов личной гигиены, бытовой посуды, упаковок, тары и др.

СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И МНОГОФАКТОРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Воронков Ю.И., Гончарова А.Г., Тизул А.Я.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Анализ многолетней эксплуатации пилотируемых орбитальных комплексов (ОК), включая «Мир» и МКС, показал, что это уникальные гермообъекты с режимом полной изоляции от земной атмосферы, позволяющие обеспечить не только пребывание и нормальную жизнедеятельность, но и поддерживать высокую работоспособность экипажа.

В этих условиях приоритетное значение имеет необходимость особых подходов к проведению периодического углубленного и текущего санитарного контроля основных параметров СЖО (качества воздушной среды, температуры, влажности, характеристик микробной контаминации, качества водообеспечения, уровня радиации и т.д.).

Методами газовой хроматографии и хроматомасс-спектрометрии в воздушной среде ОК количественно определены 123 химических соединения, образующих многокомпонентную воздушную среду, содержащую вещества 2, 3, 4-го классов опасности по гигиенической и токсикологической оценке.

Актуальность обеспечения химической безопасности воздушной среды в гермообъекте обуславливает создание условий, при которых совокупность вредных продуктов от постоянно действующих бортовых источников не превышает ПДКпкка, а для нештатных и аварийных ситуаций предусмотрены мероприятия, обеспечивающие продолжение безопасной эксплуатации гермообъекта.

Таким образом, наиболее перспективными направлениями исследований сегодня, на наш взгляд, являются:

- изучение динамики нарастания и снижения концентрации веществ в модуле, времени смешения и выравнивания концентраций по смежным модулям при нештатных ситуациях;
- токсико-гигиеническая оценка длительности воздействия среды на состояние здоровья (регламент длительности превышения ПДКпкка);
- медицинский контроль за состоянием здоровья;
- восстановление параметров среды, снятие ограничений по режиму работы в загрязненной среде и возобновление физических тренировок;

- оценка отдаленных последствий воздействия токсичных веществ на организм человека с учетом длительности воздействия и уровня превышения ПДКпка.

Оценка микробной контаминации показала вариабельность состава микрофлоры, а это диктует необходимость, во-первых, проведения плановых гигиенических мероприятий и антибактериальной обработки исходных продуктов регенерации воды, в том числе конденсата.

Во-вторых, требуется тщательный медицинский контроль за состоянием здоровья, учитывая особенности течения раневого процесса при микротравмах кожи и слизистых, возможность активизации условно патогенной и сапрофитной микрофлоры с симптомами дерматитов, диспепсии и др. И наконец, подтверждает необходимость обязательной санации очагов хронической инфекции, оценку иммунного статуса, характеристик микрофлоры кишечника (анализ кала на дисбактериоз, в том числе биохимический) до начала работ в условиях гермообъекта и учет возможного обострения латентных дисбиозов в период пребывания в гермообъекте.

При проектировании системы радиационной безопасности должны быть учтены как детерминированная, так и стохастическая составляющие радиационных источников, что позволяет прогнозировать радиационные условия и, следовательно, радиационные нагрузки на космонавтов; разрабатывать рекомендации по снижению доз облучения и комплекс защитных мероприятий. Обязательна оценка последствий влияния радиации на организм в разные сроки после окончания космического полета с учетом действующих нормативных Методических рекомендаций.

Таким образом, комплексное воздействие на организм человека в условиях работы в гермообъекте в космосе неразрывно связано с особенностями функционирования совокупности СЖО.

Напряжение систем поддержания гомеостаза организма в этих условиях (в первую очередь буферных систем крови) зависит от длительности, интенсивности и кратности воздействий.

Оценка результатов воздействия на организм тех или иных факторов требует экспертного знания профпатологии, токсикологии, радиационной медицины, обязывает к регистрации параметров среды, проведению динамического наблюдения за состоянием здоровья, периодическому медицинскому освидетельствованию в установленные сроки.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА ДЛЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЕТОВ

Гаврилов Л.И., Курмазенко Э.А., Томашпольский М.Ю., Кочетков А.А., Прошкин В.Ю.

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

Регенерационные системы обеспечения газового состава (РСОГС), входящие в состав интегрированной ИСЖО межпланетного корабля, предназначены для под-

держания в герметичных обитаемых отсеках необходимого химического состава атмосферы на основе преобразования продуктов метаболизма в исходные компоненты среды обитания.

В общем случае в состав РСОГС входят отдельные системы, предназначенные для генерации кислорода, очистки атмосферы от диоксида углерода и его концентрирования, очистки атмосферы от микропримесей, переработки диоксида углерода для получения дополнительного количества воды, необходимого для повышения степени замкнутости по кислороду, мониторинга параметров атмосферы.

В докладе рассмотрены основные ограничения на развитие РСОГС для различных программ космических исследований и типов летательных аппаратов и планетных баз.

Показана целесообразность использования природных ресурсов планет при создании РСОГС для планетных баз.

Рассмотрены отдельные альтернативы различных перспективных структур РСОГС и проведена оценка их эффективности по единому показателю «эквивалентная масса».

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СВЕТОВОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ВОСПРИЯТИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОПЕРАТОРА

Гвоздев С.М., Маков К.С.*, Сторожева В.А.*

ООО «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский светотехнический институт», г. Балашиха, Россия

*Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия

Искусственная светоцветовая среда гермопомещений должна обеспечивать условия для эффективного выполнения операторами различных зрительных задач. Для регулирования психофизического состояния в замкнутой световой среде и обеспечения комфортного состояния необходимо иметь возможность диагностики восприятия визуальной информации и постоянное метрологическое обеспечение – фотометрирование распределения яркости и цвета во всем пространстве замкнутых помещений.

В целях расчета и регулирования светоцветовой среды разработан диагностирующий тест, основанный на определении изменения пороговой цветовой контрастной чувствительности органа зрения. Тестирование производится для цветных тест-объектов, заданных на мониторе компьютера, а полученные данные позволяют определить изменение психофизического состояния оператора. Путем пересчета имеющихся фотометрических характеристик световой среды производится определение величин регулирования системы освещения.

Для метрологического обеспечения, контроля за распределением яркости и цветности – фотометрирования светоцветовой среды используется цифровая телевизионная камера на ПЗС-матрице. Телевизионная камера позволяет нам полу-

чать цветное изображение, которое при предварительном градуировании телевизионной камеры позволяет определить распределение яркости и цветности в замкнутой среде гермопомещений. По полученным данным можно в режиме реального времени осуществлять контроль регулирования яркости и цветности светоцветовой среды. Кроме того, возможно при использовании Фурье-анализа получаемых изображений и пороговых характеристик контрастной чувствительности определить изменение восприятия визуальной информации, что значительно упрощает анализ психофизиологического состояния оператора.

Создание систем регулирования распределения яркости и цветности в замкнутом светоцветовом пространстве позволяет перейти к новому качеству создания гермопомещений, а также перейти к регулированию зональной светоцветовой атмосферы, исходя из индивидуальных психофизиологических характеристик оператора. Метрологический контроль за светоцветовой средой, основанный на светодиодных источниках света, позволяет с высокой точностью определять и регулировать, например, циркадные суточные циклы, определяемые цветовым изменением освещения, учитывать индивидуальное восприятие с целью повышения работоспособности.

«БИОС» – ОБИТАЕМАЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ С ВНУТРЕННИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Гительзон И.И., Лисовский Г.М.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Данное сообщение посвящено описанию этапов развития экспериментального комплекса, его характеристикам, результатам, новым задачам и возможным космическим и земным назначениям.

Основой, позволившей создать устойчивую систему круговорота веществ, включающего внешний метаболизм человека, является метод параметрического управления биосинтезом в непрерывной культуре популяций одноклеточных организмов и высших растений.

Это позволило построить экспериментальный комплекс «Биос-1», в котором газообмен между человеком, обитающим в гермокабине и непрерывной культурой хлореллы поддерживал постоянство концентрации O_2 на уровне $21 \pm 1 \%$ и CO_2 на уровне $< 1 \%$. Таким образом, газообменная функция СЖО была обеспечена биологическим процессом. Непрерывный процесс, основанный на фотосинтезе, может выполнять газо- и водообменную функцию СЖО. Это «Биос-2».

Третья основная функция СЖО – регенерация пищи в обозримом будущем – выполняема лишь биологическим методом. Разработана технология непрерывного культивирования высших растений в субиригационных условиях. При оптимизации всех параметров высшие растения показали КПД фотосинтеза и биологической продуктивности, не уступающую микроводорослям. Это позволило создать систему «Биос-3», в которой растения совмещали все три функции жизнеобеспечения.

Медико-физиологический мониторинг испытателей, выполнявшийся лабораторией ИМБП при Институте физики, не обнаружил каких-либо изменений физиологического статуса в течение эксперимента и после него.

Вместе с тем эксперименты выявили пункты, по которым нужна дальнейшая работа. Это повышение скорости круговорота веществ в системе и ее приближение к полной замкнутости, совершенствование физико-химических и биологических методов деструкции, создание полного биохимического аналога животных белков и липидов, генная модификация растений для совпадения продуктов их биосинтеза с пищевыми потребностями человека, дальнейшая автоматизация технологических процессов, создание «электронного мозга» слежения и управления системой с минимизацией затрат труда обитателей на управление СЖО. Эти направления работ объединены проектом создания следующего поколения – «Биос-4». Еще до космических применений технологии, разработанные для БСЖО, могут найти важные земные применения. Это строительство экодому с частично замкнутым круговоротом веществ и каскадным использованием энергии. Такие дома радикально повысят качество жизни обитателей полярных широт, аридных зон, альпийских высот без увеличения затрат электроэнергии.

О ряде работ, ведущихся по этим направлениям, сообщается в докладах сотрудников Института биофизики.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Гительзон И.И., Сомова Л.А., Мануковский Н.С.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Микрофлора в биологических СЖО делится на функциональную и ассоциированную. Функциональная микрофлора включается в систему специально и выполняет в ней необходимые функции. Например, фотосинтезирующие микроорганизмы участвуют в регенерации атмосферы, воды, гетеротрофные микроорганизмы трансформируют экзометаболиты человека и несъедобную растительную биомассу. Функциональная микрофлора легко управляется человеком. Ассоциированная (сопутствующая) микрофлора является неизбежным компонентом звеньев биологической системы и специально не вводится в систему. В экспериментах с системами «Биос» были проведены исследования микрофлоры всех звеньев системы (человека, растений, микроводорослей и микрофлоры окружающей среды).

Было показано, что микрофлора может явиться возможным источником «возмущений» в системе. Высокая чувствительность микрофлоры к условиям среды делает ее эффективной в качестве индикатора состояния системы в целом. Предпочтительным фактором управления микробной биотой в системе должен быть экологический, т.е. поддержание соответствующих условий среды обитания. Единственный параметр, по которому система «Биос» не вышла на стационарный уровень, – это микрофлора человека и растений. Поэтому в будущих экспериментах необходимы более глубокие исследования микрофлоры звеньев и микрофлоры системы в целом.

Задачи и перспективы исследований в системе «Биос»: мониторинг динамики функциональной и ассоциированной микрофлоры в замкнутых экологических системах типа «Биос» с использованием новейших микробиологических и биотехнологических достижений:

1. Изучение особенностей формирования микрофлоры в СЖО и оценка медицинских и технологических рисков, обусловленных жизнедеятельностью микроорганизмов в этих условиях.

2. Исследование динамики отклика и перестройки в микробиоценозах на разных иерархических уровнях (физиологическом, популяционном, видовом и микрорекосистемном) с целью управления ими.

3. Исследование коэволюции системы и микрофлоры звеньев – человека, почвы, растений (в том числе коэволюции поведения исследователей) в длительных экспериментах с системами типа «Биос».

4. Внедрение управляемых микробных ассоциаций в звенья системы для повышения их функциональной активности.

5. Использование микробных препаратов для поддержания нормальной микрофлоры человека (разработки Института медико-биологических проблем (ИМБП) для космонавтов).

6. Использование новых космических технологий (ИМБП) для поддержания санитарно-гигиенического режима (обработка поверхностей и приборов препаратами, использование специальной одежды).

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПРОДУКТ НА СТЕКЛОВОЛОКНИСТОЙ МАТРИЦЕ

Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Симаненков Э.И., Дорохов Р.В.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

Регенерация воздуха в замкнутых объемах – одна из главных задач систем жизнеобеспечения (СЖО) человека. В качестве источников химически связанного кислорода, как правило, применяются надпероксиды калия или натрия, сформованные в виде гранул, таблеток или блоков из механических смесей порошков.

В целях улучшения эксплуатационных характеристик регенеративного продукта, таких, как повышение активности к диоксиду углерода, равномерное выделение активного кислорода и стабилизация коэффициента регенерации в процессе эксплуатации продукта, снижение плавкости продукта, регулируемые массогабаритные характеристики изделия и т.д., была разработана принципиально новая технология получения регенеративного продукта, которая позволила получить продукт различной геометрической формы с максимально развернутой поверхностью и регулируемым содержанием активного кислорода. Регенеративный продукт, получаемый по этой технологии, представляет собой надпероксид калия, закрепленный на поверхности пористой волокнистой матрицы, инертной к пероксиду водорода. Преимуществом такой технологии является также возможность получения не только чистого надпероксида калия на матрице, но и составов на его основе, аналогичных известным регенеративным продуктам, изготовленным из механических смесей.

Содержание активного кислорода в пересчете на чистый порошок надпероксида калия составляет до 32 %. Материал, в порах которого содержатся кристаллы надпероксида калия, не пылит, легко поддается обработке с получением продукта в виде зерна, блоков, пластин и т.д.

Преимуществом данного способа изготовления материала для регенерации воздуха является получение не только чистого надпероксида калия на матрице, но и составов на его основе, аналогичных известным регенеративным продуктам, изготовленным из механических смесей.

Кроме того, получение нового регенеративного вещества на пористой матрице в виде гибкого материала, из которого можно изготовить любые формы, открывает новые возможности создания изделий для регенерации воздуха не только в жестком металлическом каркасе, но и в виде легких форм изделий. Например, вместо металла можно использовать пожароустойчивые пленки полимерных материалов, при этом можно придать изделию для защиты органов дыхания форму не только патрона, но и верхней одежды (жилет, куртка, воротник и т.д.).

Сорбционная активность полученного продукта по диоксиду углерода составляет 120–140 л/кг, что на 60–80 % выше, чем у серийно выпускаемого гранулированного регенеративного продукта.

ПОГЛОТИТЕЛЬ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ЭЛАСТИЧНОЙ ПОДЛОЖКЕ

Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Симаненков Э.И., Архипова М.П.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

Рассмотрены принципиально новые подходы к получению химического поглотителя известкового (ХП-И) для очистки систем жизнеобеспечения (СЖО) от кислых газов, в частности, от диоксида углерода.

В настоящее время промышленностью производится поглотитель по традиционной технологии в виде гранул, таблеток. Гранулированная форма ХП-И ограничивает его использование в СЖО и ведет к созданию аппаратов из металла с увеличенными массогабаритными характеристиками.

Создание современных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками является одной из наиболее актуальных задач для этой области техники. К таким характеристикам относятся повышение реакционной активности хемосорбента к диоксиду углерода, пожаробезопасность, экологическая чистота, комфортность использования, малые массогабаритные размеры.

Перспективным является направление по разработке ХП-И на эластичной подложке. Такая технология изготовления поглотителя кислых газов позволит получать хемосорбент различной геометрической формы (листы, ленты, рулоны и др.) с максимально развернутой поверхностью, регулируемым химическим составом и влажностью.

Химический поглотитель на эластичной подложке может размещаться и эксплуатироваться в полимерной оболочке в любой удобной для назначения конструкции и в малогабаритных объемах СЖО (подводные лодки, кабины космических

кораблей и др.). Для применения такого поглотителя не требуются дополнительные энергоресурсы. Он сохраняет свою активность без принудительной подачи загрязненного воздуха, что особенно важно в случае аварийных ситуаций (например, очистка воздуха задымленных обитаемых объектов).

В качестве эластичной подложки хемосорбента используются негорючие материалы, Nomex, Kevlar, Русар, Арселон или стекловолокно. Разработаны опытные образцы хемосорбента. Реакционная активность разрабатываемого химического поглотителя к диоксиду углерода в динамических условиях газовой воздушной потока увлажненного воздуха составляет 115–125 л/кг.

Гранулированный ХП-И в этих же условиях поглощает около 90 л/кг диоксида углерода.

ПОДХОДЫ К АЛИМЕНТАРНОЙ КОРРЕКЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ЖЕЛУДКА, ВЫЗВАННОЙ ЭФФЕКТАМИ НЕВЕСОМОСТИ

Гончарова Н.П., Афонин Б.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Особенности функционального состояния желудка в космическом полете (КП) обусловлены эффектами невесомости в организме. Они характеризуются увеличением базальной секреции желудка, закислением желудочного сока, замедлением эвакуаторной функции, увеличением желудочного содержимого натошак, снижением секреторного ответа при приеме пищи. Повышенная тощаковая секреция желудка и его закисление сами по себе предполагают регламентацию продуктов и их компонентов, увеличивающих стимуляцию секреции слизистой, особенно соляной кислоты. Желательным в этих условиях будет употребление продуктов, обладающих ощелачивающим эффектом.

Повышенная тощаковая секреция желудка и связанная со снижением pH замедленная его эвакуаторная активность вызывают увеличение внутрижелудочного содержимого и ощущение переполнения желудка. Переполнение желудка особенно ощутимо после приема пищи, поскольку переваривающий потенциал понижен. Предотвращение переполнения желудка после приема пищи может быть достигнуто уменьшением разового объема принимаемой пищи, по-видимому, за счет дробления на части рационов, принимаемых в завтрак, обед и ужин.

Пониженный секреторный ответ желудка при приеме пищи характеризует снижение его переваривающего потенциала. Одним из звеньев этого снижения является блокада внутрижелудочной регуляции секреции, осуществляемой гастрином. Для стимуляции гастринового механизма пищевой секреции желудка следует использовать продукты, являющиеся естественными стимуляторами этого гормона, – продукты с высоким содержанием альбуминов.

Составной частью механизма активации желудочной секреции в невесомости является увеличение секреции инсулина, одного из мессенджеров аппетита. Увеличение инсулина в КП само по себе предполагает повышение аппетита. Поскольку стимуляторами секреции инсулина являются углеводы, то их содержание

в пище в условиях КП должно быть снижено до минимума. Содержание углеводов при разовом приеме пищи не должно приводить к резкому повышению глюкозы.

Таким образом, для алиментарной коррекции основных функциональных изменений желудка, возникающих в невесомости, следует ограничить употребление приправ, вызывающих стимуляцию секреции соляной кислоты, разовый объем принимаемой пищи должен быть уменьшен, а частота приема увеличена. Продукты рационов должны обладать ощелачивающим эффектом, содержать увеличенное количество альбуминов, а количество простых углеводов при разовом приеме не должно стимулировать секрецию инсулина.

МЕДИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДАЛЬНОГО КОСМОСА

Григорьев А.И., Баранов В.М., Богомолов В.В., Сияк Ю.Е.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Системы жизнеобеспечения (СЖО) экипажей обитаемых космических объектов в условиях освоения дальнего космоса будут отличаться от СЖО в орбитальных околоземных полетах. Основные отличия заключаются в отсутствии возможности возобновления расходуемых материалов, узлов, агрегатов, в более активной радиационной обстановке, требующей поиска новых эффективных методов и средств радиационной защиты, в наличии гипомагнитных условий окружающей среды, в возможности использования местных планетных ресурсов. Для инопланетных баз и станций кардинальным решением было бы создание замкнутой экологической СЖО на основе полного круговорота веществ. Для инопланетных космических кораблей энергетические и массогабаритные ограничения не позволяют создавать подобные системы. В этих случаях основные функции СЖО будут поддерживаться физико-химическими системами с возрастающей ролью биологических систем по мере увеличения продолжительности полетов.

Большие коррективы в создание СЖО в длительных экспедициях могут быть внесены экзобиологическими запретами на удаление продуктов жизнедеятельности космонавтов в вакуум космического пространства. (Следует отметить, что в настоящее время на Международной космической станции (МКС) все отходы собираются в корабле «Прогресс» и во время спуска сгорают в плотных слоях земной атмосферы.) Опасность загрязнения поверхностей планет (например, Марса) могут представлять не только влагосодержащие продукты жизнедеятельности, содержащие микрофлору, но даже CH_4 , синтезированный по реакции Сабатье. В этом случае результаты поиска низкоорганизованных форм жизни (одной из целей марсианской экспедиции) могут быть неоднозначными.

Необходимо расширить работы в области создания оперативного контроля качества среды обитания. На борту обитаемых объектов необходимо создать систему анализа по физико-химическим и микробиологическим показателям атмосферы, воды, пищи, интерьера, а также отдельных технологических узлов, агрегатов, звеньев, составляющих общую систему жизнеобеспечения. (Санитарно-гигиен-

нический контроль среды обитания на МКС во многом проводится в земных лабораториях, на основе результатов физико-химических и бактериологических анализов образцов воздуха и воды, доставляемых на Землю.)

Необходимо уточнение некоторых ГОСТов, регламентирующих безопасные нормативы по физико-химическим, микробиологическим, радиационным и другим показателям, что может привести к необходимости поисков новых методов и средств для создания СЖО нового поколения. При этом приоритетными будут разработки процессов глубокого окисления всех вредных микропримесей, которые приведут к снижению массы расходуемых материалов и возрастанию ресурсных характеристик звеньев СЖО.

Особое внимание следует уделить радиационной безопасности членов экипажа. Необходима разработка новых подходов к снижению последствий радиационного воздействия ионизирующей радиации не только при использовании механических, фармакологических, но и иных методов и средств (например, постоянного употребления воды со сниженными концентрациями тяжелых стабильных изотопов водорода и кислорода).

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ У ПТЕНЦОВ ЯПОНСКОГО ПЕРЕПЕЛА, РАЗВИВШИХСЯ В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

Гурьева Т.С., Дадашева О.А., Сычев В.Н., Медникова Е.И.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Эксперименты, проведенные на ОК «Мир» в период с 1990 по 1999 г., показали возможность прохождения полного цикла эмбрионального развития японского перепела из яиц, доставленных с Земли, до вылупления птенцов. Изучение морфогенеза разновозрастных эмбрионов и птенцов, находившихся в условиях невесомости в течение 2–5 сут, показало, что по основным морфометрическим показателям (массе и размерам тела) они отстают от контрольных. Визуальный осмотр внутренних органов эмбрионов и птенцов японского перепела, развившихся в условиях невесомости, не выявил каких-либо отклонений от нормы.

Впервые было проведено гистологическое исследование внутренних органов желудочно-кишечного тракта птенцов японского перепела, находившихся в условиях реального космического полета. Впервые было показано, что органогенез и гистогенез эмбрионов и птенцов японского перепела, прошедших полный эмбриональный период в условиях невесомости, не отличался от таковых в земном контроле. Топография и морфология внутренних органов птенцов, проживших в условиях невесомости от 2 до 5 сут, не отличались от контрольных. Гистологические исследования органов пищеварения у зародышей полетной группы показали, что пищеварительная система функционально подготовлена к перевариванию и усвоению корма. Однако у птенцов, выведенных и проживших в течение 5 сут в условиях невесомости, выявлены дистрофические изменения в железистом и мускулистом желудке птенцов, связанные, по нашему мнению, с голоданием. В 12-перстной кишке птенцов полетной группы наблюдается очаговая гиперплазия

эпителия с преобладанием пролиферативных процессов клеток над их дифференцировкой, что приводит к нарушению процессов всасывания пищи и пристеночного пищеварения. По-видимому, причиной всех таких явлений являются слабое развитие кровеносных сосудов, а также стресс-реакции организма на нахождение птенцов в условиях невесомости. У всех птенцов полетной группы в печени отмечена сильная вакуолизация цитоплазмы с преобладанием вакуолей среднего и крупного размеров, особенно выраженная в области триад и на периферии органа под капсулой. Площадь жировых скоплений в гепатоцитах печени составила в среднем 33,58 %, тогда как в печени контрольных птенцов – 6,86 %. У птенцов, развившихся в условиях невесомости, имеется четко выраженная дистрофия печени, венозный застой, повышенная гистолейкоцитарная активность.

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЙ ФАКТОРОВ РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ В ОТСЕКАХ ОРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА БИООБЪЕКТЫ В ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Гурьева Т.С., Левинских М.А., Цетлин В.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Эффекты малых доз ионизирующего гамма- и нейтронного излучения на биоту необходимо учитывать при прогнозировании и оценке экологической ситуации, особенно в больших городах. Эти эффекты занимают одно из ведущих мест среди первичных причин, вызывающих стимуляцию деления клеток, роста и развития различных организмов.

Исследованы эффекты малых доз ионизирующего излучения на биологические объекты: на семена растений, эмбрионы японского перепела, микроорганизмы. Биообъекты, подобранные по возрасту, физическим данным и другим специфическим характеристикам, перед облучением разделялись на две группы – на контрольную и опытную. Опытная группа подвергалась непрерывному облучению ионизирующим излучением радионуклидных источников альфа-, бета-, гамма-частиц и нейтронами. Мощность поглощенной дозы выбиралась в диапазоне, присущем радиационной обстановке в космических аппаратах. Время экспозиции обычно составляло от 10 до 30 сут. После завершения облучения биологические объекты обследовались по принятой в соответствующей области биологии методике. Например, в качестве критерия для оценки эффектов влияния малых доз различных видов частиц использовались такие параметры, как всхожесть растений и энергия роста, наличие аномалий в организмах эмбрионов и др.

Количество аномалий в развитии и виды этих нарушений, выявленных у эмбрионов японского перепела, развивавшихся при воздействии низких доз нейтронного облучения, совпадают с результатами, полученными при изучении эмбриогенеза птиц в условиях реального космического полета.

Установлено, что радиационное воздействие малых доз (0,005–10 сГр), характерных для радиационной обстановки в космических аппаратах, может вызывать заметные морфологические и другие изменения в онтогенезе животных, растений

и микроорганизмов. Явление радиационного гормезиса обнаруживается при хроническом гамма-облучении в дозах 50–500 ПРФ.

Отмечено, что вследствие хронического облучения малыми дозами нейтронного излучения в организмах развивается повышенная радиочувствительность и снижаются репродуктивные функции.

Показано, что радиобиологическое воздействие условий на МКС можно рассматривать как фактор, вызывающий у исследованных организмов физиологический стресс и реакцию, соответствующую г-стратегии выживания.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Дегерменджи А.Г., Губанов В.Г., Бархатов Ю.В., Тихомиров А.А.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Для оценки функционирования экспериментального модуля биологической системы жизнеобеспечения (БСЖО) (Тихомиров и соавт., 2003) и возможности управления им построена математическая модель, опирающаяся на кинетические коэффициенты и опытные зависимости. Математическая модель включает 2 компартамента – модель «фитотрона» (с пшеницей и редисом) и модель «микотрона» (для грибов) – и описывается дифференциальными уравнениями.

В модель включены компоненты: пшеница, редис, солома, мертвое органическое вещество в фитотроне, съедобные грибы (плодовые тела и мицелий), черви, продукты жизнедеятельности червей (копролиты), вермикомпост, использующийся как почвоподобный субстрат (ППС), бактериальная микрофлора, минеральные формы биогенных элементов (N, P, Fe), продукция системы для человека (зерно, корнеплоды редиса, плодовые тела грибов), H₂O, кислород и углекислый газ. Газообмен между компартаментами постоянен. Массообмен не газовых элементов между компартаментами происходит только во время снятия урожая. Учитывается конвейерный характер функционирования замкнутой экосистемы (число экспериментальных возрастов регулируется от 4 до 8). Также поддается регулированию длина конвейерного цикла. По пище и газообмену модуль рассчитан на условное присутствие 1/30 доли физиологической (метаболической) активности человека.

В модели учтены следующие процессы: фотосинтез пшеницы и редиса в зависимости от возраста культуры, освещенности, количества биогенных элементов; дыхание грибов, червей, бактерий и человека; потребление человеком зерна и корнеплодов редиса и возврат от него минеральных биогенных элементов; утилизация червями и бактериями отмершей фитомассы; переработка мицелием грибов соломы; переработка бактериями копролитов червей в минеральную форму.

Модель верифицирована по данным опытов и способна демонстрировать варианты развития БСЖО при различных вероятных критических режимах. Модель позволяет рассчитать динамику всех компонентов системы при различных условиях и режимах ее функционирования, в частности, при труднореализуемых в эксперименте условиях или дорогостоящих опытах. Оценены варианты функционирования системы при неоптимальном и оптимальном режимах освещенности и

по количеству возрастов в фитоблоке. Продемонстрированы варианты динамики системы для аварийной ситуации: гибель части или всей фитомассы пшеницы и восстановления; оценена степень замкнутости круговорота по С и N для различных способов организации массооборота. При этом показано, что БСЖО с ППС по степени замкнутости круговорота имеет преимущество перед системой с физико-химическим способом окисления вещества, что может послужить прообразом в создании нового поколения БСЖО с повышенным замыканием внутреннего круговорота вещества.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРАТОРА КИСЛОРОДА

Демидова Н.С., Шангин И.А.

Московский авиационный институт (ГТУ), Москва, Россия

В системах жизнеобеспечения одним из способов получения кислорода из воздушной смеси является электрохимический концентратор кислорода (ЭХК).

ЭХК представляет собой устройство, обеспечивающее отделение кислорода от азота и инертных газов, находящихся в воздухе. Исходными продуктами являются кислород и водяные пары воздуха, для работы концентратора требуются источник электроэнергии и электролит.

Реализация процессов тепломассопереноса в ЭХК представляет собой множество межфазных систем с границами раздела фаз. В межфазной области рабочая среда обладает свойствами, отличающимися от свойств объемных фаз.

Целью исследования является создание расчетно-экспериментального метода оценки многокомпонентных электрохимических систем со статическим электролитом для разработки перспективных систем обеспечения жизнедеятельности замкнутых объектов космического и наземного назначения.

По разработанным расчетно-экспериментальным методикам и их программному обеспечению для электрохимической системы со статическим электролитом получены поля концентраций, электрического потенциала, которые обобщены в интегральные характеристики, имеющие рассогласование в 5 % с доверительной вероятностью 0,95.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ КОСМОНАВТОВ

Добровольский В.Ф., Кидалюк И.В.

НИИ Пищеконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии РАСХН, Москва, Россия

Пищевые космические технологии – это разработка научно обоснованных рецептов и создание на основе традиционных, специальных технологий изготовления продуктов питания, готовых к употреблению, специально упакованных, обла-

дающих высокой усвояемостью и профилактической направленностью, сбалансированных по содержанию основных пищевых веществ, адекватных потребностям организма, сохраняющих биологическую полноценность и микробиологическую безопасность не менее двух лет при хранении в условиях нерегулируемого температурно-влажностного режима космического объекта.

Питание является важнейшей составляющей жизнедеятельности космонавтов, обеспечивающей их умственную и физическую работоспособность, устойчивость к неблагоприятным факторам космического полета. Кроме того, как неоднократно было отмечено космонавтами, сам по себе прием пищи в космосе – это своеобразный ритуал, способствующий укреплению межличностных отношений в экипаже, обеспечивающий эмоциональный подъем и психическую релаксацию. Но получение положительных эмоций возможно только при одном условии – еда должна быть вкусной и разнообразной. В противном случае она становится средством утоления голода и осознанной необходимостью насытить организм.

Создание широкого ассортимента и многокомпонентности блюд позволило организовать разнообразное питание и, таким образом, снизить приедаемость, свойственную консервированным продуктам. Но вместе с тем необходимо было детально проработать и внедрить прогрессивные технологические приемы и средства, направленные на максимальное сохранение биологически активных структур продуктов, для чего использовали щадящие режимы консервирования, различные современные способы обезвоживания (сублимационная, распылительная и другие сушки, криогенная технология), изготовление продуктов с промежуточной влажностью, применение натуральных красителей, улучшителей вкуса и др. При этом наиважнейшей задачей по разработке научно обоснованных режимов производства и подготовки продуктов к употреблению оставалась их микробиологическая и токсикологическая безопасность в течение всего срока хранения в условиях космического объекта.

С учетом медико-биологических рекомендаций были определены пути использования природного сырья, богатого биологически активными веществами для разработки продуктов, обладающих профилактическими свойствами. Заложенный в ряде рецептов принцип взаимозаменяемости компонентов позволяет комплектовать физиологически полноценные рационы питания для различных этапов космического полета.

ПЕРСПЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОЖАРАХ

Дорохов Р.В., Гладышева Т.В., Гладышев Н.Ф., Симаненков Э.И., Мавлютова О.С.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

Для защиты людей при пожарах применяются аппараты замкнутого цикла с автономным снабжением кислородом. Эти аппараты широко используются в шахтах и для самоспасения при выходе из зданий во время пожара, а также при

борьбе за живучесть в подводных лодках. На станции МКС для этих же целей используется аппарат ИПК-1М.

Для обеспечения защиты экипажа при пожарах в условиях длительных полетов необходимо надежное индивидуальное средство защиты, имеющее минимальную массу и габариты. Нами проведены исследования по созданию такого средства, имеющего существенно улучшенные технические характеристики по сравнению с серийно выпускаемыми аппаратами.

Разработаны и изготовлены макетные образцы изделия. В качестве источника кислорода и поглотителя диоксида углерода использовали новый регенеративный продукт в форме пластин – надпероксид калия на стекловолоконистой матрице.

В аппарате использованы новые для этого класса аппаратов полимерные конструкционные материалы. Существенно (в 2–2,5 раза) снижены масса и габариты аппарата (масса – 0,8 кг, габаритные размеры – 180 × 140 × 100 мм) по сравнению с существующими на сегодняшний день аналогичными устройствами.

Применение нового регенеративного продукта и оригинальных конструктивных решений позволило снизить температуру вдыхаемого воздуха до 45 °С и сопротивление дыханию в аппарате практически до нуля.

Исследован состав газовой среды в макетных образцах. Полученные результаты свидетельствуют о соответствии состава газо-воздушной среды в аппарате современным европейским нормам безопасности. Отмечено, что в регенерированном воздухе практически отсутствуют вредные примеси.

МЕТОДИКА УЧЕТА ВЛИЯНИЯ АНИЗОТРОПИИ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОЩНОСТЬ ДОЗЫ В КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ

Дробышев С.Г., Бенгин В.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Работа посвящена совершенствованию метода расчета дозы космической радиации на борту Международной космической станции (МКС). Разработана расчетная методика, позволяющая учесть значительную анизотропию поля излучения в зоне Южно-Атлантической аномалии (ЮАА) в сочетании с анизотропным характером защиты космического аппарата. Методика включает в себя описание спектрально-углового распределения падающего излучения, описание защищенности космического аппарата (КА) на основе «секторного» анализа, а также процедуру приведения вышеупомянутых характеристик к единой системе координат с учетом пространственной ориентации КА. После совмещения спектрально-углового распределения падающего излучения с описанием защищенности КА производится вычисление мощности дозы. Показано, что в условиях защищенности, имеющих место на МКС, возможно более чем двукратное различие в значениях мощности дозы в зависимости от пространственной ориентации станции. Разработанная методика может использоваться как для проведения оценок во время околоземных орбитальных полетов, так и после соответствующих доработок в дальних полетах при наличии анизотропных радиационных полей.

АДАПТАЦИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПОСОБА РЕГЕНЕРАЦИИ ПОГЛОТИТЕЛЯ ВРЕДНЫХ МИКРОПРИМЕСЕЙ К СИСТЕМАМ УДАЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ МИКРОПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ ГЕРМООБЪЕКТОВ

Еремеев С.И.*, Гузенберг А.С., Крыченков Д.А.*

РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

*ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В атмосфере гермообъектов происходит быстрый рост концентрации вредных для жизнедеятельности человека примесей. Источником выделения примесей является сам человек, неметаллические материалы конструкции и оборудование, а также различные пищевые и косметические продукты. Наиболее распространенной является очистка атмосферы от вредных микропримесей при помощи адсорбентов – активированных углей, для регенерации которых обычно применяют термоотдувочный, термовакуумный и термовытеснительный способы.

Авторами был предложен и исследован объединенный термический и термовытеснительный способ регенерации активированного угля, при котором в качестве источника водяного пара для регенерации используется конденсат атмосферной влаги, предварительно адсорбируемый на силикагелевом слое фильтра при очистке воздуха. Регенерация проводится при атмосферном давлении (или несколько пониженном давлении при необходимости), при нагреве сорбентов до температуры 160 °С с последующим принудительным охлаждением воздушным потоком, создаваемым с помощью вентилятора, используемого при удалении примесей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГРУППОВОГО ПСИХОДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ УЧАСТНИКОВ 14-СУТОЧНОГО БИОТЕХНИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ «ГОМЕОСТАТ»

Еськов К.Н.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В период с 15.11.07 по 29.11.07 на базе научно-экспериментального комплекса Института медико-биологических проблем РАН в рамках проекта «Марс-500» проходил технологический эксперимент с участием 6 испытуемых. В соответствии с утвержденной научной программой эксперимента было проведено групповое психодиагностическое обследование участников эксперимента с использованием методики «Гомеостат». Цель исследования – оценка динамики эффективности группового взаимодействия и ролевого распределения в процессе групповой совместной деятельности операторов, выполняющих специальную программу по отработке системы жизнеобеспечения модулей медико-технического комплекса в условиях непродолжительной (двухнедельной) камерной изоляции.

Обследование проводилось вне зоны модулей в специально отведенном помещении 14.11.07 и 29.11.07, до начала и после окончания эксперимента соответственно. Продолжительность каждого обследования составляла 30–40 мин. В об-

следовании принимали участие все 6 участников эксперимента, которые были задействованы практически одновременно и имели равную возможность взаимодействовать между собой в различных сочетаниях. Всего за два обследования было предъявлено 28 гомеостатических задач зачетной степени сложности (17 задач в первом и 11 при повторном обследовании).

По результатам проведенного обследования уровень эффективности группового взаимодействия в исследуемой малой группе можно охарактеризовать как умеренный и достаточный для успешного выполнения совместных задач средней сложности. Значимая динамика эффективности группового взаимодействия до и после окончания двухнедельной изоляции отсутствовала. Наблюдалось небольшое смещение в сторону увеличения среднего значения показателя общей групповой активности при стабильном невысоком значении показателя успешности решения совместных гомеостатических задач. Результаты повторного обследования подтвердили наличие особенностей поведения каждого оператора, выявленных при первичном обследовании. Анализ данных, полученных в результате проведенного обследования, позволил ориентировочно (проранжированно) оценить способность к групповому взаимодействию у лиц обследованного контингента испытуемых. Результаты проведенного исследования, некоторые вопросы научно-методической организации группового психодиагностического обследования с использованием методики «Гомеостат» будут учитываться при формировании программы психофизиологических исследований в эксперименте «Марс-500».

КРИОСАУНА КАК СПОСОБ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТОВ В ДАЛЬНИЙ КОСМОС

Жердев А.А., Сергеева А.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

Немаловажная сторона летной подготовки космонавта состоит в решении задач медико-биологической подготовки, тренировки приспособительных физиологических механизмов при комплексном воздействии таких факторов полета, как угловые, линейные и кориолисовы ускорения; перепады температур, атмосферного и парциального давлений газов; физическая нагрузка; невесомость, условия пониженной и знакопеременной гравитации.

Являясь одним из методов общей профессиональной подготовки, тренировка в различных климатических условиях существенно отражает состояние нервно-психической устойчивости космонавтов к различным стрессовым воздействиям и достигает совершенствования адаптационных способностей организма.

Известно, что внешнее охлаждение является типичным «стрессом», вызывающим общий синдром адаптации. Причинами стрессовой реакции в условиях охлаждения считается взаимодействие двух факторов: охлаждающего влияния среды и психогенного, эмоционального фактора, который всегда сопровождает патологическое охлаждение – замерзание человека в естественных условиях.

Более ста лет проводятся исследования по оценке влияния на человека искусственного глубокого охлаждения – гипотермии. Суть его заключается в том, что производится безопасное и высокоинтенсивное охлаждение всего тела человека до температуры 0 °С на охлаждаемой поверхности и не ниже 25 °С – в глубине тела. Криотерапия – формирование нервно-психической устойчивости жизнедеятельности и поддержание иммунитета космонавтов в экстремальных условиях.

Во всех существующих конструкциях криосаун теплообмен между человеком и внутренней средой осуществляется путем конвекции. Однако же охлаждение человека, вызываемое теплообменом путем излучения, сопровождается повышенной чувствительностью даже к незначительным перепадам температуры между телом и окружающими предметами. Это очень актуально для гермообъектов, так как около 22 % теплоотдачи человека осуществляется за счет испарения воды с поверхности кожи или со слизистой оболочки при дыхании, около 32 % – путем конвекции и около 46 % – излучением при комфортных температурах окружающего воздуха и предметов. К тому же теплообмен излучением наиболее эффективен при создании стрессовой ситуации и закаливании организма человека.

СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ АТМОСФЕРЫ ОТ МИКРОПРИМЕСЕЙ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА МКС И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Жинжиков Л.А., Курмазенко Э.А., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А.,
Медникова Т.А., Телегин А.А.*, Юргин А.В.*, Мухамедиева Л.Н.****

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

*РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

**ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В докладе рассмотрены проблемы очистки атмосферы от микропримесей обитаемых герметичных модулей (ОГМ) космических орбитальных станций и межпланетных кораблей. Наиболее эффективно поддержать необходимое качество атмосферы возможно только при соблюдении баланса между выделяемыми и удаляемыми микропримесями.

Основными источниками микропримесей в воздушной среде ОГМ являются продукты метаболизма экипажа и дегазации неметаллических конструкционных материалов. Для удаления выделяемых микропримесей из воздушной среды ОГМ на борту МКС в настоящее время используются системы СБМП, установленные в российском сегменте, и ТССС – в американском сегменте.

Приведены результаты эксплуатации данных систем и показано, что их функционирование обеспечивает необходимое качество атмосферы. Основным загрязнителем атмосферы в настоящее время являются силоксаны и их соединения, надежные средства удаления которых не входят в используемые системы. Поэтому необходимо разработать и произвести экспериментальную отработку дополнительных фильтров для удаления данных компонентов.

Для автономных межпланетных полетов существенно увеличивается длительность пребывания экипажа на борту корабля, появляются растения как дополнительные биологические объекты, практически полностью исключаются условия удаления микропримесей при замене атмосферы из-за осуществления выходов в

космос. Поэтому применяемые в настоящее время нормативы должны быть скорректированы, а перспективные системы очистки атмосферы от микропримесей должны базироваться на использовании кроме адсорбционно-каталитических методов процессов фотокатализа и ионизации воздуха.

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖА МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОРАБЛЕЙ

Зарецкий Б.Ф., Гаврилов Л.И., Курмазенко Э.А.

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

Осуществление межпланетных пилотируемых полетов существенно изменяет требования к системам жизнеобеспечения (СЖО), особенно к автоматизированным системам управления СЖО. При межпланетных пилотируемых полетах существенно уменьшаются возможности управления функционированием отдельных систем земным центром управления. Все это обуславливает повышение живучести и интеллектуального уровня автоматизированных систем управления СЖО.

Возможными путями решения данной проблемы являются:

- применение и развитие идеологии распределенных систем управления;
- применение блоков и устройств управления, изготовленных с использованием технологии серийного производства, сводящей к минимуму влияние человеческого фактора;
- применение алгоритмов, основанных на максимальном использовании принципов адаптивного управления, методов теории искусственного интеллекта, диагностики и прогнозирования состояния технических систем;
- создание и использование современных измерительных датчиков для систем мониторинга и диагностики;
- формирование бортовой информационной системы на основе современных интерфейсов типа RS485;
- максимальное развитие секционно-модульных конструктивов СЖО и АСУ с обеспечением в пределах двух кабелей связи с бортом: силовой кабель электропитания и кабель связи с бортовой информационной сетью;
- создание интеллектуальных систем идентификации и выдачи рекомендаций экипажу по локализации нештатных ситуаций для повышения живучести и существенного снижения затрат рабочего времени экипажа на эксплуатацию СЖО.

Показано, что решение данной проблемы позволит создать современную АСУ СЖО, пригодную для осуществления различных космических программ.

ГРАВИТРОПИЧЕСКИЕ И ФОТОТРОПИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ В НАЗЕМНОМ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОМ ПРОТОТИПЕ КОСМИЧЕСКОЙ ОРАНЖЕРЕИ

Зяблова Н.В., Беркович Ю.А., Скрипников А.Ю.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Динамика гравитропических реакций 3-дневных проростков мягкой пшеницы *Triticum aestivum L.*, сорт Арогее после скачкообразного отклонения проростков

от вертикали на различные углы при односторонней их подсветке при длине световой волны 660 нм и плотностью потока фотосинтетически активных фотонов (ППФ) около 0,03 мкмоль/(м² · с) была описана как реакция последовательного соединения стандартных динамических звеньев: звена запаздывания и апериодического звена первого порядка. На основе анализа экспериментальных переходных процессов изгиба проростков получена оценка частоты среза такой системы. Обнаружено, что наибольший угол изгиба проростка в сторону вертикали имеет место при гравитропическом стимуле 120 град, а максимальная средняя скорость изгиба – при 150 град. Получены оценки воздействия красного света с ППФ 30 и 300 мкмоль/(м² · с) при верхнем и нижнем расположении источников света на гравитропический изгиб 3-дневных проростков. Получены фотографии реориентации микротрубочек в клетках колеоптилей пшеницы. В наземном полусферическом прототипе космической оранжереи при вращении вегетационной камеры вокруг горизонтальной оси со скоростью 3 об/ч выращены самораздвигающиеся посеы пшеницы до фазы колошения при освещении растений внешним концентрически расположенным светильником на базе красных светоизлучающих диодов при ППФ около 500 мкмоль/(м² · с) на посадочной поверхности. Конструкция установки представляет собой клиностат с полусферической вегетационной камерой диаметром 600 мм со скоростями вращения около 3 об/ч, снабженный системой подачи питательного раствора в корневой модуль растений со стабилизацией водного потенциала в пределах 1,0 ± 0,45 кПа. Получены оценки кривых роста, накопления биомассы, сроков прохождения фенофаз, потенциальной зерновой продуктивности пшеницы, выращенной во вращающейся вегетационной камере, по сравнению со стационарным контролем.

РОЛЬ АЭРОБНЫХ МИКРОБНЫХ АССОЦИАЦИЙ В ДООЧИСТКЕ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ БИОДЕГРАДАЦИИ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

**Ильин В.К., Коршунов Д.В., Доронина Н.В.*, Иванова Е.Г.*,
Старкова Л.В., Марданов Р.Г.**

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К.Скрябина РАН, г. Пущино, Россия

Проблема утилизации отходов в условиях пилотируемых космических полетов является одной из важнейших. Наиболее перспективной представляется технология утилизации отходов с помощью микроорганизмов.

Исследовались процессы анаэробной и аэробной биodeградации различных субстратов. Рассматривались следующие виды отходов: пищевые (растительного происхождения), целлюлозосодержащие (марля). Использовались консорциумы и культуры микроорганизмов, способных трансформировать вышеуказанные субстраты в жидкость и биогаз.

Декомпозицию растительных отходов проводили в две стадии. На первой применялись ассоциации анаэробных микроорганизмов, деградирующие твердые растительные субстраты (морковь, капуста, картофель) в течение 3–6 дней. Тем-

пература ферментации составляла +37 °С, концентрация субстрата – 200 г/л. Степень деградации была около 76 %. На второй жидкие продукты биodeградации подвергали доочистке с помощью аэробных бактерий. Анализ равновесного пара культуральной жидкости показал, что консорциум аэробных культур (*Pseudomonas esterophilus*, *Paracoccus denitrificans*, *Achromobacter parvulus*, *Stenotrophomonas maltophilia*) активно потреблял продукты анаэробной биodeградации. Было зафиксировано изменение качественного и количественного состава органических веществ, содержащихся в жидких продуктах биodeградации. Общая концентрация летучих органических соединений снизилась после аэробной доочистки с 16,724 до 0,036 мг/м³, а общее число наименований – с 21 до 4. Достигнутые показатели удовлетворяют условиям и целям эксперимента, так как полученный субстрат является потенциально пригодным для использования в СЖО космических аппаратов.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют об эффективности метода микробиологической переработки отходов и возможности его применения в условиях пилотируемых космических полетов. Наиболее подходящим для использования данного метода в СЖО космических аппаратов представляется культивирование микроорганизмов в специализированных ферментерах проточно-каскадным способом, поскольку подобная технологическая схема обеспечивает непрерывность и замкнутость последовательных процессов анаэробной и аэробной биodeградации.

ПРОЕКТ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСТВА

**Ильин В.К., Чумаков П.Е.*, Сафронова С.А.*, Старкова Л.В.,
Воейкова Т.А.**, Дебабов В.Г.****

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Калужский филиал Московского государственного университета им. Н.Э.Баумана, г. Калуга, Россия

**ГНЦ РФ ФГУП НИИ генетики и селекции промышленных микроорганизмов, Москва, Россия

В последнее время получают развитие технологии, направленные на поиск альтернативных источников электроэнергии. С этой целью изучается возможность использования жидких органических отходов в качестве субстрата для жизнедеятельности микроорганизмов, в процессе которой генерируется электроэнергия.

Проблема получения энергии из альтернативных источников является актуальной и для пилотируемых космических аппаратов, где некоторые виды отходов, содержащих естественную и искусственную органику, могли бы стать субстратом для жизнедеятельности данных микроорганизмов. Уже разработана лабораторная модель биотрансформации таких отходов, как средства личной гигиены, в жидкую фазу, в которой содержится большое количество органических веществ, необходимых для культивирования этих специфических микроорганизмов.

С целью получения разности потенциалов при культивировании микроорганизмов была разработана конструкция электробиореактора, позволяющего получать разность электрических потенциалов в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Основу разработанной конструкции составляет камера, или реакционный бокс, состоящий из двух плотно соединенных друг с другом ячеек (электродных камер). Камеры изготавливаются из высокопрочной пластмассы – полиимида, обладающей высоким электросопротивлением, широким диапазоном рабочих температур от 290 до 320 °С, высокой прочностью – 3100 Н/мм²; она имеет высокую термостойкость, устойчива к облучению. Выбор материала обусловлен необходимостью изготовления топливной ячейки литьем в виде двух моноблоков, скрепленных между собой болтами, и вставленной между ними мембраной.

Разработанная конструкция позволит, на наш взгляд, максимально оптимизировать параметры технологического процесса и добиться его максимальной эффективности.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ КОСМОНАВТА СКАФАНДРОМ «ОРЛАН-М» ПРИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Карташов Д.А., Коломенский А.В., Шуршаков В.А.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

На основе данных выборочного радиационного гамма-просвечивания и бета-тестирования скафандра «Орлан-М» и анализа технической документации разработана расчетная методика, позволяющая определять функцию экранированности для представительных точек критических органов тела космонавта, находящегося в скафандре. Для оценки эффективности радиационной защиты космонавта скафандром проведены расчеты доз для ряда критических органов тела человека при внекорабельной деятельности на орбитах высотой 350–450 км. Рассмотрены предельные случаи, когда внекорабельная деятельность проходит в области Южно-Атлантической аномалии и вне ее, проанализировано влияние солнечных протонных событий на таких орбитах и предложены оптимальные с точки зрения радиационного воздействия области околоземных орбит при спокойных и возмущенных радиационных условиях. Отдельно проанализирован эффект западно-восточной асимметрии потоков захваченных протонов высокой энергии и связанное с ним влияние ориентации тела космонавта на получаемые дозовые нагрузки. В отсутствие радиационных возмущений (магнитные бури и/или солнечные протонные события) внекорабельная деятельность в скафандре «Орлан-М» не приводит к нарушению требований по радиационной безопасности космонавта в космическом полете, однако оптимальное планирование этой деятельности, включая рекомендации по положению и ориентации тела космонавта, приводит к существенному снижению дозовых нагрузок. Полученные результаты предназначены для получения более точной оценки радиационного риска при работе космонавтов в скафандре «Орлан-М» на околоземных орбитах и при реализации перспективных космических миссий.

СВЧ-УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ И НАГРЕВА ВОДЫ В СЖО

Климарев С.И.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Как известно, ранее на орбитальном комплексе «Мир» и в настоящее время на Международной космической станции применяется традиционный тепловой нагрев воды для приготовления пищи и напитков. При этом используется регенерированная вода. Кроме этого существуют запасы воды, периодическое пополнение которых осуществляется с помощью грузовых кораблей типа «Прогресс».

При планировании и осуществлении полетов вне земной орбиты, например на Марс, основная нагрузка по обеспечению экипажа водой ляжет на систему регенерации воды, так как пополнить или заменить запасы воды будет уже невозможно. Кроме того, нельзя исключить возможность в длительном полете изменения микробиологической ситуации, при которой обычный тепловой нагрев воды может оказаться не вполне эффективным.

В этом случае необходим быстрый и надежный метод уничтожения микрофлоры в воде. К такому методу относится применение СВЧ-энергии для целей обеззараживания с одновременным нагревом воды. При СВЧ-нагреве тепловыделение происходит непосредственно в объеме нагреваемой воды без участия механизма теплопроводности. Такой нагрев является скоростным и легко управляемым.

Реализовать этот метод можно с помощью оконечного коаксиального СВЧ-устройства для обработки воды в потоке. Это устройство целесообразно использовать в циркуляционно-проточной технологической схеме. Основные технологические параметры СВЧ-устройства для обеззараживания и нагрева воды составляют: подводимая СВЧ-мощность до 1 кВт; температура гибели вегетативной микрофлоры – 70 °С; производительность при этой температуре – до 15 л/ч; время пребывания воды в зоне СВЧ-воздействия – до 5 с. Устройство может работать как при нормальном, так и при повышенном давлении, что расширяет возможности его применения, например, для подавления спорообразующих микроорганизмов. СВЧ-нагрев является чистым методом нагрева, поскольку при его использовании отсутствуют какие-либо продукты сгорания и не применяется конвекционный нагрев. Проникновение СВЧ-энергии в окружающее пространство исключается за счет особенностей конструкции СВЧ-устройства и его экранирования.

Аппарат на основе этого метода и устройства может быть использован в качестве основного или резервного варианта бортового оборудования в СЖО нового поколения.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАССЕТЫ ТВЕРДОГО ИСТОЧНИКА КИСЛОРОДА ДЛЯ КАБИН КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ

Копытов Ю.Ф., Булаев Н.А., Скворцов А.Ф.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

Кассеты твердого источника кислорода (ТИК) обладают перед баллонным способом хранения газа существенным преимуществом: возможностью длительного

хранения. Кассеты ТИК эксплуатировались как основной источник кислорода на борту станции «Мир» с 1982 г., а затем с вводом электролизеров стали выполнять функцию запасных источников кислорода.

При использовании на борту МКС отмечена сложность системы запуска и фильтрации газа.

Одним из путей совершенствования ТИК является разделение функций генерации кислорода и фильтрации газа. Тонкая очистка газа от аэрозолей должна осуществляться в блоке реактора, куда помещаются кассеты ТИК. Это позволяет сделать кассеты более легкими и простыми по конструкции.

Последние разработки ОАО «Корпорация «Росхимзащита» позволяют упростить систему запуска и существенно облегчить узел фильтрации, значительно удешевить твердый источник кислорода.

Используемый состав твердого источника кислорода является оригинальным, в отличие от подавляющего большинства известных твердых источников кислорода, и не содержит горючих примесей.

БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МОНИТОРИНГ СТРЕССОВОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Кратасюк В.А., Есимбекова Е.Н.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Условия произрастания растений в модельных замкнутых системах жизнеобеспечения (СЖО) астронавтов резко отличаются от привычных для растений земных условий (пониженное давление и содержание CO_2 и др.). Однако в автоматизированной системе управления условиями в СЖО отсутствуют датчики контроля состояния растений. В работе предлагаются биолюминесцентные датчики, позволяющие контролировать состояние растений по изменению количества метаболитов и активности ферментов *in vivo* и *in situ* при стрессовых воздействиях. Для этого на примере корнеплодов редиса разработан биолюминесцентный метод анализа в экстрактах тканей растений ключевых метаболитов – маркеров стресса НАД(Ф)Н и НАД(Ф)⁺.

Образцы растений выращивали в замкнутых климатических камерах Центра космических исследований им. Дж. Кеннеди и Университета Флориды (США) в условиях пониженного давления, различной влажности и концентрации кислорода. Экстракцию пиридиновых нуклеотидов из растительных тканей проводили этанолом. Содержание нуклеотидов рассчитывали по отношению к содержанию белка в растворе. Сравнивали интенсивности свечения биолюминесцентной реакции в присутствии экстрактов растений, выращенных в стрессовых условиях и контрольных. Чувствительность метода составила $5 \cdot 10^{-10}$ М и $5 \cdot 10^{-9}$ М для НАД(Ф)Н и НАД(Ф)⁺ соответственно.

Показано, что содержание НАД(Ф)Н и НАД(Ф)⁺ в экстрактах растений, выдержанных в климатических камерах в течение 24 ч при пониженном давлении (30 кПа), значительно отличается от содержания этих нуклеотидов в экстрактах контрольной группы растений, выращенных при 100 кПа: соотношение НАД(Ф)

$^+/\text{НАД}(\text{Ф})\text{Н}$ составляет 0,1 и 4 для контрольной и экспериментальных групп растений соответственно. Дальнейшее уменьшение давления в климатических камерах (выдерживание экспериментальных растений в течение 24 ч при 20 кПа) приводит к дополнительному снижению концентрации восстановленных форм пиридиновых нуклеотидов: соотношение $\text{НАД}(\text{Ф})^+/\text{НАД}(\text{Ф})\text{Н}$ увеличивается до 6.

Таким образом, показано, что соотношение $\text{НАД}(\text{Ф})^+/\text{НАД}(\text{Ф})\text{Н}$ служит универсальным индикатором редокс-состояния биоэнергетического статуса растительных клеток. Разработанные методы превосходят по чувствительности все другие известные методы исследования пиридиновых метаболитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Фулбрайт, Российского фонда фундаментальных исследований (грант 07-04-01340-а), Министерства образования и науки Российской Федерации и Американского фонда гражданских исследований и развития (грант RUX0-000002-KR-06).

ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ВОДЫ В ПОРИСТЫХ ПОЧВОЗАМЕНИТЕЛЯХ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОСМИЧЕСКИМ ОРАНЖЕРЕЯМ

Кривобок Н.М., Ерохин А.Н.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Необходимость создания экипажам космонавтов в предстоящих длительных миссиях адекватных СЖО делает актуальным решение ряда технологических задач и, в частности, моделирование влагопереноса в корневых модулях космических оранжерей. Описанные в литературе исследования в этой области, проведенные на борту орбитальной станции, главным образом были связаны с проверкой применимости в невесомости простых одномерных моделей и сопоставлением экспериментальных оценок влагопереноса, полученных в искусственных почвозаменителях в невесомости, с наземным контролем. В итоге было показано, что упрощенное одномерное моделирование влагопереноса не дает удовлетворительного приближения к экспериментальным оценкам, а сами оценки, полученные в невесомости и наземном контроле, не совпадают. Проведенный нами критический анализ этих исследований выявил ряд причин подобных результатов, явившихся следствием использованных методик. Показано, что условия проведения описанных опытов и контроля не удовлетворяли ряду ограничений, необходимых для корректного сопоставления результатов, получаемых в условиях с разной силой тяжести. С другой стороны, выполнение этих ограничений обеспечивается в области низких водных потенциалов, малопригодной для выращивания растений, а также в области довольно мелких (не более 0,1 мм) частиц по сравнению с используемыми в искусственных почвозаменителях. В корневых модулях космических оранжерей указанные ограничения полностью не выполняются, т.е. корректное сопоставление опыта и контроля требует учета действия силы тяжести. Таким образом, необходимо моделирование пространственного влагопереноса с учетом реальных внешних условий. В работе для этого использована система

уравнений, состоящая из уравнения Дарси, учитывающего силу тяжести, и уравнения неразрывности воды. Численные решения системы уравнений позволили получить сравнительные оценки двумерного распределения и движения воды для условий невесомости и земной силы тяжести. Для примера в работе рассмотрена плоская ячейка с волокнистым почвозаменителем «БИОНА-В2». Показано, в частности, что время переходных процессов перераспределения воды в такой ячейке в наземных условиях меньше, чем в невесомости, если в ходе капиллярных процессов на Земле центр массы воды опускается. Показано также, что по мере уменьшения водосодержания разница переходных процессов в наземных условиях и в невесомости уменьшается, а их длительность увеличивается.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ, БЛИЗКИХ К МЕЖПЛАНЕТНОМУ ПОЛЮ, НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ И ВЕГЕТАТИВНЫЕ РЕАКЦИИ ВЫСШИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ (КРЫС)

Кривова Н.А.*, Труханов К.А., Замощина Т.А.*, Ходанович М.Ю.*

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*ОСП НИИ биологии и биофизики Томского государственного университета, г. Томск, Россия

В дальнем полете и при работе на лунных и марсианских базах человек будет длительно находиться в межпланетном поле, которое на порядки ниже привычного геомагнитного (ГМП). В докладе приводятся результаты моделирования воздействия такой окружающей среды на белых крыс-самцов. Животные пребывали 25 сут в пониженном в 700–1000 раз ГМП, что достигалось автоматической компенсацией компонентов последнего. Контроль находился в обычных условиях. Соблюдались нормы биоэтики. Обсуждаются значимые отличия при $p \leq 0,05$.

Поведенческие реакции за 2 сут до эксперимента изучались в «открытом поле» по комплексу тестов, характеризующих уровень эмоциональности, двигательную и ориентировочно-исследовательскую активность животных в условиях свободного поведения. О поведенческих реакциях в эксперименте судили по видеозаписям (ночью они велись в инфракрасном свете). Фиксировали количество перемещений «опыта» и «контроля» в клетках, количество и длительность межиндивидуальных взаимодействий (особо выделяя взаимодействия агрессивного характера) и количество встряхиваний головой (последний показатель характеризует интенсивность центральных серотонинергических процессов).

На 3–4-е сутки пребывания в установке у всех опытных крыс отмечено появление птоза, который сохранялся в течение всего времени эксперимента и 2–3 сут после его завершения. В первые 10–15 сут у опытных крыс имелись частые случаи уринации, шерсть была мокрая, грязная, висела слипшимися клочками. В дальнейшем эти явления прекратились.

До конца эксперимента в «опыте» наблюдалось большое количество межиндивидуальных взаимодействий, особенно тех, которые носили агрессивный характер. То есть так называемые иерархические отношения в опытной группе так и не были установлены. У контрольных животных подобных явлений не отмечено.

Исследовали ряд физиологических показателей. Установлены корреляционные зависимости между поведенческими реакциями и некоторыми из показателей.

Таким образом, в условиях гипомагнитного поля, близкого к межпланетному, у животных повышается возбудимость центральной нервной системы, что выражается в резком увеличении межиндивидуальных контактов неагрессивного и особо агрессивного характера. Был поставлен дополнительный эксперимент, повторяющий первые 10 сут опыта с целью проверки полученных данных и изучения физиологических закономерностей. Результаты оказались сходными.

Полученные результаты необходимо учитывать при планировании межпланетного пилотируемого полета и работ на лунных и марсианских базах. Видимо, следует предусмотреть на корабле и на базах систему искусственного ГМП и рассмотреть другие возможные меры, учитывая уже известные нежелательные биологические эффекты пребывания вне привычного магнитного поля Земли.

ВОЗМОЖНОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В СЖО ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Куденко Ю.А., Тихомиров А.А., Золотухин И.Г.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Задача утилизации отходов жизнедеятельности человека и несъедобной растительной биомассы решается с помощью минерализации их электрически активированной перекисью водорода в установке с реактором специальной конструкции. Данный оригинальный метод, разработанный в Институте биофизики СО РАН, представляется экологически чистым, так как исходный продукт – перекись водорода может быть получен из внутрисистемной воды. Кроме того, данный метод, в отличие от предшествующих аналогов, более энергоэкономичен и безопасен, так как не требует высоких давлений и температур. На протяжении ряда лет установка для окисления отходов успешно используется в лаборатории управления биосинтезом фототрофов Института биофизики СО РАН. В результате реакционного процесса получаемый раствор является основой для создания питательного раствора, используемого при выращивании растений. Такой раствор использовали как несменяемый для выращивания различных культур, биомасса которых как по величине продуктивности, так и по биохимическому составу соответствовала необходимым требованиям.

МЕТОД ОБЕССОЛИВАНИЯ КАК СПОСОБ РАЗРЕШЕНИЯ НАСЛ-ТУПИКА В СЖО «ЧЕЛОВЕК – РАСТЕНИЯ»

Куденко Ю.А., Тихомиров А.А., Золотухин И.Г.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Необходимость длительного использования несменяемого раствора в СЖО приводила к постепенному накоплению в нем NaCl, который при повышенных

концентрациях становится губительным для растений. Для снижения концентрации NaCl в питательном растворе была создана установка, обеспечивающая периодическое обессоливание такого питательного раствора в процессе выращивания растений, что фактически является аналогом метода электродиализа. Такой метод обессоливания питательного раствора был успешно апробирован при выращивании пшеницы в течение 8 вегетаций, каждая из которых продолжалась 2 мес. В течение каждой вегетации метод обессоливания использовали однократно, что позволяло снижать концентрацию NaCl вдвое. В целом на протяжении 16 мес всей серии этих экспериментов с пшеницей данный метод позволял удерживать концентрацию NaCl в питательном растворе в приемлемом для растений диапазоне. Выполненные эксперименты позволяют рассчитывать на успешное использование разработанных физико-химических методов для будущих стационарных длительно функционирующих СЖО космического назначения.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОТОКОВ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ ОТ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Кузнецов Н.В., Ныммик Р.А., Панасюк М.И.

НИИ ядерной физики им. Д.И.Скобельцына Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Наличие в космическом пространстве радиационных полей, состоящих из потоков высокоэнергичных частиц, ставит перед разработчиками межпланетных космических проектов, в том числе с участием человека, проблему оценки степени радиационной опасности для работоспособности оборудования и экипажей космических кораблей и станций. Решение этой проблемы индивидуально для каждого проекта, так как зависит от конкретных радиационных условий во время планируемого космического полета, а также от поставленных в проекте задач и инженерных способов их реализации. Для межпланетных полетов радиационные условия определяются на основе моделей двух основных радиационных полей: галактических и солнечных космических лучей (ГКЛ и СКЛ соответственно), которые устанавливают энергетические спектры потоков частиц в этих полях в зависимости от изменяющихся факторов космического пространства, в первую очередь солнечной активности.

Частицы ГКЛ присутствуют в межпланетном пространстве постоянно. Их поток меняется периодически с изменением солнечной активности (СА) и достигает максимальных величин в годы ее минимума. Динамическая модель потоков этих частиц, разработанная в НИИЯФ МГУ, которая в настоящее время является и международным стандартом, позволяет рассчитывать энергетические спектры потоков частиц ГКЛ для любых периодов СА.

Потоки частиц СКЛ появляются в межпланетном пространстве эпизодически, на время от одних суток до недели. Появление потоков СКЛ в долгосрочной перспективе имеет вероятностный характер. Продолжительное время принималось, что события СКЛ могут появиться только в течение 7-летнего периода 11-летнего

цикла СА (так называемые годы активного Солнца), а в остальные 4 года (годы спокойного Солнца) событиями СКЛ можно пренебречь. Однако в 1998–1999 гг. нами было показано, что это не так и экстремальные события, представляющие наибольшую радиационную опасность, вполне вероятны и в годы спокойного Солнца. Эти положения нашли подтверждение в 2005 и 2006 г., когда в период спокойного Солнца появилось большое количество, в том числе и экстремально больших, событий СКЛ. В настоящее время разработанная в НИИЯФ МГУ модель СКЛ, учитывающая вышеизложенные эффекты, является Государственным стандартом России.

Большинство разработанных к настоящему времени концепций межпланетных полетов разработано исходя из устаревших мнений на роль потоков СКЛ в разных периодах СА. Новые взгляды неизменно должны привести к уточнению (а если это потребуется, то и к пересмотру) этих концепций.

КОСМИЧЕСКИЕ ЭКОЛОГОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПРОБЛЕМЫ ИХ СОЗДАНИЯ

**Курмазенко Э.А., Томашпольский М.Ю., Гаврилов Л.И.,
Хабаровский Н.Н.**

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

В докладе рассмотрены проблемы создания искусственных экологических систем, предназначенных для обеспечения жизни и деятельности экипажа и других биологических объектов в условиях автономных пилотируемых полетов и/или планетных баз. Показано, что искусственная экологическая система, включающая герметичные модули космического объекта, бортовые системы, экипаж и среду обитания экипажа и биологических объектов, по сущности является экологотехнической системой (ЭТС), в которой процессы преобразования продуктов метаболизма в исходные компоненты среды обитания осуществляются в технических устройствах. Дано определение ЭТС, описаны ее свойства как сложной системы и показано, что данная концепция объединяет в единое целое системы жизнеобеспечения, основанные на физико-химических и биологических процессах.

Действующие ограничения на создание регенерационных СЖО как части ЭТС в герметичных модулях космических кораблей рассмотрены в зависимости от типа космического объекта и программы космического полета.

Приведены результаты предварительного анализа возможностей создания космических ЭТС для межпланетных кораблей и планетных баз.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА В СПУСКАЕМОМ АППАРАТЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО СПУТНИКА «БИОН-М»

Лаверов В.А., Усов В.Н.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

Предложена система регенерации воздуха, предназначенная для обеспечения кислородом, удаления диоксида углерода и газообразных микропримесей в спускаемом аппарате биологического спутника «БИОН-М» для животных.

Данная система использует универсальность надперекисных соединений как источника кислорода и поглотителя диоксида углерода. Очень важным моментом является то, что, являясь мощным окислителем, надперекисные соединения успешно удаляют практически все газовые примеси, выделяемые живыми организмами в процессе их жизнедеятельности, и патогенную микрофлору.

Система проста по конструкции, что гарантирует ее надежность. Она представляет собой реакторы с химическим продуктом и электроклапаны, работающие по определенному алгоритму. Система поддерживает оптимальный газовый состав в спускаемом аппарате вне зависимости от возможного изменения уровня газообмена в процессе полета.

Элементы системы длительное время могут находиться в «боевом» режиме и не требуют периодической проверки и перезарядки с использованием специального оборудования.

Отработка режимов работы и управления системой легко моделируется на стенде-имитаторе.

В целях оптимальной компоновки элементы системы могут быть рассредоточены в различных местах спускаемого аппарата.

В представленной работе предлагаются подходы и конструкторские решения по созданию универсальных систем регенерации воздуха.

РЕГУЛЯЦИЯ СИНТЕЗА БЕЛКОВ КРОВИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРЕБЫВАНИИ В ГЕРМООБЪЕКТЕ

Ларина О.Н., Беккер А.М.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Во время 135-суточной изоляции в гермообъекте (эксперимент HUBES) были продемонстрированы изменения состава электрофоретических фракций белков крови, которые проявились в снижении процентного содержания $\alpha 2$ -глобулинов. Такую же направленность имели изменения концентраций индивидуальных белков крови, входящих в состав $\alpha 1$ -глобулинов ($\alpha 1$ -антитрипсин) и $\alpha 2$ -глобулинов ($\alpha 2$ -макроглобулин, гаптоглобин). Снижение уровня α -глобулиновых фракций крови является признаком подавления белок-синтетических процессов в печени, являющейся продуцентом белков крови. В настоящее время неясно, какое значение обнаруженные эффекты имеют для биохимических процессов, участвующих в адаптации к длительному пребыванию в замкнутой системе, и оказывают ли они влияние на реализацию срочных адаптивных реакций в условиях изоляции и более низкого уровня физических нагрузок. Например, насколько адекватным будет развертывание приспособительных процессов, требующих интенсификации гепатического синтеза белков, и какими побочными процессами они могут сопровождаться? Одним из подходов, применимых для выяснения механизмов, контролируемых уровни белков крови в условиях гермообъема, являются определение возможных типов индивидуальных реакций белкового состава в ходе адаптации к продолжительному воздействию факторов изоляции и регенерируемой газовой

среды и анализ связей различных типов реакций с индивидуальными генетическими характеристиками. Важным аспектом данных исследований является изучение начальных этапов адаптации к воздействию факторов, изменяющих условия обитания на фоне длительного пребывания в изолированном объекте. В докладе будут обсуждаться различные варианты регуляции экспрессии белков крови в изучаемых условиях.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ ОРБИТАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Левинских М.А., Сычев В.Н., Подольский И.Г., Мухамедиева Л.Н.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Накопленный к настоящему времени опыт эксплуатации гермообитаемых объектов позволил установить, что искусственная газовая атмосфера является многокомпонентной смесью, содержащей вредные микропримеси, относящиеся к 14 классам химических соединений (Мухамедиева Л.Н., 2003). Динамика протекающих процессов зависит от продолжительности использования гермообъекта, средств жизнеобеспечения (в частности, степени замкнутости), параметров микроклимата, а также экспериментальных задач, выполняемых экипажем. Ранее показано, что состав газовой среды космической станции может существенным образом влиять на рост и развитие высших растений (Левинских М.А. и др., 2000). В частности, установлено, что основные изменения продукционных и морфометрических характеристик полетных растений суперкарликовой пшеницы были вызваны фитотоксическим воздействием этилена в атмосфере ОК «Мир» в концентрации 1,1–2 мг/м³.

В период с 2003 по апрель 2007 г. в космической оранжерее «Лада» на борту Международной космической станции (МКС-6–10, -12, -14) проведено 7 экспериментов по культивированию растений карликового гороха.

Результаты первых 5 экспериментов показали, что характеристики роста и развития растений при выращивании в космической оранжерее «Лада» не изменялись по сравнению с наземными контрольными вариантами.

При проведении экспериментов по выращиванию гороха на этапах МКС-12, -14 установлено, что общая и семенная продуктивность растений была ниже, чем в ранее проведенных экспериментах и в наземном контроле. Цитологический анализ корешков «космических» семян показал статистически достоверное повышение числа хромосомных перестроек по сравнению с лабораторным контролем, что ранее не отмечалось.

Анализ общей загрязненности атмосферы МКС различными газообразными примесями выявил значительный рост коэффициента токсичности (Кт), начиная с этапа МКС-11. По нашему мнению, основной причиной, вызывающей снижение продуктивности растений гороха при выращивании в космической оранжерее «Лада» и увеличение числа хромосомных aberrаций на этапах МКС-12, -14, является нарастание уровня концентрации поллютантов в атмосфере МКС.

К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ИСПЫТАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Лучицкая Е.С., Федорова И.Н., Баевский Р.М.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Изоляция экипажа в гермообъекте является существенным фактором стрессорного воздействия на организм человека.

Получение информации о состоянии здоровья, функциональных резервах и работоспособности человека играет важную роль в системе жизнеобеспечения как элемент обратной связи между организмом и окружающей средой. Поэтому разработка методов контроля функционального состояния испытателей в условиях длительной изоляции имеет не только научное, но и практическое значение.

В процессе подготовки к проведению длительного эксперимента «Марс-500» нами были проведены испытания ряда аппаратно-программных комплексов, в том числе приборов, используемых в настоящее время на борту Международной космической станции.

В условиях 14-суточного эксперимента в наземном экспериментальном комплексе была испытана двухуровневая система медицинских исследований, включавшая в себя: а) подсистему оперативного медицинского контроля; б) систему периодических медицинских исследований.

Для оперативного контроля функционального состояния организма был использован прибор «Сонокард», позволяющий бесконтактным методом регистрировать сердечную деятельность, дыхание и двигательную активность в течение ночи. Для периодических медицинских исследований использовался аппаратно-программный комплекс «Экосан-2007». Он представляет собой объединенную систему из трех приборов: 1) бортового прибора «Пневмокард»; 2) серийного электрокардиографического прибора «Карди-2»; 3) прибора для психофизиологического тестирования «СКУС» (система контроля уровня стресса).

Результаты проведенных исследований показали, что при оперативном контроле функционального состояния каждую ночь в течение всего 14-суточного эксперимента частота сердечных сокращений и частота дыхания после первых двух-трех ночей адаптации в течение всего остального периода изоляции устанавливались на стабильном индивидуальном уровне.

Анализ двигательной активности показал хорошее качество ночного сна у всех испытателей. По данным исследования показателей кардиореспираторной системы и результатам психофизиологического тестирования 14-суточное пребывание в изоляции не оказало значимого отрицательного влияния на функциональное состояние и работоспособность испытателей.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования описанной системы для контроля функционального состояния испытателей в 500-суточном эксперименте, моделирующем условия марсианской экспедиции.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СХЕМА БИОРЕГЕНЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ (БСЖО), ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПОЧВОПОДОБНЫЙ СУБСТРАТ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

Мануковский Н.С., Ковалев В.С., Гуревич Ю.Л.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

По мнению многих специалистов, физико-химические СЖО человека имеют приоритет на начальном этапе освоения планет Солнечной системы. Использование же систем, основанных на биологическом круговороте вещества, будет оправданно при долговременном (более 2,5–3 лет) пребывании людей на инопланетной базе.

Рассмотрена схема биорегенерации кислорода, воды и растительной пищи, предназначенная для реализации долговременно функционирующих БСЖО. Схема отличается тем, что для выращивания высших растений используют почвоподобный субстрат (ППС) из расчета 3,2 т сырой массы (78 % влажности) на одного человека.

Использование ППС позволяет совместить и упростить процессы выращивания растений и переработки несъедобной фитомассы. Готовят ППС заранее с помощью грибов (вешенок), червей и микроорганизмов. По внешнему виду и основным свойствам ППС подобен органическим почвам – гистосолям и отличается отсутствием в своем составе алюмосиликатного матрикса, а также повышенной фунгистатической активностью.

В ППС содержится 28–29 % золы. Около 20 % органического вещества ППС составляют гуминовые вещества. Тестирование субстрата в режиме многократного рецикла (возврата вещества после каждого цикла выращивания) в экспериментах, проведенных авторами, а также специализированными лабораториями Института биофизики СО РАН в составе международных исследовательских коллективов, показало, что уровень плодородия ППС сохраняется на уровне, сопоставимом с гидропонными культурами. Рецикл несъедобной биомассы осуществляют двумя способами.

Растительные остатки с невысоким содержанием лигнина (зеленые листья, ботву) непосредственно после сбора урожая заделывают (закапывают на определенную глубину) в ППС. На растительных остатках с высоким содержанием лигнина вначале выращивают съедобные грибы (вешенки), а затем остаточный субстрат вносят под растения в ППС.

Согласно разработанной схеме массообмена БСЖО пищу животного происхождения (20–30 % от общей сухой массы пищи) человек получает из запасов. Соответственно обезвоженные продукты жизнедеятельности человека (урина и фекалии), пищевые отходы и ППС выводят из круговорота веществ системы. В качестве питьевой и санитарно-бытовой воды используют транспирационную воду. Сточную воду очищают в аэротенке и затем используют для полива растений.

Предлагается модульный принцип реализации БСЖО с ППС для обитателей будущего инопланетного поселения. В связи с этим рассматривается возможная архитектура построения инопланетной базы.

АКТУАЛЬНЫЕ ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (ПОЛИМЕРНЫХ) МАТЕРИАЛОВ НА ПИЛОТИРУЕМЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ

Марданов Р.Г., Соломин Г.И., Баранцева М.Ю.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Увеличение длительности эксплуатации пилотируемых космических станций, наряду со значительным расширением научных программ и как следствие увеличением объема грузов, доставляемых на станцию, привели к возникновению определенных трудностей в прогнозировании уровня техногенного загрязнения воздушной среды ОС и ПКА. Весь спектр сильных, зачастую с резкими переходами воздействий на неметаллические конструкции и элементы конструкций оказывает существенное влияние на их структурные свойства, на надежность и долговечность космических средств различного назначения и как результат на процессы газовой выделения из них.

Скорость старения полимерных материалов зависит от чувствительности полимерной основы и добавок к ней к воздействию множества факторов, включая температуру и влажность среды, энергию неионизирующих и ионизирующих излучений, а также от механических напряжений. Чтобы достаточно точно оценить как функциональную надежность изделия, так и степень воздействия его на качество воздушной среды, нужно найти количественное выражение для последствий старения.

Это можно установить при испытании естественно состарившихся материалов с помощью традиционных способов, когда определяется отклонение их свойств от исходного состояния.

Так как эксплуатационные периоды весьма продолжительны и материал медленно меняет свои свойства, то соответствующая информация поступала бы к конструкторам и специалистам, отвечающим за качество воздуха на ОКС, слишком поздно.

Из-за этого обширное использование новых материалов отодвинулось бы на неопределенное время, за которое благодаря развитию физики и химии полимеров можно было бы создать более совершенные материалы.

Поэтому еще много лет тому назад в Институте медико-биологических проблем были опробованы экспериментальные методы ускоренного старения пластмасс, которое называют также искусственным старением, что позволило обеспечить безопасность ОС в условиях длительных эксплуатаций и длительных экспедиций посещения. В связи с дальнейшими ужесточениями требований к долговечности материалов возникает необходимость разработки принципиально новых путей стабилизации полимерных материалов и замедления их старения. Наиболее перспективный способ повышения стойкости материалов включает в себя использование нанотехнологий для создания композитных пластмасс с наноструктурированной морфологией, при этом гигиенические характеристики материалов многократно улучшаются.

РАЗРАБОТКА ПОГЛОТИТЕЛЬНОГО ПАТРОНА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА УВЕЛИЧЕННОГО ВРЕМЕНИ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ (ЛП-10М)

Матвеев С.В., Усов В.Н.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

В связи с разработкой новых скафандров «Орлан-МК», «Орлан-МКС» и изменением режимов их эксплуатации возникла необходимость замены применяемого поглотительного патрона диоксида углерода ЛП-9 на новый, обладающий большим временем защитного действия (не менее 10 ч). При этом вертикальные габариты поглотительного патрона должны были быть сохранены прежними, а также должны были остаться без изменения присоединительные размеры.

Увеличение времени защитного действия поглотительного патрона достигнуто за счет увеличения количества химического продукта, что повлекло за собой увеличение диаметра патрона по сравнению с патроном ЛП-9, а с учетом сохранения присоединительных размеров – смещение входной и выходной горловин относительно оси симметрии.

Смещение горловин повлияло на аэродинамические характеристики потока воздуха, пропускаемого через поглотительный патрон, и как следствие на поглотительные характеристики патрона. Неравномерность распределения фронта скоростей в блоках химического продукта привело к неравномерности динамики его отработки, снижению качества работы поглотительного патрона.

Для устранения вышеуказанных недостатков в конструкцию патрона были введены дополнительные элементы, позволяющие осуществить перераспределение воздушных потоков таким образом, чтобы обеспечить минимальное отклонение динамики работы химического продукта по горизонтальному сечению поглотительного патрона.

Были проведены лабораторные исследования динамики работы поглотительного патрона, а также предварительные испытания на базе ОАО «Корпорация «Росхимзащита» с имитацией всех возможных режимов работы поглотительного патрона в заданном диапазоне эксплуатационных характеристик. Полученные результаты подтвердили соответствие разработанного изделия требованиям технического задания и обеспечение требуемого времени защитного действия с достаточным запасом. Одновременно на опытном производстве ОАО «Корпорация «Росхимзащита» отработаны технологии производства поглотительного патрона ЛП-10М, изготовлена необходимая оснастка для изготовления металлических деталей и химического продукта.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ИОНИТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВОЗАМЕНИТЕЛЯ В КОСМИЧЕСКОЙ ОРАНЖЕРЕЕ

Матусевич В.В.

ГНУ «Институт физико-органической химии» НАН Беларуси

В серии экспериментов с пекинской капустой показано, что при выращивании растений на волокнистом ионитном соленасыщенном почвозаменителе (ПЗ) в ма-

лых корневых модулях космической оранжереи иногда не обеспечивается высокая продуктивность посевов вследствие замедления роста с признаками минерального голодания. Основной причиной в этом случае является неполный вынос биогенных элементов растениями из ПЗ. Опыты по выращиванию растений на ПЗ в сочетании с медленно действующими удобрениями (МДУ) «Осмокот» марки $N_{14}P_{14}K_{14}$ показали, что при соотношении масс ПЗ и МДУ от 4 до 8 продуктивность посевов не превышала 65 % и 18 % по сравнению с вариантом с заведомо достаточным содержанием элементов питания при умеренном ($250 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) и субоптимальном ($400 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) уровнях облучения соответственно. При уменьшении соотношения масс ПЗ и МДУ до 2,0–2,5 рост растений резко замедлялся, листья имели скрученную форму, бугристую поверхность и неравномерную окраску, что свидетельствовало о засолении корнеобитаемой среды при одновременном дефиците отдельных минеральных элементов. Есть основания предполагать, что в этих опытах имел место сдвиг биозон катионита и анионита в неблагоприятную для растений сторону. Опыты по выращиванию растений с поливом ПЗ моносолевыми растворами показали, что растворы KNO_3 и $Ca(NO_3)_2$ существенно стимулировали рост растений, причем интенсивность роста не зависела от катиона в составе соли, следовательно, именно азот являлся элементом минерального питания, лимитирующим рост растений. С целью повышения производительности космической оранжереи предложено использовать обогатительный патрон с корректирующим гранульным ионитом, насыщенным солями азотной кислоты, в магистрали подачи поливной воды.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧЕТА ЭФФЕКТА БОРА – ВЕРИГО НА СТЕПЕНЬ ДИССОЦИАЦИИ КИСЛОРОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УСЛОВИЙ АВИАКОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Матюшев Т.В., Степанов В.К., Дворников М.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, г.Москва, Россия

Экстремальные ситуации осложненного авиакосмического полета могут сопровождаться развитием гипоксических и гиперкапнических состояний организма человека, конкурирующий характер которых должен учитываться при разработке средств защиты и медицинских рекомендаций экипажу. Целью работы были разработка и анализ математических зависимостей переноса газов кровью и поддержание кислотно-щелочного баланса организма. За базовую модель нами были выбраны математические зависимости, представленные в работе Н.М.Амосова (Амосов Н.М., 1977) и результаты комплексного исследования по построению модели газообмена (Матюшев Т.В., 2007; 2008). Формула для определения кислородного насыщения модифицировалась введением поправочного коэффициента k_{O_2} , учитывающего влияние парциального давления O_2 :

$$S_{O_2} = \left(1 - e^{-k_{\text{Бора}} \cdot k_{O_2} \cdot P_{O_2}}\right) \cdot 100$$

где $k_{\text{Бора}}$ – коэффициент, учитывающий влияние эффекта Бора – Вериги и имеющий вид полинома: $k_{\text{Бора}} = \sum_{k=0}^m a_k \cdot p\text{H}^k$, k_{O_2} – поправочный коэффициент, определяющийся по формуле: $k_{O_2} = \sum_{k=0}^m a_k \cdot P_{O_2}^k$.

Так как конфигурация кривой диссоциации оксигемоглобина обусловлена главным образом химическими свойствами гемоглобина, существует и ряд других факторов, влияющих на сродство крови к кислороду. Как правило, все эти факторы смещают кривую диссоциации оксигемоглобина, увеличивая или уменьшая ее наклон, но не изменяя при этом ее S-образную форму. К таким факторам относятся $p\text{H}$, P_{CO_2} и некоторые другие факторы, роль которых возрастает в патологических условиях. В вычислительном эксперименте нами имитировалась зависимость формы кривой диссоциации оксигемоглобина от концентрации ионов H^+ , определяемая эффектом Бора – Вериги. При имитации снижения $p\text{H}$, сродство гемоглобина к кислороду уменьшалось, что вызывало уменьшения угла наклона кривой диссоциации оксигемоглобина и C_{O_2} . При повышении $p\text{H}$ происходил обратный процесс. Этот результат расчета соответствует реальному физико-химическому процессу, происходящему в организме.

ПРОБЛЕМА ЗАЩИТЫ ОРГАНА СЛУХА КОСМОНАВТОВ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ

Мацнев Э.И., Сигалева Е.Э.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Опыт медицинского обеспечения длительных космических полетов (КП) свидетельствует о возможности неблагоприятного воздействия шума, генерируемого вентиляторами систем жизнеобеспечения (СЖО) и другим оборудованием космического объекта на орган слуха отдельных космонавтов с индивидуальной чувствительностью к воздействию шума (Buskey et al., 2001; Мацнев Э.И., Сигалева Е.Э., 2007). Послеполетные изменения слуха у этих лиц характеризуются или временным (обратимым) сдвигом порогов слуха, свидетельствующим об «утомлении» слуховой системы, или постоянным (необратимым) повышением порогов слуха, чаще в высокочастотном (4–6 кГц) диапазоне, отражающем начальный процесс морфологических изменений в улитке (прежде всего поражение наружных волосковых клеток у основания улитки). Дальнейшее повышение порогов слуха при повторных продолжительных экспозициях шума не исключает у этих лиц возможности поражения слуха в зоне «речевого диапазона частот» и развития социально значимой потери слуха, сопряженной с нарушением разборчивости речи.

Текущий анализ состояния слуховой функции у космонавтов основных экспедиций МКС подтверждает возможность негативного влияния шума на слуховую систему отдельных космонавтов и в этой связи диктует необходимость разработки комплексной программы, направленной на разработку эффективных мероприятий

по профилактике и защите слуховой системы космонавтов от негативных эффектов шума в будущих длительных космических экспедициях. Важным элементом этой программы является использование современного комплекса новых нейробиологических технологий, всесторонне характеризующих состояние всех отделов слуховой системы, на этапе медицинского отбора и подготовки космонавта к полету. Эти исследования обеспечивают возможность более эффективного выявления кандидатов с индивидуальной чувствительностью к воздействию шума и прогнозирования переносимости длительной экспозиции шума в космическом полете. К числу этих методов следует отнести: исследование слуховой чувствительности в расширенном диапазоне частот (до 16 кГц включительно), различных классов отоакустической эмиссии, характеризующих функциональное состояние наружных волосковых клеток улитки, акустических стволомозговых вызванных потенциалов, объективно отражающих состояние всех звеньев слуховой системы, электрокохлеографию, позволяющую составить представление о функциональном состоянии слухового рецептора и слухового нерва.

Необходима разработка новых и совершенствование существующих средств индивидуальной защиты органа слуха космонавтов в полете, включая возможность использования антифонов с активным шумоподавлением. Представляется перспективным использование некоторых фармакологических средств, обеспечивающих улучшение микроциркуляции внутреннего уха, стимуляцию процессов нейротрансмиссии в слуховой системе, средств, повышающих резистентность волосковых клеток улитки к воздействию шума, и др. К числу перспективных физических средств отолотоксии следует отнести использование ингаляции аргоно-кислородной газовой смеси, обладающей выраженным антигипоксическим и нейротропным эффектом при экспозиции шума у человека (Мацнев Э.И., Сигалева Е.Э., 2006).

Проблема отолотоксии неразрывно связана с вопросами нормирования уровня шума на борту космического объекта, экстрааурального влияния шума на организм космонавтов (на работоспособность, качество сна, состояния вегетативной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и др.).

ПЕРСПЕКТИВНАЯ МЕТОДИКА ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ МОДУЛЕЙ МКС ПРОИЗВОДНЫМИ ГИДРАЗИНА

**Микос К.Н., Мухамедиева Л.Н., Пахомова А.А., Буряк А.К.*,
Ульянов А.В.*, Сердюк Т.М.***

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина РАН, Москва, Россия

Увеличение длительности космических полетов и расширение сферы деятельности космонавтов при увеличении объема работ на внешней поверхности Международной космической станции (МКС) способствует заносу со скафандрами в МКС 1,2-диметилгидразина (1,2-ДМГ), продуктов его неполного сгорания и загрязнению воздушной среды модулей МКС этими высокотоксичными веществами.

В связи с этим возникает необходимость контроля за содержанием этих веществ в воздухе МКС и определения требований к системам очистки атмосферы станции (СОЖ) для удаления 1,2-ДМГ и продуктов его трансформации.

Для отбора проб на анализ существует проблема извлечения 1,2-ДМГ и продуктов его трансформации из воздуха, которая связана с их высокой реакционной способностью и невозможностью использования для их улавливания многих традиционных сорбентов. Поэтому лучшим способом извлечения из воздуха примесей этих веществ является хемосорбция, которая позволяет перевести эти активные высокотоксичные вещества в стабильные нетоксичные соединения и обеспечить в этом состоянии их длительную сохранность.

Учитывая, что «связывание» 1,2-ДМГ и продуктов его трансформации должно протекать одновременно с отбором пробы, в процессе отработки метода использовано сочетание методов взятия пробы на сорбент с одновременным «связыванием» отбираемых веществ «фосфатным буфером», нанесенным на поверхность сорбента. Для отбора пробы 1,2-ДМГ из воздушной среды шлюзового отсека МКС полагается использовать пробозаборник, заполненный силикагелем СХ-1, который пропитан «фосфатным буфером». После возвращения на Землю пробозаборника проводится экстракция ацетоном сорбированных на силикагеле веществ, их концентрирование и хроматомасс-спектрометрический (ХМС) анализ ацетонового концентрата. Информативность метода ХМС позволяет надежно разделить, провести идентификацию обнаруженных соединений при помощи программы библиотечного поиска и количественно определить 1,2-ДМГ и продукты его трансформации в доставленных с МКС пробах.

Разработанный метод отбора и анализа проб адаптирован к условиям МКС.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМОНАВТОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ В БЛИЖАЙШЕМ БУДУЩЕМ

Морозов Г.И., Малоземов В.В.

Московский авиационный институт (ГТУ), Москва, Россия

1. В современный период развития пилотируемой космонавтики большое внимание уделяется проектам экспедиции на Марс и долговременного изучения Луны с участием специалистов. Реализация этих проектов возможна только с использованием систем жизнеобеспечения, способных надежно функционировать в отрыве от земных ресурсов в течение 2–3 лет. В настоящее время таких систем в промышленном исполнении ни в России, ни в других странах нет. Для создания необходимых систем должен быть решен ряд проблем.

2. В числе наиболее острых можно выделить следующие группы проблем:

- организационные;
- научные (медико-биологические, экологические, технические и др.);
- технологические;
- производственные.

Наиболее важны организационные проблемы ввиду ликвидации прежних форм организации работ и крайне медленного развития новых форм.

3. Среди научно-технических проблем следует отметить замедление исследований эффективных вариантов комплексов систем жизнеобеспечения (КСЖО) с учетом новых материалов и технологических процессов. Без обоснованного выбора наиболее эффективного варианта КСЖО и для марсианской экспедиции, и для долговременной лунной базы крайне сложно обеспечить надежность и безопасность обоих проектов.

4. Другое направление научно-технических исследований связано с переходом на новые материалы и конструктивные решения, позволяющие при создании физико-химических систем круговорота кислорода и воды существенно снизить объем и энергопотребление конструкций и повысить их надежность. Важную роль в намечаемых проектах играют вопросы создания надежных и продуктивных космических оранжерей, использование которых очевидно, а опыт штатного использования в космическом полете отсутствует.

5. Среди производственных проблем выделяется необходимость радикального обновления испытательной базы и необходимость подготовки качественно новых кадров. Действующий в настоящее время контингент специалистов, по-видимому, не сможет принять участия в осуществлении долговременных проектов, а подготовка более молодых кадров ведется без учета этих проектов.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ ЧЕЛОВЕКА.

Морозов Г.И., Малоземов В.В.

Московский авиационный институт (ГТУ), Москва, Россия

В последние годы резко снизился объем работ по проблемам создания биотехнических систем жизнеобеспечения (БТСЖО), хотя перспективность этих систем не вызывает сомнений. Целесообразно сохранение весьма значительного объема научных данных в этой области, накопленных отечественной наукой, и развитие его новым поколением специалистов. Очевидна возможность использования отдельных элементов БТСЖО уже сейчас в качестве экспериментальных установок и дополнительных компонентов штатных физико-химических СЖО. Это можно осуществить в ближайшее время на МКС. В будущем возможно включение отдельных биотехнических элементов в комплексы систем жизнеобеспечения для марсианской экспедиции и долговременной лунной базы.

Для успешного продолжения работ в этом направлении целесообразно обратить внимание на формирование коллективов, специализирующихся на решении технических задач создания элементов БТСЖО и на связи биотехнических элементов с физико-химическими СЖО.

Среди имеющихся проблем можно отметить решение технических задач оптимального конструирования биотехнических элементов с учетом их связей с растительными и животными объектами.

Важны также вопросы создания экспериментальной и испытательной баз для отработки биотехнических элементов с учетом современных успехов в создании новых материалов, технологий и конструкций.

Ряд найденных решений можно проверить в наземных испытаниях, а наиболее удачные – испытать в космосе. Для этого полезно использовать возможности МКС. Там могут быть испытаны элементы космической оранжереи – ячейки вегетативного блока, блок энергообеспечения, проверены возможности использования солнечного света.

На МКС может быть дана оценка выполнения биотехническими элементами основных функций (получение свежей растительной пищи, питьевой воды из транспирационной влаги, выделяемой листьями растений).

Целесообразны также испытания блока подготовки растений к кулинарной обработке после сбора урожая и агрегата приготовления блюд.

В дальнейшем можно приступить к наземной отработке и космическим испытаниям элементов подсистемы высших животных (инкубатора яиц, блоков для содержания птиц и цыплят), блоков механической и микробиологической обработки ботвы и корней растений.

ТОЛЕРАНТНОСТЬ РАСТЕНИЙ ЧУФЫ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БСЖО

Моторин Н.В., Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Величко В.В.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Растения чумы (*Cyperus esculentus L.*) как источник растительных жиров в диете человека впервые, по предложению Г.М.Лисовского, были успешно использованы в биорегенеративной системе жизнеобеспечения (БСЖО) в Институте биофизики СО РАН. Однако для повышения степени замкнутости массообменных процессов в БСЖО необходимо изучить толерантность этой культуры к внешним факторам среды. В связи с этим дана оценка реакции чумы на изменение интенсивности света, концентрации атмосферной CO_2 и засоления субстрата. Рассматриваются альтернативные возможности использования нейтрального и почвоподобного субстратов для выращивания чумы при различных напряженностях светового фактора. Установлено резкое ингибирование фотосинтетической продуктивности чумы при концентрации NaCl 10 г/л и более, в то время как при более низких концентрациях NaCl такого резкого ингибирования не отмечалось. Обсуждаются особенности действия различных концентраций CO_2 в диапазоне от 0,03 до 0,9 % на фотосинтетическую продуктивность чумы. На основании полученных количественных характеристик реакции чумы к воздействию исследуемых факторов среды предлагаются режимы культивирования данного вида растений, способствующие повышению замкнутости массообменных процессов в биорегенеративной СЖО.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В СИСТЕМАХ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЕТОВ

**Назаров Н.М., Малых Е.Ю., Короткова Т.П., Григорьева Е.С.,
Доронина Н.В.*, Троценко Ю.А.***

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К.Скрябина РАН, г. Пущино, Россия

Существующая в настоящее время на обитаемых космических станциях очистка регенерированной воды из водосодержащих отходов от вредных примесей осуществляется с использованием физико-химических методов. Однако некоторые примеси этими методами удаляются не полностью, как, например, спирты, метан, мочевины, этиленгликоль и др.

Длительные космические экспедиции будут существенно отличаться от всех предшествующих пилотируемых полетов, поэтому и подходы к организации жизни и деятельности экипажа марсианской экспедиции во многом будут иными. Нужны новые подходы, новый взгляд на проблему (Григорьев А.И., 2002). К их числу следует отнести биологическую технологию, основанную на использовании иммобилизованных микроорганизмов, осуществляющую глубокую деградацию вредных органических примесей до конечных продуктов в обычных условиях, не требующих энерготрат.

Проведены исследования по глубокой доочистке от мочевины дистиллята, полученного из урины. Для этого использовали фермент – уреазу, иммобилизованную на аминоксилохроме. Разработана технология глубокой доочистки регенерированной воды от перекиси водорода ферментом каталазой, иммобилизованной на триацетатцеллюлозе.

Для доочистки воды от первичных спиртов разработан метод иммобилизации микроорганизмов на твердом волокнистом носителе, сформированном из раствора триацетатцеллюлозы. Разработан метод иммобилизации микроорганизмов-деструкторов летучих углеводородов, произведена оценка их каталитической активности. Разработаны методические приемы иммобилизации на твердом носителе микроорганизмов, утилизирующих этиленгликоль.

В связи с тем, что ферменты микроорганизмов специфичны в отношении субстрата, была сформирована ассоциативная культура, состоящая из 3 штаммов и иммобилизованная на твердом носителе – пенополивинилформале. Таким образом, полученный биокатализатор при оптимальных условиях (температура – 20–30 °С и рН – 6,5–8,5 ед.) способен в аэробных условиях трансформировать до конечных простых веществ аммиак в концентрациях до 200, этанол – до 200, ацетон – до 250, этилацетат – до 300, уксусную кислоту – до 150, метиламин – до 90 мг/л.

Важную роль в реализации иммобилизованных микроорганизмов играет аппаратное оформление процессов, т. е. выбор и разработка конструкций биореакторов применительно к условиям длительных космических полетов.

ЙОДСОДЕРЖАЩИЙ КОНСЕРВАНТ МОЧИ И КАЧЕСТВО РЕГЕНЕРИРОВАННОЙ ИЗ НЕЕ ВОДЫ

Назаров Н.М., Малых Е.Ю., Короткова Т.П., Григорьева Е.С.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Важнейшим условием реализации межпланетных полетов является создание автономных систем жизнеобеспечения, и в первую очередь регенерационных, с замкнутыми циклами по воде и кислороду (Григорьев А.И., 2005). Расчеты показывают, что реализация полета на Марс с запасами воды на длительное время экспедиции невозможна из-за ограничения стартового веса корабля. Источниками воды, подлежащей регенерации в условиях длительного полета, могут быть различные влагосодержащие продукты жизнедеятельности человека, среди которых моча по химическому составу является одним из самых «загрязненных». Сложный химический состав мочи служит благоприятной питательной средой для многих видов микроорганизмов, трансформирующих ее органические компоненты в трудноудаляемые легколетучие токсические соединения, загрязняющие получаемый конденсат.

Высокие адаптационные возможности микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды обитания приводят к необходимости расширения числа используемых консервантов при длительных межпланетных полетах.

Разработана йодсодержащая рецептура консерванта мочи на основе кристаллического йода в водном растворе йодистого калия с серной кислотой. При действующей концентрации свободного йода 0,12 % и серной кислоты 0,2 % рецептура обладает бактерицидными свойствами, а при 0,25 % – спороцидными и фунгицидными.

Регенерацию воды из мочи осуществляли на лабораторной установке методом низкотемпературного испарения с зеркальной поверхности в потоке воздуха при температуре +50 °С.

В связи с кислой реакцией консервированной мочи имеет место гидролиз мочевины с образованием аммиака. Важно было определить оптимальную температуру мочи, при которой рост аммиака минимален. Выяснили, что йодсодержащий консервант значительно улучшает качество получаемого конденсата при низкотемпературном испарении мочи не выше +50 °С, как по химическим, так и по санитарным показателям, обусловленным летучестью йода. Йод же устраняется из конденсата при дальнейшей его очистке на ионообменной смоле и активированном угле.

Показатели качества конденсата оценивали по данным нормирования регенерированной воды в стандартах СССР, США, используя традиционные микробиологические методы исследования.

Таким образом, при регенерации воды из мочи следует учитывать соблюдение температурного режима процесса, влияющего на рост новообразованного аммиака за счет химического гидролиза азотсодержащих веществ.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УДАРНЫХ ПЕРЕГРУЗОК НА СОСТОЯНИЕ ПОЗВОНОЧНОГО СТОЛБА И ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНОЙ МУСКУЛАТУРЫ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Никифоров Д.А., Моруков И.Б., Морозов А.М.

Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия

При эксплуатации космических летательных аппаратов могут возникать нештатные ситуации, сопровождающиеся воздействием на членов экипажа значительных ударных перегрузок (на этапе посадки, при аварийном покидании корабля и др.). В ряде случаев члены экипажа после воздействия на них ударных перегрузок должны выполнять свою профессиональную деятельность. В этой ситуации возникновение даже незначительных функциональных нарушений, в том числе со стороны позвоночного столба, может значительно ограничить работоспособность.

Это делает актуальным разработку средств защиты от воздействия ударных перегрузок, способных минимизировать даже такие функциональные изменения. В свою очередь, для оценки эффективности предполагаемых средств защиты необходимо использовать объективные методы диагностики данных функциональных нарушений. На сегодняшний момент таких методов не много.

В связи с этим целью наших исследований являлось определение возможности использования метода тепловизионной диагностики для оценки влияния ударной перегрузки направления «голова – таз» на состояние позвоночного столба.

Ударная перегрузка создавалась путем сброса перспективного образца военной техники с размещенными в нем испытателями с заданной высоты на воздушные амортизаторы.

Для обследования использовался отечественный портативный компьютерный термограф «ИРТИС-2000МЕ». Посредством качественного и количественного анализа термограмм области спины, выполненных до и после проведения эксперимента, оценивали симметричность распределения температур относительно средней линии; наличие зон патологической гипо- и гипертермии; изменения значений температур в области позвоночника и паравертебральной мускулатуры после эксперимента по сравнению с фоном. Данные термографического обследования испытателей сравнивались с результатами других методов исследований позвоночного столба (анкетирование испытателей, мануальное обследование и др.).

Проведенное исследование показало, что инфракрасная термография позволяет объективно качественно и количественно оценить выраженность морфофункциональных изменений позвоночного столба испытателей, подвергшихся воздействию ударной перегрузки. Использование инфракрасной термографии непосредственно на копровых испытаниях, а также возможность быстрого анализа полученных термограмм свидетельствует о возможности ее применения в качестве метода экспресс-оценки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПО ЗАЩИТЕ СРЕДЫ ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ ОТ МИКРОБНОЙ КОНТАМИНАЦИИ НА ЭТАПАХ ПРЕДСТАРТОВЫХ РАБОТ

Новикова Н.Д., Поддубко С.В., Сыченикова В.А., Зарубина К.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

К настоящему времени в среде обитания Международной космической станции (МКС) удалось обнаружить более 30 видов бактерий и микроскопических грибов. В различных зонах интерьера и оборудования МКС отмечалось формирование резервуаров накопления и развития микрофлоры, в том числе потенциально патогенных для человека микробов и микроорганизмов – биодеструкторов. Среди микроорганизмов, обнаруженных в среде обитания МКС, наряду с представителями аутомикрофлоры членов экипажей, выявлено значительное число видов, источниками которых не могли являться космонавты, например, микромицеты.

По-видимому, мощным фактором биоконтаминации станции в ходе ее строительства и эксплуатации могут являться грузопотоки при недостаточной эффективности мероприятий по обеспечению биологической чистоты доставляемых приборов, оснащения, оборудования, расходуемых материалов и т.п.

Поэтому необходимо разрабатывать дополнительные методы и средства дезинфекции грузов на этапах предстартовых работ. Целью работы являлась оценка применения основных средств физической дезинфекции для снижения микробной контаминации грузов.

Критериями оценки данных средств являлись: высокая эффективность метода, безопасность для здоровья персонала, отсутствие нагрева поверхности выше допустимого предела, возможность использования в больших помещениях при минимальной трудоемкости и нагрузках, сравнительно низкая стоимость оборудования.

В целях совершенствования методов и средств обеспечения биологической чистоты модулей, транспортных кораблей и грузов на этапах проведения предстартовых работ нами впервые была изучена принципиальная возможность применения комбинированного воздействия импульсного ультрафиолетового излучения (УФИ) и перекиси водорода в целях дезинфекции и стерилизации. Испытания установки на основе комбинированного воздействия УФ-излучения и перекиси водорода для стерилизации и дезинфекции изделий показали ее эффективность в отношении различных представителей бактерий и микромицетов. На исследуемых материалах было отмечено значительное снижение количественного содержания микроорганизмов, вплоть до полной их гибели.

Наиболее эффективным временем воздействия являлась длительность обработки – 15 и 30 мин.

Таким образом, полученные данные убедительно свидетельствуют о высокой эффективности данных установок и позволяют сделать вывод о перспективности их применения для обеспечения биологической чистоты модулей, транспортных кораблей и грузов на этапах проведения предстартовых работ.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ВЫХОДНОГО СКАФАНДРА В АСПЕКТЕ ОПЕРАТИВНОГО МЕДИЦИНСКОГО КОНТРОЛЯ

Осипов Ю.Ю., Филипенков С.Н., Катунцев В.П.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Измерительный комплекс (ИК) скафандра «Орлан-М», используемый в настоящее время на Международной космической станции (МКС), позволяет контролировать 27 параметров, 3 из которых непосредственно связаны физиологическими функциями: электрокардиограмма, пневмограмма и температура тела (ТТ). Основная масса параметров позволяет контролировать работу систем скафандра, а также его микроклимат. К параметрам микроклимата можно отнести: давление газовой атмосферы, концентрацию углекислого газа (КУГ), скорость вентиляции скафандра, температуру жидкости на входе в костюм водяного охлаждения (КВО). Кроме того, ИК скафандра позволяет регистрировать разность КУГ на входе/выходе поглотительного патрона и разность температур на входе/выходе КВО. Разность КУГ в сочетании со скоростью вентиляции является основой для расчета энерготрат (ЭТ) и соответственно тепачлопродукции (ТП) в организме космонавта в реальном масштабе времени. По разности температуры на входе/выходе КВО с учетом паспортных данных о скорости циркуляции жидкости и перспираторных потерь рассчитывается интенсивность теплосъема (ТС) с тела космонавта. Таким образом, врач оказывается обеспеченным on-line информацией, позволяющей контролировать уровень физической нагрузки, адекватность регулировки ТС и тем самым прогнозировать тепловое состояние космонавта во время внекорабельной деятельности (ВКД). Соотношение величины ЭТ с текущими значениями частоты сердечных сокращений (по ЭКГ) и данными телеметрии о ТТ может использоваться для оценки психоэмоционального состояния космонавта.

Практика обеспечения ВКД на МКС и ОС «Мир» показывает, что изменение пределов измерения ряда параметров, в первую очередь разностей КУГ на входе/выходе поглотительного патрона и температуры на входе/выходе КВО, позволит повысить точность соответствующих расчетов, которые могут быть использованы в алгоритмах автоматизации работы систем перспективного скафандра.

ОБОСНОВАНИЕ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СОЖ ПО ОЧИСТКЕ ОТ ПОЛИМЕТИЛСИЛАКСАНОВ

Пахомова А.А., Аксель-Рубинштейн В.З.*, Никитин Е.И.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Государственное унитарное предприятие научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины, г. Санкт-Петербург, Россия

Летучие выделения кремнийорганических жидкостей – полиметилсилоксаны контролировались в воздушной среде орбитальной станции «Мир», модулей МКС, а также в кабине транспортного корабля STS. Полиметилсилоксаны (ПМС) были представлены в основном тремя соединениями циклического и линейного строения.

При этом концентрации ПМС в воздушной среде МКС превышали ПДК_{ПКА} и были того же порядка, что и на ОС «Мир». Таким образом, повышенную загрязненность воздушной среды ОС «Мир» не удалось устранить в процессе эксплуатации МКС. В общем виде источником загрязнения воздуха интересующими нас соединениями являются полиметилсилоксановые жидкости различных марок и электронные платы с силоксановым покрытием. Их основу составляют ПМС (или олигометилсилоксаны) линейного строения с различной молекулярной массой, от которой зависит консистенция соответствующего сорта жидкости. Молекула жидкости ПМС-1,5 (вязкость 1,5 сСт), применяющейся в заборной системе, содержит в цепи 5 атомов кремния (формула M_2D_2).

У более вязких рецептур увеличивается длина цепи, например, до 200 атомов кремния для жидкости ПМС-1000. Однако в воздушной среде ОС «Мир» и МКС обнаружены не основные компоненты ПМС, а вещества, имеющие циклическое строение, – D_3 , D_4 , D_5 и D_6 . Полиметилсилоксаны D_3 и D_4 являются промежуточными продуктами синтеза жидкостей ПМС, кроме того, вещества D_3 – D_6 и M_2D_4 образуются в результате термической и термоокислительной деструкции ПМС в технологическом процессе ее эксплуатации. Отсюда следует, что загрязнение воздушной среды обусловлено не основными компонентами жидкости, а небольшим количеством примесей полиметилсилоксанов, главным образом циклического строения. Следовало ожидать, что по мере выведения примесей из жидкой фазы и поглощения угольными фильтрами уровень полиметилсилоксанов в воздушной среде должен был постепенно снижаться.

Однако результаты мониторинга химического состава примесей показали, что полиметилсилоксаны постоянно присутствуют в воздушной среде МКС. Из этого следует недостаточность эффективности системы очистки воздуха по парам полиметилсилоксанов, что могло быть обусловлено эффектом молекулярно-ситового действия угля типа ПАУ по отношению к крупным молекулам циклического строения. В вопросе совершенствования СЖО на МКС, а также в плане длительных автономных межпланетных полетов перспективными являются разработка и создание систем эффективных для очистки воздушной среды от полиметилсилоксанов.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА БОРТУ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Петров В.М.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В связи с широкими возможностями, связанными с использованием источников ионизирующих излучений (ИИИ) при решении технических проблем и проведении научных исследований, возрастает количество работ на борту орбитальной станции, в которых ИИИ входят в состав аппаратуры или материалов, участвующих в экспериментах. Вместе с тем специфика систем обеспечения жизнедеятельности (ограниченный замкнутый объем, невозможность проведения полной дезактивации поверхностей в случае их загрязнения, попадание аэрозольных ИИИ в орга-

низм космонавтов и т.д.) пилотируемых космических аппаратов (КА) требуют достаточно жесткого ограничения вероятности радиационного загрязнения среды обитания при использовании ИИИ для выполнения вышеназванных работ. При этом необходимо учитывать как внешнее облучение, так и потенциальную опасность от внутреннего облучения, возникающую в случае попадания радиоактивных веществ в атмосферу КА. Для регулирования радиационной опасности при таких событиях были разработаны «Временные требования по радиационной безопасности при использовании радионуклидов в медико-биологических исследованиях на борту орбитальных пилотируемых КА», учитывающие характер и масштаб радиационного воздействия ИИИ как при штатном использовании их во время полета, так и при возникновении возможных аварийных ситуаций с попаданием радионуклидов в атмосферу КА.

В докладе приводятся основные пути реализации радиационного воздействия на организм членов экипажа, рассматриваются возможности ограничения доз, обусловленных внешним и внутренним облучением, и мероприятия, направленные на соблюдение норм радиационной безопасности при пилотируемых полетах. При этом для ограничения внутреннего облучения используются регламентированные в «наземных» нормах радиационной безопасности предельно допустимые концентрации изотопов в воздухе. Пути попадания ИИИ в организм по пищевой и водной цепочкам не учитываются ввиду возможности достаточно жесткого контроля таких поступлений и ограничения их на приемлемом уровне. Приводятся соотношения и указания, позволяющие провести численные оценки возможной опасности от ИИИ при их попадании в объем КА, а также рекомендации по мероприятиям, позволяющим ограничить потенциальную радиационную опасность до приемлемых значений.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОПЕРАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКИПАЖЕЙ ДАЛЬНИХ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ

Петров В.М., Бенгин В.В., Коломенский А.В., Шафиркин А.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

При осуществлении дальних космических полетов (полеты на Луну, межпланетные экспедиции) существенно возрастает опасность облучения экипажа космической радиацией. Это обусловлено в первую очередь отсутствием защитного эффекта геомагнитного поля, а также невозможностью прервать полет в случае значительного ухудшения радиационной обстановки или неадекватной оценки радиационной опасности наземными службами или экипажем. Специфика медико-биологической поддержки таких полетов требует перенесения анализа текущей ситуации и выработки защитных мероприятий в значительной мере на борт космического аппарата, т.е. создания автоматизированных бортовых комплексов, осуществляющих непосредственно на борту обработку и анализ результатов текущего мониторинга обстановки, включая радиационный фактор. Для реализации такого подхода к созданию и использованию автоматизированных бортовых сис-

тем обеспечения радиационной безопасности экипажа необходимо сформировать основные принципы анализа и оценки радиационной обстановки и выработки оптимальных решений и рекомендаций. Ключевым звеном в разработке таких систем является совокупность нормативов и критериев, разграничивающих разнообразные ситуации в полете на категории, соответствующие различным уровням радиационной опасности и позволяющие количественно выразить степень этой опасности и характер ее изменения при проведении различных защитных мероприятий. Базовыми понятиями при этом являются радиационная ситуация и норматив радиационной безопасности, определяемый на основе регламентации радиационного риска и радиационного ущерба.

В докладе предлагается система таких показателей, выраженных в виде различных дозиметрических функционалов и их количественных значений, методов использования их для анализа радиационной опасности, учитывающих стохастический характер радиационной обстановки в космическом пространстве, и структура системы радиационной безопасности, функционирующей на основе использования предложенных величин и методов.

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДАЛЬНИХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

**Петров В.М., Бенгин В.В., Шуршаков В.А., Волков А.Н.*,
Лягушин В.И.*, Николаев И.В.*, Росляков Ю.Б.*, Панасюк М.И.**,
Нечаев О.Ю.****

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*РКК «ЭНЕРГИЯ» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

**НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Во время пилотируемой экспедиции в дальнем космическом полете значение радиационного фактора значительно возрастает. Это связано с отсутствием защитного эффекта геомагнитного поля, возможностью использования ядерной энергии в системах космического корабля и на поверхности других небесных тел, а также продолжительностью экспедиции, во время которой практически невозможно исключить облучение членов экипажа. В этих условиях система радиационного мониторинга (СРМ) будет играть особую роль как источник данных об индивидуальных дозах облучения членов экипажа, прогноза радиационной обстановки вне и внутри пилотируемых космических аппаратов, включая поверхность планеты, и информации о состоянии ядерных энергетических или двигательных установок.

Особенностью СРМ является требование ее автономного функционирования, автоматизированный анализ результатов измерения, направленный на оптимизацию мероприятий по соблюдению требований радиационной безопасности членов экипажа, и необходимость участия в этом анализе экипажа, работающего в режиме интерактивного взаимодействия с СРМ. Значительную роль при создании такой системы, включая обоснование ее состава и структуры, будут играть такие

факторы полета, как сценарий экспедиции, защитные характеристики космических аппаратов, возможные возмущения радиационной обстановки во время проведения экспедиции.

Прообразом такой системы можно считать систему радиационного контроля (СРК) РС МКС.

В настоящее время в процессе функционирования МКС идет экспериментальная отработка указанной системы. В докладе приводятся ее краткое описание, основные эксплуатационные характеристики, а также рассмотрен ряд примеров ее функционирования при нормальной и возмущенной радиационной обстановке. Сформулированы рекомендации по дальнейшим исследованиям разработки СРК такого класса.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИФфуЗИИ КИСЛОРОДА В СУБСТРАТАХ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Подольский И.Г., Стругов О.М., Бингхем Г.Е.*, Сычев В.Н.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

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

Для нормального роста и развития растениям требуется соответствующее обеспечение водой и кислородом, а также удаление углекислого газа из корневых тканей. Сильное влияние на ход поглощения растением питательных веществ из корнеобитаемой среды (КС) оказывают корневые выделения. Углекислота значительно повышает растворяющее действие воды в КС, увеличивает доступность для растения поглощенных КС ионов. Накопление в КС углекислого газа приводит к образованию угольной кислоты, что приводит к снижению усвоения растениями минеральных элементов. В условиях Земли происходит гравитационный дренаж КС, и, таким образом, газ проникает в субстраты. В условиях космического полета необходимо позаботиться о том, чтобы предупредить переувлажнение и обеспечить надлежащую диффузию воздуха. Для изучения процессов диффузии кислорода в субстратах в условиях космического полета разработан модуль исследования субстратов (МИС).

МИС предназначен для обеспечения экспериментов в составе оранжереи «Лада», во время космического полета на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС). МИС позволяет проводить измерение и регистрацию параметров диффузии кислорода в субстратах при разных уровнях влажности. Модуль имеет 9 диффузионных ячеек, заправленных 3 видами субстратов. МИС, по команде от блока управления (БУ) оранжереи «Лада», обеспечивает программно-автоматическое увлажнение и осушку субстратов в диффузионных ячейках с помощью насоса. МИС, совместно с БУ, производит измерение объема воды, поданной в диффузионную ячейку. МИС, совместно с БУ, измеряет влагосодержание и температуру субстратов в диффузионной ячейке. МИС, совместно с БУ, обеспечивает измерение давления воды в тензиометре и в трубопроводе для диффузионной ячейки. МИС, по команде от БУ, производит программно-автоматическую продувку газовых камер диффузионных ячеек азотом и окру-

жающим воздухом. Подача азота в модуль осуществляется от блока контроля газоанализаторов. МИС, совместно с БУ, обеспечивает измерение парциального давления кислорода и измерение давления газа в газовых камерах диффузионной ячейки. Летно-космические испытания показали, что МИС оранжереи «Лада» способен обеспечить проведение экспериментов в составе оранжереи «Лада», направленных на изучение процессов диффузии кислорода в субстратах.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ИСПЫТАНИЕ НОВЫХ УФ-ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА И ПОВЕРХНОСТЕЙ

Поликарпов Н.А., Новикова Н.Д., Дешева Е.А., Гольдштейн Я.А.*, Шашковский С.Г.*

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Научно-производственное предприятие «Мелитта», Москва, Россия

От эффективности обеспечения санитарно-микробиологического состояния среды обитания космических станций в условиях длительных экспедиций во многом зависит состояние здоровья космонавтов и надежность работы космической техники. В настоящее время микрофлора Международной космической станции представлена десятками видов микроорганизмов, среди которых обнаружены как условно-патогенные бактерии – *Staphylococcus aureus*, *S. capitis*, *S. haemolyticus*, *Serratia marcescens*, *Streptococcus* spp., так и потенциальные биодеструкторы конструкционных материалов – *Bacillus polymyxa*, *B. subtilis*, *B. pumilus*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*.

Очевидно, что в условиях длительно действующих обитаемых космических станций допустимо использование только экологически безопасных и совместимых с системами жизнеобеспечения методов обеззараживания воздуха и поверхностей интерьера. В модельных гермокамерах проведен цикл экспериментальных исследований по сравнительной оценке эффективности обеззараживания воздуха и поверхностей от наиболее устойчивых форм микроорганизмов (бактерий и грибов, находящихся в споровой форме) с помощью обычных и импульсных ксеноновых УФ-источников.

В частности, было показано, что спороцидная эффективность обеззараживания воздуха импульсным рециркулятором при бактерицидных дозах 380 Дж/м³ на выходе устройства составляла 95 %, а ультрафиолетовый рециркулятор на основе амальгамных ртутных ламп при объемных бактерицидных дозах 900 Дж/м³ обеспечивал на выходе снижение концентрации спор только на 20 %.

Показано, что наиболее перспективными и экологически безопасными для обеззараживания воздуха в помещениях с искусственно создаваемой средой обитания являются импульсные, ксеноновые ультрафиолетовые источники излучения.

СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ КИСЛОРОДА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА МКС И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Прошкин В.Ю., Курмазенко Э.А., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Павлова Н.В., Телегин А.А.*, Рябкин А.М.*, Кирюшин О.В.*, Любимов Г.А.*

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

*РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

Система генерации кислорода (СГК) «Электрон-ВМ» на основе электролиза воды со щелочным электролитом (25 %-ный раствор КОН, циркуляция через катодную и анодную полости электролизера) является основным источником кислорода на борту Международной космической станции с момента ее создания и обеспечивает потребность в кислороде экипажа до 6 человек.

К настоящему времени:

– суммарная наработка составляет 1795 сут, с максимальной наработкой БЖ 456 сут (до отказа) и БССК 959 сут (без возникновения отказа);

– переработано 4706 л воды, получено 2863 м³ кислорода (на 4772 человеко-сут) и 5726 м³ водорода;

– использовано блоков (с учетом ныне работающих): БЖ – 7 штук, БССК – 2 штуки, КСК – 2 штуки; общая масса блоков составляет 1130 кг (0,237 кг общей массы блоков на обеспечение кислородом одного человека в сутки);

– средняя потребляемая мощность 8 Вт на получение 1 л кислорода в час.

Для космических станций в мире разработаны экспериментальные образцы СГК на основе электролиза воды, альтернативные системе «Электрон-ВМ»:

1. СГК с твердым полимерным электролитом (США (на стадии летных испытаний на МКС) и Россия (несколько проектов разных фирм).

2. СГК со статической щелочной матрицей (ЕКА, Европа).

3. Электролиз урины (Россия, НИИхиммаш).

4. Электролиз водяного пара, совместный с реактором Сабатье (Япония).

Главным направлением развития СГК для длительных автономных полетов является обеспечение ресурса системы не менее 2–3 лет при приемлемых массово-энергетических характеристиках и интеграция СГК в комплексе регенерационных систем жизнеобеспечения с максимальной степенью замкнутости.

РЕГЕНЕРИРУЕМЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬНЫЙ ПАТРОН ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА И ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ СКАФАНДРОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Путин С.Б., Шубина В.Н., Симаненков С.И., Козлова Н.П., Абрамов И.П.*, Шарипов Р.Х.*, Элбакян А.Ц.*

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

*ОАО «НПП «Звезда», г. Томилино, Россия

При длительных космических полетах, при условии невозможности организации грузовых потоков с Земли, принципиальным является использование регене-

рируемых систем для обеспечения жизнедеятельности экипажа как на борту космического корабля, так и при внекорабельной деятельности.

Основными требованиями при разработке систем жизнеобеспечения для длительных космических полетов, в частности в скафандрах, является возможность восстановления свойств систем после их использования, минимизация их объема, исключение расходуемых компонентов, уменьшение трудоемкости обслуживания.

По техническому заданию ОАО «НПП «Звезда» для удаления двуокиси углерода и вредных примесей в скафандре разработан регенерируемый поглотительный патрон ПРС-9. В качестве поглотителя двуокиси углерода используется окись серебра с каталитическими добавками. Для поглощения вредных примесей использован купрамит. Поглотительный патрон работоспособен в широком диапазоне температур (15–40 °С) и влажностей воздуха (50–95 %). Время защитного действия патрона составляет 9 ч. Динамическая емкость поглотителя по двуокиси углерода составляет 100–110 л/л (60–70 л/кг). Объем патрона составляет 3 л.

Регенерация патрона осуществляется продувкой воздухом температурой +220–230 °С. При регенерации патрона блок с поглотителем вредных примесей на основе купрамита извлекается из патрона. В качестве замены купрамита нами разработан регенерируемый поглотитель вредных примесей на основе титано-силикатных цеолитов, который поглощает примеси органического характера и регенерируется в тех же условиях, что и поглотитель по двуокиси углерода, т. е. продувкой воздухом при температуре +220–230 °С.

Таким образом, использование поглотительного патрона ПРС-9 с неорганическими сорбентами двуокиси углерода и вредных примесей позволит значительно минимизировать совокупный вес поглотительных патронов и их запасов на космической станции за счет многократного их применения в циклах.

На сегодняшний день проведено 30 циклов сорбции-регенерации без потери адсорбционных свойств, исследования продолжаются и ориентировочно количество циклов может быть доведено до 100.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ ПО РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УДАЛЕНИЯ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА И ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ СКАФАНДРА НЕПОСРЕДСТВЕННО ВО ВРЕМЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Путин С.Б., Шубина В.Н., Симаненков С.И., Абрамов И.П.*, Шарипов Р.Х.*, Элбакян А.Ц.*

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

*ОАО «НПП «Звезда», г. Томилино, Россия

При длительных космических полетах эффективность использования регенерируемых систем не вызывает сомнения. По техническому заданию ОАО «НПП «Звезда» нами разработан регенерируемый поглотительный патрон двуокиси углерода и вредных примесей. Регенерация патрона осуществляется в бортовом десорбере путем продувки воздухом с температурой 220–230 °С. Десорбер занимает определенный объем и требует затрат энергии и рабочего времени космо-

навта. Разработка системы непосредственного удаления двуокиси углерода и вредных примесей при работе в космосе позволит исключить дополнительные устройства на борту. При этом система должна быть готова к эксплуатации в любой момент времени.

Рассмотрены несколько возможных вариантов удаления двуокиси углерода из подскафандрового пространства, такие, как способ короткоциклового безнагревной адсорбции с использованием для регенерации космического вакуума (VPSA), мембранные и электрохимические способы удаления двуокиси углерода.

Электрохимические способы с водородной деполяризацией двуокиси углерода технически довольно сложны и требуют расхода водорода.

Перспективно использование мембран с «переносчиками» двуокиси углерода в своем составе. В качестве переносчиков могут быть использованы растворы аминов, но более предпочтительно использование легко регенерируемых в условиях вакуума гидроксидов переходных металлов, в частности циркония. Подобные мембраны не будут содержать растворителей, следовательно, не склонны к высыханию из-за удаления растворителя.

На наш взгляд, более предпочтительной будет система, основанная на принципе VPSA с использованием твердых аминов или гидроксида циркония в качестве адсорбентов. Последний более предпочтителен из-за стабильности в среде кислорода. Непрерывное удаление двуокиси углерода, а при использовании гидроксида циркония удаление и вредных примесей осуществляется за счет циклической работы двух адсорберов, из которых один работает в режиме сорбции, другой – в режиме десорбции, а затем режимы их работы меняются за счет переключения клапанов.

Для поддержания низких парциальных давлений и снижения веса системы требуются циклы сорбции-десорбции несколько минут.

МЕТОД СНИЖЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ В ПИЛОТИРУЕМОМ ПОЛЕТЕ НА МАРС

Раков Д.В., Сияк Ю.Е., Федоренко Б.С.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Современные пилотируемые полеты в космос осуществляются в условиях повышенного радиационного фона, доза которого незначительна и укладывается в нормативы. Полеты к другим планетам требуют обеспечения радиационной безопасности экипажа межпланетного корабля. Увеличение физической защиты снизит дозовую нагрузку на экипаж, однако одновременно увеличит и массу межпланетного корабля.

В связи с этим возникает необходимость поисков фармакологических или других средств снижения радиационного воздействия на экипаж. Одним из таких средств, получаемых на борту пилотируемого аппарата, может стать вода с пониженными концентрациями дейтерия и кислорода ^{18}O , получаемая в системах жизнеобеспечения.

Ранее в наших работах было показано, что вода с пониженными концентрациями дейтерия и кислорода ^{18}O обладает широким спектром медико-биологических свойств. Установлено увеличение продуктивности растений в семенах и плодах, повышение яйценоскости японских перепелов, сопротивляемости и уменьшение последствий радиационных эффектов на органы иммунной системы, кроветворения у мышей, облученных гамма-излучением ^{60}Co в суммарных дозах 25, 50 и 100 сГр. Впервые показана тенденция снижения частоты образования отдаленных последствий развития катарактогенеза (задержка образования помутнения хрусталика до 40 недель) и канцерогенеза (отсутствие опухолей в молочной и щитовидной железах, надпочечниках и снижение в гипофизе, легких, матке, а также лейкозов) на фоне приема воды с пониженным содержанием дейтерия в экспериментах на мышах и крысах.

Результаты, полученные в работах последних лет, показывают новые возможности в модификации лучевых повреждений в низких дозах как в ранние, так и в отдаленные сроки после воздействия ионизирующих излучений, что является очень важным в современной терапии и профилактики ряда заболеваний.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА *IN VIVO* В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С МОДЕЛИРУЕМОЙ МИКРОГРАВИТАЦИЕЙ

Репина Л.А., Репин М.В.*, Богомазова А.Н., Снигирева С.П.****

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

**Федеральное Государственное учреждение, Российский научный центр «Рентгенорадиологии» Федерального агентства по высокотехнологической медицинской помощи, Москва, Россия

Целью настоящего исследования являлся сравнительный анализ цитогенетических показателей лимфоцитов крови человека *in vivo* в экспериментах с моделируемой микрогравитацией.

В первом эксперименте изучали воздействие длительной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) на хромосомный аппарат лимфоцитов периферической крови испытуемых *in vivo*. В испытаниях принимали участие 13 мужчин-добровольцев в возрасте от 23 до 42 лет, находившихся в условиях 60- и 120-суточной АНОГ. Первая группа участников эксперимента (6 человек) пребывала в условиях 120-суточной АНОГ без применения средств и методов профилактики. Вторая группа испытуемых (7 человек) находилась в условиях 60-суточной АНОГ с применением профилактического нагрузочного костюма «Пингвин».

Результаты цитогенетического анализа аберраций хромосом нестабильного типа, проведенного до начала исследования и после его окончания, показали статистически значимое увеличение частоты ацентриков в лимфоцитах крови испытуемых, находившихся в условиях 120-суточной АНОГ. У отдельных испытуемых после пребывания в условиях 60- и 120-суточной АНОГ отмечалось некоторое возрастание частоты маркеров радиационного воздействия ($p \geq 0,05$).

Для проведения второго цитогенетического исследования использовали кровь 10 мужчин-испытателей в возрасте 23–29 лет, принимавших участие в эксперименте «сухая» иммерсия на протяжении 7 сут. Испытуемые были разделены на группы: 6 человек находились в условиях иммерсии в течение 7 сут без каких-либо дополнительных воздействий (группа «Иммерсия»), 4 добровольца подвергались прямой стимуляции опорных зон стопы на фоне иммерсии (группа «Иммерсия + Опора»). Результаты данного исследования, моделирующего условия микрогравитации, проведенного до и после его завершения, свидетельствуют об отсутствии статистически значимых цитогенетических изменений хромосомного аппарата лимфоцитов крови испытуемых, находившихся в условиях 7-суточной «сухой» иммерсии.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ PIP-АКВАПОРИНОВ – ТЕСТ НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ РАСТЕНИЙ

Реуцкий В.Г.

ГНУ Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф.Купревича, г. Минск, Беларусь

Оценка эффективности технологического процесса выращивания растительной продукции в регулируемых биотехнологических модулях невозможна без использования надежных тестов на их жизнеспособность. В качестве последнего целесообразно использовать функциональную активность PIP-аквапоринов – мембранных белков, облегчающих передвижение воды через мембраны. Как и все локализованные на мембране процессы, активность аквапоринов чрезвычайно чувствительна к абиотическим воздействиям. Достоинством предлагаемого способа тестирования является его надежность и относительная простота. На основе измерений динамики изменений объема насыщенной водой под небольшим вакуумом высечки ткани листа в процессе ее дегидратации и гидратации оценивается уровень жизнеспособности растения.

В сообщении приводятся экспериментальные доказательства того, что аквапорины плазматической мембраны клеток мезофилла присутствуют в двух изоформах, одна из которых работает в качестве насоса, закачивающего воду из апопласта внутрь клетки, другая – канала, по которому вода из клетки поступает в клеточную стенку. Функциональная активность аквапоринов-насосов идентифицируется: 1) по наличию в стартовый период процесса дегидратации образца участка стабильного объема – чем он значительнее, тем жизнеспособнее растение; 2) по величине скорости гидратации ткани – чем она больше, тем лучше растение адаптировано к условиям среды. Благодаря одновременной работе аквапоринов-насосов и аквапоринов-каналов в системе апопласт – клетка – апопласт реализуется микроциркуляция воды, что позволяет растению с минимальными водопотерями транспортировать растворенную в воде двуокись углерода из клеточной стенки через плазмалемму в цитоплазму.

Неблагоприятные воздействия (высокие температура и влажность воздуха, повышенные концентрации солей и т.п.) инактивируют работу аквапоринов-насосов

и рассмотренную выше микроциркуляцию воды. Как следствие прекращается фотосинтетическое восстановление CO_2 , передвижение воды по ксилеме, дезорганизуется большинство физиологических процессов.

Одновременно с наблюдениями за динамикой изменения объема ткани листа проводились измерения динамики его веса. Сенсорами обеих процессов служили датчики Холла. Эти системы через интерфейс были коммутированы с компьютером, который выполнял сбор и обработку данных, выдавая результаты в виде графиков и табличных данных.

ПРОБЛЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ ДЛИТЕЛЬНЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ

**Романов С.Ю., Железняков А.Г., Телегин А.А., Андрейчук П.О.,
Гузенберг А.С., Кирюшин О.В., Протасов Н.Н., Рябкин А.М.,
Юргин А.В., Самсонов Н.М.*, Гаврилов Л.И.*, Бобе Л.С.*,
Григорьев А.И.**, Баранов В.М.**, Синяк Ю.Е.****

РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

*ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

**ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В процессе жизнедеятельности человек потребляет из биосферы кислород, воду, пищу и целый ряд продуктов, регулирующих его жизнедеятельность (витамины и т.д.). В биологических реакциях организма пищевые вещества окисляются кислородом и дают энергию, необходимую для жизнедеятельности человека. Продукты реакций окисления выделяются человеком в окружающую среду в виде углекислого газа и жидких и твердых продуктов жизнедеятельности. В земных условиях эти продукты перерабатываются бактериями, растениями, животными, которые их восстанавливают до кислорода, воды, продуктов питания и других исходных веществ, осуществляя таким образом замкнутый круговорот веществ в природе.

В условиях космического полета все эти функции круговорота решаются на основе специальных физико-химических методов регенерации веществ и возлагаются на системы жизнеобеспечения, поскольку реализовать в настоящее время подобный биологический цикл на борту современного космического корабля практически невозможно.

На существующем этапе отечественной космонавтики разработанные средства жизнеобеспечения экипажа (после соответствующей модернизации) и опыт длительных полетов на космических станциях «Мир» и МКС позволяют начать межпланетные полеты и строительство лунных баз. Дальнейшее развитие обитаемой космонавтики потребует создания биологически полноценной среды обитания человека на основе использования для жизнеобеспечения ресурсов планет и включения в средства жизнеобеспечения биологических звеньев.

В докладе рассмотрены основные требования к модернизации существующих и разработке новых средств жизнеобеспечения экипажа для обеспечения длительных межпланетных экспедиций:

- создание базового замкнутого регенерационного комплекса систем жизнеобеспечения;
- увеличение надежности и ремонтпригодности систем и агрегатов;
- создание нормативов среды обитания космонавтов для полетов до 3 и более лет, увеличение комфортности и биологической полноценности среды обитания, разработка средств бортового контроля параметров среды обитания;
- длительная многолетняя экспериментальная отработка базового замкнутого регенерационного комплекса систем жизнеобеспечения, в том числе на орбитах Земли и Луны.

ОПЫТ РАБОТЫ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ НА КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ «САЛЮТ», «МИР» И МКС

Самсонов Н.М., Бобе Л.С., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Курмазенко Э.А., Томашпольский М.Ю., Романов С.Ю.*, Андрейчук П.О.*, Гузенберг А.С.*, Железняков А.А.*, Протасов Н.Н.*, Рябкин А.М.*, Телегин А.А.*, Григорьев А.И.*, Баранов В.М.***, Сняк Ю.Е.****

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

*РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

***ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Длительные орбитальные и межпланетные полеты возможны лишь при использовании систем жизнеобеспечения (СЖО) регенерационного типа, осуществляющих максимальное извлечение и регенерацию воды и кислорода из продуктов жизнедеятельности человека и биотехнического комплекса и очистку атмосферы, обеспечивая потребности экипажа в воде и кислороде с минимальным использованием запасов. Системы регенерации работали только на советских орбитальных космических станциях «Салют» и «Мир» и в настоящее время на Российском сегменте МКС. В январе 1975 г., впервые в мировой практике пилотируемых полетов, экипаж космической станции «Салют-4» в составе А.А.Губарева и Г.М.Гречко использовал воду, регенерированную в системе СРВ-К из конденсата атмосферной влаги, для питья и приготовления пищи и напитков. Система работала в течение всего пилотируемого полета станции. Аналогичные системы типа СРВ-К работали на станциях «Салют-6» (1977–1981 гг. – 570 сут) и «Салют-7» (1982–1986 гг. – 743 сут). На орбитальной космической станции ОКС «Мир» впервые в мировой практике был реализован практически полный (за исключением системы концентрирования и утилизации углекислого газа) комплекс физико-химических систем регенерации воды и атмосферы: СРВ-К, СРВ-У, СРВ-СГ, «Электрон-В», «Воздух», БМП, который в значительной мере обеспечил длительное и эффективное функционирование станции в пилотируемом режиме и экономию массы доставляемых грузов 35 000 кг.

Аналогичный комплекс усовершенствованных систем, включая систему концентрирования углекислого газа и витаминную оранжерею, предполагалось поэтапно воплотить на МКС. В настоящее время в составе служебного модуля СМ

функционируют системы СРВ-К2М, СПК-УМ, «Электрон-ВМ», «Воздух» и БМП. Эти системы успешно работают в течение всего пилотируемого полета станции, обеспечивая экипаж водой и кислородом и очищая атмосферу от углекислого газа и микропримесей. На 31.01.2008 г. регенерировано более 9700 л воды и получено более 4650 кг электролизного кислорода.

Введение на МКС систем СРВ-УМ и СПУ-ГВ позволит более чем в 10 раз снизить доставки воды на станцию, повысить надежность жизнеобеспечения и автономность полета станции.

Регенерационные системы жизнеобеспечения обеспечивают значительный технико-экономический эффект и приоритет отечественной науки и техники в этой области.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА ХАРАКТЕРЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ КИШЕЧНИКА, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Седова Е.А., Афонин Б.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Особенности функционального состояния кишечника в космическом полете (КП) обусловлены эффектами невесомости в организме. Они вызваны увеличением базальной секреции органов гастродуоденального комплекса и самой слизистой кишечника. Пребывание в этих условиях характеризуется переполнением 12-перстной и тощей кишки, снижением всасывания в тонком и проксимальных отделах толстого кишечника, увеличением абсорбции жидкости в дистальных отделах толстого кишечника и замедлением продвижения химуса во всех отделах. Увеличение базальной секреторной активности органов гастродуоденальной зоны и кишечника в невесомости приводит к увеличению переваривающего потенциала внутрикишечного содержимого. Увеличение в 12-перстной и тощей кишке внутрикишечного содержимого с повышенной переваривающей активностью при сниженной абсорбции вызывает увеличение концентрации конечных продуктов переваривания. Увеличение концентрации глюкозы в этих отделах является фактором, стимулирующим секрецию инсулина. Для уменьшения стимуляции инсулина в КП необходимо понизить содержание углеводов в пище и их количество при разовом приеме не должно приводить к резкому повышению глюкозы в кишечнике. Гемодинамический механизм замедления оттока венозной крови из ЖКТ создает условия снижения активности пристеночного пищеварения и всасывания. Увеличенный переваривающий потенциал внутрикишечного содержимого в нижележащих отделах тонкого кишечника при пониженной абсорбции создает условия для нарушения гомеостатического механизма всасывания нутриентов. Это, прежде всего, ведет к аминокислотному дисбалансу на поверхности слизистой тонкого кишечника и электролитному в толстом. Такой дисбаланс замедляет всасывание и приводит к повышению тонуса кишечника (особенно функциональных сфинктеров), возникновению его сегментации и спастическому замедлению моторики. Поскольку возможности влияния питания на гемодинамический механизм в

условиях КП ограничены, то основные усилия по коррекции функциональной стабильности кишечника в этих условиях должны быть направлены на устранение возможного дисбаланса в аминокислотном и электролитном составе рационов питания для обеспечения процессов гомеостатирования химуса.

Таким образом, для алиментарной коррекции основных функциональных изменений кишечника, возникающих в невесомости, следует уменьшить разовый объем принимаемой пищи и увеличить частоту приема.

Количество углеводов при разовом приеме не должно стимулировать секрецию инсулина, а соотношение аминокислот – нарушать гомеостатирование кишечной абсорбции

О ВОЗМОЖНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГЕНЕРИРУЕМЫХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИДА ЦИРКОНИЯ (ПРЦ И ПРЖЦ) ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО УДАЛЕНИЯ ДВУОКСИ И ВОДЫ ИЗ КАБИНЫ АППАРАТА «КЛИППЕР»

Симаненков С.И., Шубина В.Н., Ерохин С.Н.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

Для космического челнока «Клиппер», рассчитанного на экипаж из 6 человек, необходима система одновременного удаления двуокиси углерода и паров воды. Непрерывная работа системы должна составлять не менее 3 сут, число циклов применения не менее 25. Среднесуточное выделение двуокиси углерода для экипажа из 6 человек составит 132 нл/ч, среднесуточное выделение воды – 360 нл/ч.

Для этих целей можно использовать регенерируемые в вакууме поглотители ХАК-16-2М и ПРЦ или ПРЖЦ.

Поглотитель ХАК-16-2М использовался для удаления двуокиси углерода из кабины космического корабля в установке «Воздух». Объем поглотителя ХАК-16-2М в установке составляет 10 л, расход воздуха – до 40 м³/ч. При условии парциального давления двуокиси углерода 3,6 мм рт. ст. и влагосодержании воздуха 7,5 г/м³ и 20-минутного цикла количество удаляемой двуокиси углерода составляет 80–90 нл/ч, а воды – 260–279 г/ч.

Для установки «Воздух», снаряженной поглотителем ПРЦ, при объеме поглотителя 10 л, 15-минутном цикле сорбции-регенерации и концентрации СО₂ 5 мм рт. ст. количество СО₂, поглощенное одним патроном, составляет 92 л/ч, количество удаляемой воды достигает 260 г/ч. Таким образом, поглотители ХАК-16-2М и ПРЦ (или ПРЖЦ) имеют близкие показатели по рассматриваемым параметрам.

Следует также отметить, что поглотители на основе гидроксидов металлов способны помимо двуокиси углерода и воды одновременно удалять вредные примеси как кислого, так и щелочного характера, а также органического происхождения. С этой точки зрения гидроксиды металлов более предпочтительны, чем поглотитель ХАК-16-2М.

В отличие от ХАК-16-2М, сорбенты на основе гидроксидов циркония и железа (ПРЦ, ПРЖЦ) не содержат летучих компонентов, не горючи и не токсичны.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА И ЕЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОГЛОТИТЕЛЯ, РЕГЕНЕРИРУЕМОГО ВОДЯНЫМ ПАРОМ

**Симаненков С.И., Шубина В.Н., Донских В.В., Ерохин С.Н.,
Рябкин А.М.***

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

*РКК «Энергия» им С.П.Королева, г. Королев, Россия

Исследована технология очистки атмосферы замкнутого гермообъема от двуокиси углерода и ее получения с концентрацией не менее 98 % в условиях невесомости и земной гравитации. Ранее в качестве сорбентов двуокиси углерода предлагались твердые амины, но их основным недостатком является разрушение под воздействием кислорода воздуха и водяного пара при повышенных температурах. Нами был исследован гранулированный поглотитель на основе гидратированной двуокиси циркония ПРЦ-М в качестве поглотителя двуокиси углерода.

Водяной пар, необходимый для регенерации поглотителя и выделения концентрированной двуокиси углерода, получали с помощью адсорбционного парогенератора со слоем твердого сорбента паров воды, в который встроен теплообменник. Для поглощения паров воды из воздуха через теплообменник прокачивается охлажденный до 20 °С жидкий теплоноситель, а для получения водяного пара теплоноситель, нагретый до +120–130 °С.

Испытания макета с адсорбционным парогенератором и массой поглотителя ПРЦ-М 16,2 кг показали, что при очистке воздуха с парциальным давлением двуокиси углерода 5 мм рт. ст. возможно получение двуокиси углерода с чистотой не менее 98 %. При общей длительности цикла 120 минут производительность макета составила 40 л CO₂/ч с удельным расходом электроэнергии 10,4 Вт · ч на 1 л концентрированной двуокиси углерода.

Ресурсные испытания поглотителя ПРЦ-М массой 90 кг в составе макета установки, предназначенной для работы в условиях земной гравитации, показали, что поглотитель ПРЦ-М не снизил динамическую активность по двуокиси углерода в течение 210 сут. Санитарно-гигиенические испытания сорбента из гидратированной двуокиси циркония показали отсутствие выделения при его эксплуатации токсичных и раздражающих веществ.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАЗАХСКИХ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Синявский Ю.А., Агуреев А.Н.*, Сулейменова Ж.М., Гурова Л.А.*

Казахская академия питания, г. Алматы, Казахстан

*НИИ ПП и СПТ МСХ РФ, ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Основываясь на имеющихся данных литературы, а также результатах исследований, касающихся роли отдельных факторов питания и общей сбалансированности рационов на структурно-функциональное состояние организма в условиях гипокинетического стресса, а также при действии на организм комплекса неблагоприятных факторов космического полета, были разработаны основные принципы конструирования специализированных продуктов, базирующихся на высоких де-

токсигирующих свойствах компонентов продукта, антиоксидантной направленности в выборе сырья и БАД, высокой биологической ценности, санитарно-микробиологической и токсикологической безопасности, а также доступности и технологичности сырья и готового продукта. С учетом вышеуказанных принципов было подобрано естественное пищевое сырье и биологически активные добавки, позволившие создать серию специализированных продуктов с направленными антиоксидантными, детоксицирующими и иммуномодулирующими свойствами.

Были выработаны специализированные продукты на плодовоовощной основе «Арман», «Осенняя сказка» и «Денсаулык», казахские национальные продукты, такие, как курт, а также специализированный продукт эликсир «Восточный», которые были включены в состав гостевого набора и перефасованы в штатную тару специалистами НИИПП и СПТ на Бирюлевском опытно-экспериментальном заводе.

В рамках программы «Дастархан» дополнительно были разработаны инструкции по использованию продуктов казахстанского гостевого набора совместно со штатным рационом питания. Установлено, что применение специализированных плодовоовощных продуктов с направленными антиоксидантными и детоксицирующими свойствами повышало витаминный и иммунный статусы космонавтов (витамины А, Е, С, СОД, каталаза). В соответствии с опросными листами члены экипажа Т.Мусабаев, Н.Бударин, Э.Томас отмечали высокие органолептические показатели продуктов. Их употребление положительно влияло на аппетит, самочувствие. Космонавты не отмечали неприятных ощущений после приема продуктов.

Применение специализированных продуктов на плодовоовощной основе включающих комплекс основных биологически активных компонентов (белки, жиры, углеводы, витамины, микроэлементы) с направленным антиоксидантным, детоксицирующим, радиопротекторным и иммуномодулирующим действием может способствовать повышению адаптационных возможностей организма к неблагоприятным факторам космического полета и открывает широкие перспективы их применения в качестве продуктов, повышающих физиолого-биохимический статус организма к действию неблагоприятных факторов окружающей среды, в том числе и в космическом полете.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, ПОВЫШАЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ОРГАНИЗМА К ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Синявский Ю.А., Агуреев А.Н.*, Динасилов И.А.

Казахская академия питания, г. Алматы, Казахстан

*ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Основная цель включения в рационы питания космонавтов специализированных лечебно-профилактических продуктов питания – сохранение здоровья, повышение умственной и физической работоспособности.

Разрабатываемые специализированные продукты питания в первую очередь должны преследовать решение следующих основных задач:

– максимальную сбалансированность и высокую усвояемость, присутствие промоторов биодоступности эссенциальных микроэлементов;

- компенсирование повышенных потребностей организма в условиях космического полета в эссенциальных микроэлементах, минералах и витаминах, особенно антиоксидантах, кальции, фосфоре, селене, цинке, железе и др.
- стабилизацию структурно-функционального состояния клеточных мембран за счет дополнительного введения природных или искусственных антиоксидантов;
- коррекцию развивающихся нарушений в процессах тканевого дыхания, кислотно-щелочного равновесия, гемо- и лейкопоэза, иммунологической реактивности и микробиоценоза слизистых оболочек;
- стимуляцию функции детоксицирующих систем организма, моторной и секреторной функции органов желудочно-кишечного тракта.

При обосновании состава и рецептур продуктов должны учитываться имеющиеся данные и собственный опыт, касающийся принципов целенаправленной алиментарной регуляции основных биохимических систем организма человека, а также совместимость используемых ингредиентов. В качестве универсальных продуктов полифункционального действия наиболее приемлемыми являются продукты на плодоовощной и пищекоцентрированной основах, комплексное использование которых на фоне базового рациона позволит обеспечить решение задач по алиментарной поддержке космонавтов в плане повышения их устойчивости к отрицательному действию отрицательных факторов космического полета. Основными целевыми алиментарными факторами являются: антиоксиданты: водорастворимые формы бета-каротина и альфа-токоферола, аскорбиновая кислота, фолаты, фитаты, танины, кверцетины, биофлавоноиды и другие антиоксиданты растительного происхождения, а также селен; иммунокорректоры: высокоактивные штаммы молочнокислых бактерий, антиоксиданты, пептиды, полученные в результате ферментации молока, специальные аминокислоты, пектин плодов и овощей; детоксицирующие и поддерживающие функцию органов желудочно-кишечного тракта вещества – пектин плодов и овощей, микрокристаллическая целлюлоза; средства, стимулирующие гемо- и лейкопоэз: промоторы биодоступности железа (белки, витамин С), лактат железа, соли цинка, меди, фолиевая кислота, природные фолаты растительного происхождения.

НОВЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗМА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Синявский Ю.А., Цой И.Г., Агуреев А.Н. , Ли М.В.* , Сулейменова Ж.М.**

Казахская академия питания, г. Алматы, Казахстан

*Казахский национальный медицинский университет им. С.Д.Асфендиярова, г. Алматы, Казахстан

**НИИ ПП и СПТ МСХ РФ, ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Базируясь на данных по химическому составу растительного и животного сырья, отобрали местное традиционное плодое, овощное и молочное сырье с вы-

соким уровнем витаминов антиоксидантов, биофлавоноидов, фенольных соединений, а также микроэлементов.

Был разработан рацион питания для космонавтов, включающий следующий набор специализированных продуктов и биологически активных добавок «Сорпа с лапшой сублимационной сушки», «Плов по-казахски», «Овощи тушеные «Жулдыз», творог «Батыр», творог с яблочно-тыквенным пюре «Жигер», печенье калорийное с изюмом или курагой «Байконыр», с включением БАД с радиопротекторными свойствами «Таң сәулесі», детоксицирующими свойствами «Мөлдір» и иммуномодулирующими свойствами «Кәусар».

Были выработаны опытные партии продуктов и БАД и дана оценка их экспериментальной и клинической эффективности.

В условиях, моделирующих факторы космического полета (гипокинезия, рентгеновское облучение), было изучено влияние специализированных продуктов на показатели иммунного и антиоксидантного статусов, а также гемопозза. Установлено, что специализированные продукты обладают направленными физиолого-биохимическими свойствами, повышают адаптационные возможности организма в условиях пониженной двигательной активности, а также воздействию рентгеновского облучения на организм экспериментальных животных.

На лицах, пребывающих в условиях средне- и высокогорья – спортсменах высшей квалификации, – показано, что потребление специализированных продуктов способствует нормализации биохимических и иммунологических показателей крови, повышению антиоксидантных и антианемических свойств организма, а также повышению работоспособности и устойчивости к повышенным физическим нагрузкам в условиях гипоксической гипоксии.

Наряду с гипоксической гипоксией дана оценка клинической эффективности продуктов на больных с вынужденной гипокинезией, с переломами и черепно-мозговыми травмами. По результатам открытых испытаний специализированных продуктов удалось установить достоверный протекторный эффект разработанных продуктов космического питания в отношении показателей красной крови, функциональных показателей состояния печени и развивающихся иммунологических нарушений.

ЛЕГКОИЗОТОПНАЯ ВОДА ДЛЯ ЭКИПАЖЕЙ МАРСИАНСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ **Синяк Ю.Е.**

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Рядом авторов установлено, что легкоизотопная вода обладает многими положительными медико-биологическими свойствами.

Так, показано, что бездейтериевая вода со сниженными (на 65 %) концентрациями дейтерия обладает биологической активностью: отмечено возрастание количества биомассы и семян при культивировании высших растений, отмечено появление антимуtagenных свойств, вода с пониженными концентрациями тяжелых стабильных изотопов водорода (дейтерия) и кислорода ($^{18}\text{O}_2$) оказывает противоопухолевое воздействие на организм животных (мышей). Отмечались радиопро-

текторные свойства: длительное употребление воды с пониженным содержанием дейтерия и кислорода (^{18}O) приводит к снижению степени тяжести лучевых повреждений, обусловленных действием гамма-лучей в условиях ежедневного воздействия.

Для условий полета по трассе Земля – Марс – Земля наличие радиопротекторных свойств легкоизотопной воды приобретает особенно большое значение, поскольку радиационная обстановка будет намного сложнее по сравнению с радиационными условиями орбитальных полетов. Выбор методов получения легкоизотопной воды на борту марсианского корабля весьма ограничен. Так, в условиях невесомости практически нереализуем, например, метод ректификации, широко используемый в химической практике для разделения стабильных изотопов.

Наиболее полно требованиям марсианских экспедиций отвечает метод электролиза воды, включающий стадии разложения воды на кислород и водород с последующей конверсией образующихся газов в воду. При определенных степенях разложения воды на катоде выделяется протий, образующий с выделенным кислородом легкоизотопную воду.

Источниками получения легкоизотопной воды на борту марсианского корабля могут служить конденсат атмосферной влаги, конденсат мочи, вода, образующаяся в результате реакции Сабатье ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$) или Боша – Будуара ($\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}$).

Одним из вариантов использования легкоизотопной воды могут служить ее запасы, взятые с Земли. Однако дейтерий, ^{18}O и ^{17}O будут входить в состав метаболитической воды, образующейся в результате окисления белков, жиров и углеводов, поступать в мочу, транспирационную, перспирационную влаги и в системы регенерации воды, увеличивая, таким образом, концентрации тяжелых стабильных изотопов в питьевой воде.

На борту марсианского корабля легкоизотопная вода может использоваться для культивирования высших растений при производстве витаминной зелени в оранжерее, для выращивания гетеротрофов с целью получения животных белков, для нормализации процессов метаболизма в организме космонавта, а также в виде радиопротекторного вещества с целью снижения риска радиационных воздействий и радиационного катаракто- и канцерогенеза.

В докладе приведены экспериментальный материал, подтверждающий положительные медико-биологические свойства легкоизотопной воды, технологическая схема ее получения, а также схема комплексирования ее в общую схему систем жизнеобеспечения марсианского корабля.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Скедина М.А., Соловьева З.О., Иванова И.А.*, Верденская Н.В.*

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л.Минца», Москва, Россия

Представляемая нами автоматизированная система цифровой микроскопии предназначена для автоматического распознавания биологических объектов

(микробных клеток, клеток крови) на препарате и передачи их оцифрованных изображений по телекоммуникационным сетям. Система была создана и апробирована на базе автоматизированного анализатора «Аспек» (созданного РТИ им. академика А.Л.Минца).

На сегодняшний день автоматизированная система позволяет решать несколько прикладных задач. Одной из них является проведение автоматического анализа крови. В режиме автоматической микроскопии фиксированного препарата система осуществляет сканирование препарата и последовательный анализ изображений полей зрения микроскопа с целью обнаружения и описания клеток крови, их подсчет и распознавание. При создании программного обеспечения были использованы оригинальные алгоритмы обнаружения объектов, сегментации, описания объектов и их распознавания. Следующим этапом в развитии системы явилось создание программного обеспечения для обнаружения, распознавания и подсчета изображений микробных клеток при сканировании мазка с биотопа человека без выделения и идентификации чистых микробных культур. Основные проблемы, возникающие на этом этапе, – малая контрастность, малые размеры объектов (на пределе оптического разрешения). В связи с этим были предложены новые алгоритмы сканирования, обнаружения объекта, сегментации кадра, распознавания и подсчета объектов. При разработке системы особое значение придается приготовлению стандартизированного нативного мазка, удовлетворяющего требованиям автоматической обработки (равномерное распределение клеток по мазку, получение монослоя и т.д.). Для получения стандартизированного мазка как для крови, так и для микробиологической пробы была использована центрифуга DiffSpin[®]2, USA с фирменными стеклами SL72, которая позволила получить цитоцентрифугаты, удовлетворяющие требованиям автоматического анализа. Таким образом, созданная автоматизированная система освобождает медицинский персонал от микроскопии мазка с иммерсией, ручного приготовления мазка, культивирования микроорганизмов. Данная система автоматически выдает заключение по анализу крови и количественному соотношению микроорганизмов в исследуемом биотопе человека и может служить средством оперативного контроля состояния системы крови и микробного статуса космонавтов в длительном полете. В сложных случаях при необходимости привлечения специалистов для консультации в автоматизированной системе предусмотрена функция передачи оцифрованных изображений клеток по телекоммуникационным сетям.

ПРИНЦИПЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА БОРТУ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Скуратов В.М., Григорьева Е.С., Короткова Т.П., Загибалова Л.Б.,

Пушкин В.П.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В силу массогабаритных ограничений оценка качества воды на борту космического объекта должна осуществляться по минимуму показателей. В этих условиях

единственным приемлемым решением является использование интегральных санитарно-показательных критериев качества воды, т.е. таких, контроль за которыми позволил бы получить информацию о всем спектре возможных загрязнений. Перспективен также мониторинг специфических параметров состояния компонентов систем регенерации воды, например, контроль некоторых электрохимических свойств активированного угля и ионообменных смол.

Санитарно-показательными критериями качества воды являются такие, как электропроводность, рН, оптическая плотность воды в видимом, УФ- и ИК-диапазонах спектра, содержание общего органического углерода.

Микробиологическая безопасность – одно из важнейших требований, предъявляемых к качеству питьевой воды. При оценке качества воды, регенерированной на борту космического объекта, значение этого требования трудно переоценить.

Наиболее приемлемыми способами мониторинга являются способы, основанные на культурально-биохимических свойствах микроорганизмов. Эти способы позволяют инструментализировать методику анализа микрофлоры воды.

В настоящее время разработаны для использования на борту Международной космической станции американское устройство MCD и российский комплект «Аура».

При использовании MCD проба воды прокачивается через мембранный фильтр, под фильтр вводят питательную среду, инкубируют микробы при температуре окружающего воздуха в течение 3 сут и визуально оценивают количество выросших колоний.

Комплект «Аура» состоит из спектрофотометрического прибора и укладки, содержащей средства микробиологического мониторинга (СММ). СММ представляет собой стерильную, герметично укупоренную прозрачную кювету, содержащую питательно-индикаторный субстрат, составленный из строго определенных веществ, необходимых для развития данного вида, рода или семейства микроорганизмов. В настоящее время разработаны средства для интегральной индикации микробов, индикации кокковых, кишечных микроорганизмов, псевдомонад и др. Имеются предпосылки для разработки средств для индикации сальмонелл и шигелл.

СИСТЕМА ПОЛУЧЕНИЯ И РЕЗЕРВИРОВАНИЯ КИСЛОРОДА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ОБИТАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Смирнов И.А., Фомкин А.А.*, Солдатов П.Э., Смоленская Т.С., Ильин В.К.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фrumкина РАН, Москва, Россия

Основным источником кислорода для экипажей долговременных обитаемых космических объектов является электрохимический генератор. На период регламентных работ электролизера и при увеличении потребления кислорода используются резервные источники – твердотопливные генераторы кислорода (ТИК) или кислород в баллонах высокого давления.

Такая система на протяжении многих лет успешно обеспечивает потребности экипажей в кислороде, но не лишена некоторых недостатков:

- необходимости периодической доставки на орбиту запасов твердых источников кислорода и баллонов;
- высоких (более 600 °С) температур процессов разложения ТИК и как следствие повышения пожароопасности в обитаемых космических объектах;
- большого объема ручных операций, связанных с разгрузкой транспортного корабля, перезарядкой твердотопливного генератора и удалением отработавших брикетов;
- принципиальной невозможности автоматизировать весь цикл получения кислорода.

В данной работе предлагается использовать новый подход к процессу кислородообеспечения орбитальных космических станций и других долговременных космических объектов. Основная идея заключается в следующем. Новая система кислородообеспечения состоит из электрохимического генератора и батареи принципиально новых аппаратов – адсорбционных аккумуляторов кислорода.

В обычном рабочем режиме кислород получают от электрохимического генератора. Далее – основная часть кислорода поступает в обитаемый отсек, а неиспользованная часть подается в адсорбционный аккумулятор кислорода, заполненный специальным поглотителем. Кислород при этом «запасается» при небольшом избыточном давлении в количестве значительно большем, чем в обычном баллоне при тех же термодинамических условиях.

При увеличении потребления кислорода (экспедиции посещения) или проведении регламентных работ на электрохимическом генераторе кислород поступает в обитаемый модуль из адсорбционных аккумуляторов. После исчерпания емкости адсорбционного аккумулятора он снова готов к зарядке кислородом, так как поглотитель автоматически регенерируется в процессе выделения кислорода. Число циклов зарядки практически не ограничено. Такой подход позволяет полностью или частично отказаться от использования резервных источников кислорода, доставляемых на орбиту (твердые источники кислорода, кислород в баллонах высокого давления), снизить необходимое количество запусков транспортных кораблей и повысить безопасность космического объекта.

РОСТ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ КИТАЙСКОЙ КАПУСТЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЕЕ ПОД СВЕТОДИОДНЫМ СВЕТИЛЬНИКОМ В ПРОТОТИПЕ КОСМИЧЕСКОЙ ОРАНЖЕРЕИ

Смолянина С.О., Беркович Ю.А., Жигалова Т.В.*, Аверчева О.В.*

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

При выращивании растений на борту космического корабля эффективность использования посевам световой энергии в значительной мере определяет общую эффективность работы оранжереи и, следовательно, целесообразность ее эксплуатации в условиях космического полета. В разработанных нами прототипах космической оранжереи предложено оптимизировать распределение света в по-

севе путем компоновки посевов на выпуклых посадочных поверхностях. На основе компьютерной модели фотосинтетической продуктивности зеленных культур в конвейерной цилиндрической оранжерее было показано, что максимум удельной производительности на затраченные ресурсы достигается при круглосуточном освещении растений с плотностью потока фотонов около $350 \text{ мкмоль м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Для освещения посевов использовали светильник на базе красных (660 нм) и синих (470 нм) светодиодов, в котором соотношение красной и синей составляющих излучения равно примерно 7:1 по плотности потока фотонов. Экспериментально показано, что растения, выращенные под натриевой лампой и светодиодами, достоверно не отличаются по сырой массе целого растения, при этом доля съедобной массы в общей массе растения у растений светодиодного варианта была заметно выше. У растений светодиодного варианта выше отношение содержания хлорофиллов *a* и *b*, что указывает на изменение соотношения функциональных комплексов в мембранах хлоропластов. Однако, по квантовому выходу разделения зарядов в фотосистеме II и показателям тушения флуоресценции хлорофилла не было показано достоверных различий между вариантами. Необходимо продолжить исследования по оптимизации спектрального состава света при выращивании растений различных видов под светодиодными светильниками.

ВЛИЯНИЕ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ДЕЙТЕРИЯ НА РОСТ И СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ

Смолянина С.О., Кривобок Н.М., Корсак И.В.*

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Московская сельскохозяйственная академия им. К.А.Тимирязева, Москва, Россия

Известны экспериментальные данные о биологической активности воды с пониженной по сравнению с океанической водой концентрацией дейтерия, в том числе о ее радиопротекторных свойствах. Полученные данные обосновывают необходимость получения такой воды на борту пилотируемых космических кораблей, что может быть использовано для водообеспечения растений в космической оранжерее. В данной работе растения японской капусты и мягкой карликовой пшеницы выращивали на воде с содержанием дейтерия 140 (соответствует норме в океанической воде), 100 и 50 ppm. Эксперименты показали, что снижение содержания дейтерия в воде до 100 и 50 ppm не повлияло на сырую и сухую массу побегов и корней обеих культур, а также на соотношение массы и площади листовой поверхности у растений японской капусты, убранных в вегетативной фазе развития. Однако у японской капусты в генеративной фазе развития цветение было более дружным в вариантах с пониженным содержанием дейтерия. Анализ структуры урожайности пшеницы выявил увеличение числа колосков и цветков в колосе на 25 и 40 % соответственно, при понижении содержания дейтерия в воде. Пониженное содержание дейтерия в воде способствовало усилению пряного специфического привкуса листьев японской капусты. Микрофлора корнеобитаемой зоны обеих культур во всех вариантах была представлена непатогенными микроорганизмами, но были отмечены различия по видовому составу. В частности, при содержании дейтерия в воде 100 ppm в корнеобитаемой зоне обеих

культур обнаружены микромицеты рода *Trihotecium*, известные своей способностью вырабатывать сильнодействующие антибиотики, которые могут быть использованы для биологической защиты растений.

ОЦЕНКА СИМБИОЗА РАСТЕНИЙ И МЕТИЛОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ КАК ВОЗМОЖНОГО МЕТОДА ПониЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ КОСМИЧЕСКОЙ ОРАНЖЕРЕИ

**Смолянина С.О., Иванова Е.Г.* , Доронина Н.В.* ,
Корсак И.В.****

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К.Скрябина РАН, г. Пущино, Россия

**Московская сельскохозяйственная академия им. К.А.Тимирязева, Москва, Россия

Большинство сценариев длительных пилотируемых космических полетов предусматривают включение витаминной оранжереи в состав СЖО для обогащения рациона космонавтов, психологической поддержки экипажа и частичной регенерации воздуха и воды. В данной работе рассмотрена возможность снижения концентрации в воздухе легких углеводов, в частности метана и метанола, путем колонизации растений метилотрофными бактериями. Были выбраны два коллекционных штамма облигатно-метилотрофных бактерий – *Methylovorus mays* C (ВКМ В-2221) (метилобактерия) и *Methylomonas metanica* S (ВКМ В-2110Т) (метанотроф), способных с высокой скоростью окислять и ассимилировать летучие углеводороды за счет действия метанолдегидрогеназы, метанмонооксигеназы и ферментов рибулозомонофосфатного цикла. Было показано, что колонизация растений листовых культур данными штаммами способна понизить концентрацию метанола и метана в газовой среде на 30–50 %. В серии экспериментов было выявлено, что метилотрофные бактерии являются фитосимбионтами, стимулируя рост колонизованных ими растений. При благоприятных условиях урожайность побегов китайской капусты и корнеплодов японской репы повышалась вследствие колонизации растений в 2 и 2,5 раза соответственно. При заражении колонизированных растений фитопатогенными микромицетами *Fusarium oxysporum* L. доля погибших растений через 8 сут была в 6 раз ниже по сравнению с неколонизированными при меньшей степени инфицирования выживших растений.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОБНОГО СТАТУСА ЧЕЛОВЕКА В МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ГЕРМЕТИЧНО ЗАМКНУТОМ ПОМЕЩЕНИИ

**Соловьева З.О., Скедина М.А., Иванова И.А.* , Верденская Н.В.* ,
Сазонов В.В.* , Панина Я.Ф., Ильин В.К.**

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л.Минца», Москва, Россия

В настоящее время в связи с увеличением длительности космических полетов особую важность приобретает проблема обеспечения инфекционной безопасно-

сти членов экипажей длительно действующих орбитальных станций. Ранее была сформулирована концепция периодического накопления потенциала патогенности в системе «человек – микроб» в длительном космическом полете. Одной из составляющих этой концепции было формирование массивных очагов контаминации условно-патогенными микроорганизмами различных биотопов человеческого организма. Опасность данного процесса велика с точки зрения возможности развития оппортунистических инфекций у человека в космическом полете.

Нами проведены обследования покровных тканей и слизистых оболочек 6 добровольцев, находившихся 14 сут в герметично замкнутом помещении. Во время обследований применен перспективный метод получения оперативной информации о микрофлоре человека без необходимости выделения и культивирования микроорганизмов, что сокращает время исследований до 1,5–3 ч.

Метод основан на автоматизированном анализе изображений бактериальных клеток с последующим получением информации по трем оцениваемым показателям: морфологическим, тинкториальным и количественным. Известно, что постоянная микрофлора конкретного биотопа относительно стабильна по качественному составу и плотности микроорганизмов. Следовательно, полученная информация дает возможность оценить один из барьеров резистентности, сформированный комменсальной микрофлорой, и при необходимости провести его коррекцию.

Показана принципиальная возможность применения данного метода при исследовании микробного статуса человека.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РЕГЕНЕРАЦИИ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ВОДЫ НА БОРТУ МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ

Стариков С.Е., Короткова Т.П., Григорьева Е.Г.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Система регенерации санитарно-гигиенической воды должна быть спроектирована таким образом, чтобы изменение физико-химических показателей перерабатываемой воды в широких пределах не нарушало ее нормальной работоспособности. Она должна быть собрана из подсистем, основанных на различных принципах обработки, способных работать как автономно, так и совместно с остальными. Они должны обеспечивать экипаж водой в течение различных этапов космического полета, зависящих от рабочих условий на борту.

Нами была создана лабораторная установка, основанная на механической фильтрации, ультрафильтрации и обратном осмосе для очистки воды, полученной от различных санитарно-гигиенических процедур, до состояния, позволяющего ее повторное использование. Система построена таким образом, что ультрафильтрационный модуль задерживает частицы размером 10^{-3} – 10^{-5} мм (коллоиды, бактерии, высокомолекулярная органика), а обратноосмотический – 10^{-5} – 10^{-7} мм (ионы, органика). Для задержания крупных частиц (размером более 0,5 мм) на входе в установку применен сетчатый фильтр. Таким образом, установка работает практически во всем диапазоне загрязнений.

Немаловажным фактором является также ресурс фильтрующих элементов. Ультрафильтрационный модуль изготовлен из полуволоконных мембран, что дает как наибольшую площадь поверхности на единицу объема, так и возможность регенерировать мембраны с помощью обратного импульса. Это позволяет значительно увеличить ресурс мембран. Обратноосмотические мембраны работают в мягких условиях, так как все загрязнения, способные вызвать их преждевременный выход из строя, задерживаются в ультрафильтрационном модуле. Еще одним преимуществом такой схемы является высокая степень извлечения очищенной воды.

Из полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная схема построения системы регенерации воды обеспечивает длительный срок службы установки, необходимое качество очищенной воды и высокую степень извлечения чистой воды из исходной.

2. Данная установка способна регенерировать воду, полученную от различных источников загрязненной воды.

ФОТОРЕАКТОР С ВОДОРОСЛЯМИ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ОЧИСТКИ АТМОСФЕРЫ ГЕРМООБЪЕКТА

Сычев В.Н., Левинских М.А., Гурьева Т.С., Нефедова Е.Л.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В настоящее время разрабатываются сценарии первой межпланетной экспедиции. При полете на Марс одной из важнейших задач, которая требует своего решения, является задача оптимизации баланса воды в системе жизнеобеспечения марсианской экспедиции. Одной из основных проблем при оптимизации баланса воды, наряду с регенерацией конденсата атмосферной влаги и мочи, будет проблема дегидратации отходов жизнедеятельности экипажа. Во время марсианского полета все отходы должны складироваться, поэтому дегидратация будет необходимым условием их безопасного хранения на борту МЭК.

Исследования двухзвенной лабораторной модели БСЖО, где автотрофное звено было представлено сине-зеленой водорослью спирулина (*Spirulina platensis*), а гетеротрофное – японским перепелом (*Coturnix coturnix japonica dom.*), показали, что за счет оптимизации газообменных характеристик автотрофного и гетеротрофного звеньев и возврата воды, извлеченной из отходов жизнедеятельности перепела, материальный баланс системы может достигать 76 % от суммарного материального баланса автотрофного и гетеротрофного звеньев при их автономном культивировании. В этих исследованиях было показано, что дегидратация отходов жизнедеятельности перепела связана с существенным загрязнением воды и атмосферы различными органическими соединениями, токсичными для человека. Были проведены сравнительные исследования различных вариантов очистки воды и атмосферы от органических загрязнителей. Показано, что сорбционные методы очистки, применяемые ныне на борту орбитальных космических станций

(«Мир», МКС), не способны полностью поглощать органические загрязнители, выделяющиеся во время сушки отходов жизнедеятельности перепела. Использование суспензии водорослей в качестве гидробиологического фильтра позволило полностью удалить практически все органические загрязнители как в воздушной, так и в водной фазе. Существуют другие технологии, которые позволяют решить задачу очистки атмосферы и воды от органических загрязнителей. Это, прежде всего, электрокаталитический метод. Внедрение данного метода очистки атмосферы космических орбитальных станций уже сегодня является актуальной задачей пилотируемой космонавтики. Однако каждый метод имеет свои положительные и отрицательные стороны. Например, рабочие температуры электрокаталитического метода – сотни градусов, тогда как рабочие температуры при использовании одноклеточных водорослей – десятки градусов.

Оптимизация потоков воды внутри МЭК – задача, без решения которой обеспечить успешную реализацию полета на Марс не удастся, поэтому необходимо интенсифицировать исследования в данном направлении, рассматривая все возможные технологии, способные обеспечить максимальную безопасность человека во время длительного межпланетного полета.

МИКРООРГАНИЗМЫ – ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Тирранен Л.С.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

На основе анализа многочисленных эмпирических данных определены индикаторные группы микроорганизмов, количественные изменения которых могут быть использованы в качестве критерия оценки и прогнозирования состояния звена высших растений в экспериментах с замкнутой экосистемой. В питательном растворе, используемом для выращивания растений, 13 групп микроорганизмов (из 28 исследованных) и 6 групп микроорганизмов (из 12) на растениях могут быть индикаторами состояния растений. Для остальных исследованных групп микроорганизмов не удалось выявить корреляцию между их численностью и состоянием растений.

К индикаторным группам микроорганизмов следует отнести общее количество аэробных и анаэробных бактерий, бактерий группы кишечной палочки, группы протей, микроскопические грибы, дрожжи и другие группы. На здоровом растении их меньше, чем на больном. Кроме того, бактерии группы кишечной палочки и группы протей, грибы и дрожжи представляют потенциальную опасность для здоровья испытателей. Увеличение численности индикаторных групп в микрофлоре исследуемых объектов наступало раньше, чем визуально наблюдаемое ухудшение состояния растений. Однако за незначительным превышением исследуемых показателей у 1–3 индикаторных групп не всегда следует ухудшение состояния растений. Прекращение действия фактора, отрицательно влияющего на состояние растений и его микрофлору, в этом случае обычно приводит к самовосстановлению биоценоза.

Таким образом, увеличение численности микроорганизмов индикаторных групп будет свидетельствовать о микробной загрязненности звена высших растений и послужит сигналом для принятия мер по регулированию его микробного населения или технологии процессов в замкнутой экосистеме.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЗАМКНУТОСТИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В БИОРЕГЕНЕРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Тихомиров А.А., Дегерменджи А.Г.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

На основе многолетнего опыта исследований различных модификаций экосистем, от «Биос-1» до «Биос-3», и разработанных в Институте биофизики СО РАН новых технологий, рассматриваются вопросы использования биорегенеративной системы «Биос-3» для создания системы жизнеобеспечения (СЖО) нового поколения с повышенной замкнутостью массообменных процессов. Дается краткий обзор научно-технических исследований, выполненных в Институте биофизики СО РАН и нашедших применение в совершенствовании параметров биорегенеративной системы «Биос-3». Основное внимание уделяется оригинальным технологиям утилизации растительных отходов физико-химическим методом и с помощью биологического окисления. Анализируются возможности утилизации жидких и твердых экзометаболитов человека в СЖО комбинацией физико-химического и биологического методов. Рассматриваются возможности вовлечения NaCl во внутрисистемный массообмен, а также способы интенсификации работы фотосинтезирующего звена системы. Оцениваются возможности использования модернизированной системы «Биос» как инструмента тестирования и проверки различных сценариев для стационарных станций лунной и/или марсианской миссий. В связи с этим рассматриваются возможности выполнения экспериментов с различной степенью замкнутости массообменных процессов, включающих человека, для демонстрации эффективности новых технологий.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЙ ГАЛОФИТОВ ДЛЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ NaCl, СОДЕРЖАЩЕГОСЯ В МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ УРИНЕ ЧЕЛОВЕКА, В КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В БСЖО

Тихомирова Н.А., Ушакова С.А., Куденко Ю.А., Грибовская И.В., Шклавцова Е.С.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Одной из наиболее важных задач включения экзометаболитов человека во внутренний массообмен биорегенеративной системы жизнеобеспечения (БСЖО) является решение проблемы введения NaCl в цикл круговорота веществ с целью возврата этого соединения человеку. Для решения такой задачи требуется создание комплекса технологий, основанных преимущественно на биологическом спо-

собе утилизации NaCl в БСЖО. Предполагается, в частности, включение в БСЖО галофитов – растений, эволюционно приспособленных к обитанию на засоленных почвах и аккумулирующих NaCl в своих тканях или способных выделять соли из тканей. Показано, что овощные растения *Salicornia europaea* способны произрастать на растворах, имитирующих минеральный состав урины, и высокие концентрации солей не оказывают значимого ингибирующего действия на рост растений. Следующим этапом работы является исследование возможности выращивания растений-галофитов непосредственно на минерализованной урине человека. Кроме того, для выбора наиболее солеустойчивого галофита, представляется интересным провести сравнение двух видов галофитов, один из которых является соленакапливающим, а второй – солевывделяющим. Таким образом, целью данной работы явилось изучение влияния минерализованной урины человека на продуктивность растений *Salicornia europaea* и *Limonium gmelinii*. Показано, что минерализованная урина человека оказывала некоторое ингибирующее действие на растения *Salicornia europaea* и *Limonium gmelinii*. Продуктивность опытных растений была ниже по сравнению с контрольными. У растений *Limonium gmelinii* зарегистрирована более низкая скорость роста и продуктивность по сравнению с растениями *Salicornia europaea*. Содержание Na в растениях *Salicornia europaea* было выше по сравнению с количеством натрия, выделяемым растениями *Limonium gmelinii*. Таким образом, растения *Salicornia europaea* являются более перспективными галофитами для дальнейшего использования в БСЖО с целью вовлечения хлорида натрия, содержащегося в жидких выделениях человека, во внутрисистемный массообмен.

ПРИМЕНЕНИЕ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО СПЕКТРА СВЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ РАСТЕНИЙ В ЗЕЛЕННОЙ ОРАНЖЕРЕЕ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Трофимов Ю.В., Цвирко В.И., Лишик С.И., Паутино А.А., Ерохин А.Н.*

Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

*ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В последнее время светодиодные источники излучения все активнее применяются в светокультуре растений и, в частности, в светильниках для космических оранжерей. В настоящее время для светодиодных излучателей оранжерей применяют в основном красные (640–660 нм) и синие (450–470 нм) светодиоды, подобранные с учетом максимумов поглощения света листьями растений. Однако эксперименты по выращиванию листовой китайской капусты под светодиодным светильником красно-синего света с соотношением красных и синих квантов 4:1 при квазиоптимальном (391 ± 24 мкмоль/(м² · с) световом потоке выявили ряд изменений биохимических и фотосинтетических показателей растений по сравнению с посевами, выращенными при освещении дуговой натриевой лампой высокого давления, хотя снижение продуктивности не было отмечено. При низком уровне освещения (107 ± 9 мкмоль/(м² · с) растения под светодиодами значительно уступали по продуктивности растениям под натриевой лампой. Кроме того, при

красно-синем свете искажалось визуальное восприятие окраски растений. В качестве альтернативного излучателя для космической оранжереи предложен светильник на основе белых светодиодов, созданных с применением зелено-красного люминофора, с максимумами излучения в синей (450 нм) и в красной (650 нм) областях спектра и высоким индексом цветопередачи. Световые платы содержат 28 одноваттных светодиодов, распределенных на металлической печатной плате (310 × 260) мм², рабочий ток составляет 150 мА. Предложенный излучатель способен обеспечить плотность фотосинтетически активных фотонов около 515 мкмоль/(м² · с) на расстоянии 40 мм под светильником при потребляемой мощности 16 Вт. Под светильником успешно выращен посев китайской капусты.

СОЗДАНИЕ АНАЛОГА ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОБИТАЕМОМ ОБЪЕМЕ МЕЖПЛАНЕТНОГО КОРАБЛЯ

Труханов К.А., Луганский Л.Б.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Институт физических проблем им. П.Л.Капицы РАН, Москва, Россия

В последние годы возобновился интерес к пилотируемым полетам в дальний космос (в частности, на Марс). В полете экипаж корабля длительное время будет находиться в межпланетном магнитном поле, которое на порядки ниже привычного геомагнитного поля (ГМП). Магнитные поля на поверхности Марса и Луны тоже малы. Поскольку пониженное ГМП, как правило, отрицательно сказывается на жизнедеятельности, проблема длительного пребывания космонавтов и персонала лунных и марсианских баз вне ГМП оказывается весьма существенной. Одно из решений – создание искусственного аналога ГМП.

Магнитная система должна создавать близкое по величине к ГМП и достаточно однородное магнитное поле, иметь минимально возможные габариты, обладать сравнительно небольшой массой и энергопотреблением. Возникает кроме технических ряд биологических проблем, требующих исследований. Например: какова должна быть наименьшая величина и однородность аналога ГМП; требуется ли поддерживать поле постоянно в течение суток или лишь какое-то время; какие биологически значимые вариации ГМП необходимо воспроизводить и т.п.

Системы генерации аналога ГМП можно разделить на два основных класса: активные, в которых этот аналог создается с помощью систем, несущих ток, и пассивные, в которых аналог создается с помощью постоянных магнитов, специальным образом размещенных вокруг обитаемого объема.

Преимуществом активных систем является то, что создаваемое ими поле можно легко регулировать, изменяя силу тока. Более того, в случае надобности активные системы могут имитировать биологически значимые вариации ГМП. Недостатком такого рода систем является потребление электроэнергии.

Пассивные системы лишены этого недостатка. Однако в них существенно усложняется задача изменения магнитного поля во времени, если таковое потребуется (единственная возможность – изменение геометрии расположения магнитов, что сопряжено с техническими трудностями). Кроме того, масса и габариты таких

систем могут быть велики. Необходимость размещения магнитов вне корабля может вызывать затруднения при внекорабельной деятельности.

В докладе рассмотрены примеры активных и пассивных систем для генерации аналога ГМП поля на борту межпланетного корабля. Обсуждаются вопросы энергетического и технического характера, возникающие при их проектировании и создании. Затрагиваются некоторые вопросы, возникающие в случае необходимости создания аналога ГМП для биорегенеративных систем жизнеобеспечения.

Показано, что активная система аналога ГМП для обитаемого объема межпланетного корабля марсианской экспедиции обладает сравнительно малой массой и энергопотреблением по сравнению с массами и энергопотреблением других систем.

КОСМОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА В ДАЛЬНОМ КОСМОСЕ

Труханов К.А., Бауров Ю.А.*

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*ФГУП Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, г. Королев, Россия

При длительном пребывании в дальнем космосе человек столкнется не только с повышенной опасностью от галактических и солнечных космических лучей (ГКЛ и СКЛ), но и с такими факторами внешней среды, которые не встречались при орбитальных полетах. Межпланетное магнитное поле на 3–5 порядков ниже привычного геомагнитного поля (ГМП). Это ставит совершенно новые проблемы в жизнеобеспечении. Дан краткий обзор данных литературы о важнейших биологических эффектах и о возможных механизмах воздействия гипомагнитных условий. Приводятся также кратко сведения о результатах исследования биологического действия гипомагнитных условий, полученных в НИИББ ТГУ и МГУ в содружестве с ИМБП, а также о возможности создания в обитаемом объеме корабля искусственного ГМП (совместно с ИФП РАН). Более подробно эти результаты представлены в отдельных докладах.

Одним из критических органов по отношению к СКЛ и в особенности к ГКЛ в дальнем космосе может оказаться глаз (точнее, хрусталик и сетчатка). Основное внимание в литературе уделяется возможности возникновения радиационной катаракты хрусталика в полете. В работах, выполненных в ИМБП, показано, что некоторые типы зрительных ощущений (вспышек в глазах), наблюдаемых в космосе и на ускорителях, объясняются именно «жестким» воздействием заряженных частиц на сетчатку. При длительном полете к Марсу и обратно через каждое нервное волокно сетчатки пройдет до нескольких сотен частиц из группы легких и средних ядер ГКЛ и до нескольких десятков частиц из группы тяжелых и сверхтяжелых ядер. Возможные последствия повреждения нервных волокон сетчатки этими частицами очевидны. Рассматриваются принципиальные возможности защиты экипажа от ГКЛ и СКЛ с помощью сильных магнитных полей, создаваемых вокруг обитаемого объема.

Накапливаются экспериментальные данные о биологической значимости потенциалов электромагнитного поля (т.е. о биологическом аналоге известного в физике эффекта Ааронова – Бома). Имеется соответствующее продвижение и в теоретических работах.

При удалении от Земли межпланетный корабль выйдет из привычного потенциала теллурических и других токов (Солнца и т.п.). Неясно, как это может сказаться на состоянии экипажа и на выполнении миссии.

Все эти вопросы требуют дальнейшей теоретической разработки и проведения экспериментальных исследований, в том числе в космосе.

ВОЛОКНИСТЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ ВОЗДУХА

Ульянова М.А., Гурова А.С., Юркина Н.П., Рагулина Е.С.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

Осушка воздуха в замкнутых объектах необходима для создания комфортных условий обитания. Одним из источников влаги в обитаемых объектах является человек, выделяющий от 30 до 300 г/ч паров воды только за счет дыхания и потоотделения. Через короткое время влажность в объекте превысит предельно допустимую. Это приведет к конденсации влаги на внутренней поверхности объекта, с одной стороны, и к созданию дискомфорта для экипажа – с другой.

При выборе того или иного способа осушки необходимо исходить из массогабаритных характеристик системы осушки, а также из ее энергопотребления.

Однако существуют объекты, обладающие малым объемом с ограниченным энергоресурсом. Это, например, космические стартово-посадочные комплексы. Для осушки воздуха в таких объектах целесообразно использовать осушители, не требующие энергопотребления, обладающие высокой кинетикой сорбции, минимальными габаритами. Этим свойством обладают волокнистые композиционные материалы, разработанные нами.

Использование таких материалов возможно в виде панелей. Адсорбционная способность таких осушителей определяется типом и количеством гигроскопической добавки. Одним из осушителей такого типа является материал на основе оксидиазола, пропитанный хлоридом кальция. Его полная сорбционная емкость при относительной влажности 75 % составляет 700 мг/г; скорость сорбции в статических условиях – 111 г/(ч · кг). Для сравнения полная емкость силикагеля ШСМГ в этих условиях составляет 280 мг/г при скорости сорбции 78 г/(ч · кг), а цеолита NaA – 201 мг/г и 63 г/(ч · кг) соответственно.

Для оценки эффективности использования волокнистых осушителей такого типа его размещали на боковой поверхности герметичной камеры с постоянным источником влаги. Нарастание влаги без осушителя до 100 % происходило за 10 минут, при использовании предлагаемого осушителя влажность не превышала 70 % в течение 330 минут. При использовании зерненого осушителя той же массы нарастание влажности до 100 % происходило за 40 мин.

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ ЧЕЛОВЕКА В МАССООБМЕН БИОРЕГЕНЕРАТИВНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ушакова С.А., Тихомирова Н.А., Куденко Ю.А., Анищенко О.В., Тихомиров А.А.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

Целью исследований явилось изучение возможности поэтапного включения плотных и жидких выделений человека в круговорот веществ в биорегенеративных системах жизнеобеспечения (БСЖО) при использовании физико-химических и биологических методов их утилизации. Суточную норму экзометаболитов человека подвергали минерализации методом «мокрого сжигания» перекисью водорода в переменном электромагнитном поле. В полученном после такого окисления растворе азот находился в восстановленной форме: аммиачной или амидной (мочевина). Полученные растворы были использованы для выращивания растений. При выращивании растений на почвоподобном субстрате количество использованных экзометаболитов было достаточным для формирования только съедобной биомассы растений. При выращивании растений на нейтральном субстрате количество внесенных экзометаболитов зависело от потребностей растений в минеральных элементах для формирования всей биомассы. Эксперименты показали отсутствие достоверных различий в продуктивности растений, выращенных на стандартной минеральной среде и с использованием минерализованных экзометаболитов. В связи с тем что использование мочевины в качестве источника азота в БСЖО нежелательно, в следующей серии экспериментов мы использовали ферментативный способ разложения мочевины. С этой целью была использована уреаза, содержащаяся в соевой муке. Взвесь, содержащую данный фермент, вносили в минерализованные экзометаболиты человека. После разложения мочевины минерализованные экзометаболиты были использованы в качестве основы для приготовления питательного раствора. Полученный раствор был использован для выращивания пшеницы на нейтральном субстрате. В работе приводятся данные по минеральному составу и продуктивности растений пшеницы в зависимости от условий минерального питания растений. Рассматриваются возможные пути дальнейшей утилизации NaCl, содержание которого в питательном растворе может превысить пределы устойчивости растений пшеницы к этому соединению.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ И КОСМОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Федотова И.В., Артамонов А.А., Денисовская О.А., Цетлин В.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Обнаружение неблагоприятных воздействий малых доз < 10 сГр радиации на биологические объекты в условиях вариаций таких космо- и геофизических факторов, как природный и промышленный электромагнитный фон, является очень непростой задачей. Однако таковы условия пребывания экипажей космических станций и пилотов высотных самолетов. В работе предполагается, что в механиз-

ме действия ионизирующего излучения на живые организмы важную роль играют процессы активации молекул воды.

Метод исследования заключается в измерении электрических токов в электрохимической ячейке. В нашей экспериментальной установке используются закрытые двухэлектродные стеклянные ячейки, а электроды изготовлены в виде пластин из пищевой нержавеющей стали или выполнены из платиновой ленты, навитой на рамку из органического стекла. В ячейку заливается вода высокой очистки ($\sigma = 0,1-0,2$ мкС см при частоте 2 кГц), полученной на специальной лабораторной установке. Расстояние между электродами можно устанавливать в пределах от 5 до 30 мм. На электроды подается постоянное стабилизированное напряжение в диапазоне 0,1–3 В. В качестве блока питания используется блок Instek GPS 4303. Точковый сигнал подается через преобразователь I-U и АЦП типа E-140 фирмы L-card на ПК. Запись и обработка сигналов производится с использованием программы Power Graph.

Измерительные ячейки всегда располагаются внутри лабораторного помещения. Влияние оптического солнечного излучения на электрические токи в ячейках было исключено путем помещения ячеек в светонепроницаемый деревянный ящик. Температура в помещении колебалась в пределах от 22 до 27 °С. Атмосферное давление контролируется по лабораторному барометру.

Получены вольт-амперные характеристики токов в воде, активированной различными дозами альфа-, бета- и гамма-излучения. На основе использования численных методов физической статистики и теории флуктуаций получены оценки изменения основных характеристик параметров и размеров водных ассоциатов. Предполагается, что свойства гидратированных оболочек клеток обуславливаются электрохимическими связями между активированными молекулами воды и вызывают изменения развития биообъектов – растений и микроорганизмов – в радиационно обработанной водной среде.

НОВЫЕ СОРБЕНТЫ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА – ГИДРАТЫ ФТОРИСТОГО ТЕТРАМЕТИЛАММОНИЯ

Ферапонтов Ю.А., Ульянова М.А., Андреев В.П.

ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов, Россия

В настоящее время большинство применяемых сорбционных способов очистки газов от примесей основано на использовании сорбентов, регенерируемых либо термическим воздействием, либо изменением давления. Такие процессы реализуются по прямому циклу Карно и потребляют значительное количество энергии. Поэтому реализация процесса «сорбция – десорбция» по обратному циклу Карно (с использованием фазовых переходов в тройной системе «газ – жидкость – твердое тело») представляет существенный интерес. Сравнение процессов очистки газов, протекающих по прямому и обратному циклам Карно, показывает, что применение нового класса твердо-жидких сорбентов позволит создать энергосберегающие (в 5–8 раз) технологии очистки больших масс газов от газообразных примесей как основного, так и кислотного характера.

Использование фазового перехода первого рода для создания технологии очистки газов от примесей особенно эффективно, когда температура плавления сорбента близка к температуре окружающей среды. Одним из таких соединений, способных сорбировать кислые газы (диоксид углерода, диоксид серы, сероводород и др.) и удовлетворяющих перечисленным выше критериям, является фтористый тетраметиламмоний.

Для изучения сорбционно-десорбционных свойств нами были специально синтезированы гидраты фтористого тетраметиламмония различного состава. По данным ДТА полученные кристаллогидраты содержали в своем составе от 1,5 до 2 молекул воды. Сорбционно-десорбционные свойства полученных соединений исследовались весовым методом в интервале температур от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Изучаемые кристаллогидраты плавилась при температурах $+40\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$. После плавления сорбента через реактор барботировался воздух, содержащий до 10 % объемных диоксида углерода. Подача газа прекращалась после того, как масса системы становилась постоянной. Для проведения десорбции реактор с сорбентом охлаждали до температуры $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. В зависимости от содержания воды в молекуле кристаллогидрата (1,5; 2 и 2,5) сорбенты поглощают 0,32; 0,28 и 0,15 моля диоксида углерода и десорбируют 0,29; 0,26 и 0,13 моля диоксида углерода на моль сорбента соответственно.

ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ КОСМОНАВТОВ ПРИ РАБОТЕ В ОТКРЫТОМ КОСМОСЕ: ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ

Филипенков С.Н., Осипов Ю.Ю., Катунцев В.П.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Обеспечение продуктивной работы космонавта при внекорабельной деятельности (ВКД) требует сохранения теплового баланса организма на протяжении многочасового выхода в космос. Проблема терморегулирования особенно актуальна для современных автономных систем обеспечения жизнедеятельности (АСОЖ) при ВКД на орбите и для будущих экспедиций при десантировании на поверхность Луны.

Опыт эксплуатации АСОЖ скафандра «Орлан» доказал, что переключение положений крана «тепло–холод» (от 3 до 12 раз за один выход) обеспечивает космонавту сохранение теплового баланса при энергозатратах до 10 ккал/мин (Барер А.С., Вакар М.И., Газенко О.Г. и др., 1979; Абрамов И.П., Барер А.С., Вакар М.И. и др., 1982). В настоящее время космонавты вручную поддерживают комфортное состояние – по собственным ощущениям, произвольным образом, они регулируют отвод тепла от тела, выбирая соответствующую уровню теплопродукции температуру в костюме водяного охлаждения (Т-КВО). На теневой части орбитальных витков или при длительном пребывании в тени объектов внешней поверхности космонавты эпизодически отмечали общее охлаждение тела и местное переохлаждение дистальных отделов конечностей (прежде всего, стоп ног, реже кистей рук). Выход за пределы комфортного состояния, как правило, возникал по неопытности (только при первой и второй ВКД космонавта), что подтверждалось

телеметрическими данными об изменении температуры тела (ТТ) в диапазоне 34,1–38,1 °С. Подобные ситуации вызывались загруженностью неплановыми операциями или дефицитом времени, когда внимание надолго отвлекалось от терморегулирования. При низкой теплопродукции и легкой работе к переохлаждению приводил выбор низкой Т-КВО (до +10 °С, со снижением ТТ ≤ 34,5 °С) либо длительный контакт гермоперчаток с охлажденными ниже -100 °С поверхностями. Перегрев организма (с ТТ ≥ 38 °С) отмечался при высокой физической активности и теплопродукции, в случае выбора Т-КВО более +20 °С.

Увеличение количества тренировок космонавтов с АСОЖ скафандра «Орлан» на наземных стендах и в термобарокамере будет способствовать накоплению опыта и профилактике случаев дискомфорта в современной орбитальной ВКД. Однако этот подход является затратным и решает медико-технические проблемы за счет человека. Использование математических моделей терморегуляции позволяет повысить эффективность регулирования теплосъема при ВКД и автоматизировать процесс управления АСОЖ с целью оптимизации теплового состояния организма. Для высадки на Луну и планеты целесообразно совершенствование АСОЖ с внедрением полностью автоматической системы терморегулирования, разгружающей космонавтов, а также компьютерной системы автоматизированного контроля теплового баланса на основе телеметрических данных о ТТ и параметрах АСОЖ, непосредственно связанных с энергетикой организма и его метаболизмом.

АДСОРБЦИОННОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ КИСЛОРОДА В УЛЬТРАНАНОПОРИСТЫХ АДСОРБЕНТАХ

Фомкин А.А., Смирнов И.А.*

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина РАН, Москва, Россия

*ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Физическая адсорбция газов в нанопористых адсорбентах существенно отличается от адсорбции на открытой поверхности. При аккумуляции пористая структура твердого тела оказывает решающее влияние на адсорбцию. Эффективные размеры микропор соизмеримы с эффективными размерами сорбируемых молекул. В таких порах адсорбционный потенциал сильно возрастает из-за наложения адсорбционных полей противоположных стенок. В известных высокоразвитых микропористых адсорбентах, таких, как углеродные адсорбенты, цеолиты, силикагели, микропоры, образуют систему полостей, соединенных между собой транспортными каналами или окнами. Потенциальные барьеры на входах в полости в значительной степени экранируют влияние равновесной газовой фазы и молекул соседних полостей на адсорбат. Эти особенности микропористой системы адсорбента резко меняют свойства вещества, находящегося в адсорбированном состоянии. Адсорбционное поле микропористого адсорбента навязывает свою структуру и сильно диспергирует адсорбированное вещество, так что в каждой полости адсорбента в среднем находится от нескольких молекул до нескольких десятков молекул. Средняя плотность адсорбата в микропорах может возрастать в десятки раз по сравнению с равновесной фазой.

В работе с помощью r -теории объемного заполнения микропор Дубинина проведены расчеты адсорбции кислорода на модельных адсорбентах и определены оптимальные их структурно-энергетические характеристики. Экспериментально исследована адсорбция кислорода на ряде ультрананопористых углеродных адсорбентах при давлениях до 10 МПа в интервале температур 223 – 333 К. Сделан вывод, что эффективность аккумуляции кислорода проходит через максимум при удельной поверхности, рассчитанной по методу Брунауэра – Эммета – Тейлора, равной примерно 1500 м²/г. При больших величинах удельной поверхности адсорбция падает из-за увеличения ширины пор и падения энергии адсорбции.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭКИПАЖЕМ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ: ФОРМИРОВАНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

**Хабаровский Н.Н., Курмазенко Э.А., Томашпольский М.Ю.,
Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Докунин И.В., Камалетдинова Г.Р.,
Баранов В.М.*, Демин Е.П.*, Трямкин А.В.***

ОАО «НИИхиммаш», Москва, Россия

*ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

В докладе рассматриваются вопросы формирования и локализации нештатных ситуаций на аппаратно-программном комплексе обслуживания экипажем эксплуатации регенерационных систем жизнеобеспечения (АПКОЭС), возникающих как при функционировании отдельных систем, так и при отклонениях значений контролируемых параметров среды обитания экипажа.

Программное обеспечение АПКОЭС предусматривает:

- задание нештатных ситуаций, связанных с функционированием систем;
- задание нештатных ситуаций, связанных с отклонением параметров среды обитания;
- проведение технического обслуживания систем в процессе их функционирования.

Нештатные ситуации при функционировании систем вызываются отказами в отдельных блоках или аппаратах системы. Нештатные ситуации по значениям контролируемых параметров среды обитания возникают при возникновении ситуаций, связанных или с загрязнениями атмосферы, или при нарушении герметичности отсека, или при ограничениях по характеристикам других бортовых систем. Техническое обслуживание систем проводится, когда один из блоков системы вырабатывает свой проектный ресурс.

При формировании нештатных ситуаций одновременно формируется соответствующая индикация и голосовое оповещение экипажа. Также организовано регулярное напоминание экипажу о необходимости проведения планового технического обслуживания систем.

Все действия оператора визуализируются в реальном времени и представляются как на операторском терминале, так и на терминале инструктора. В случае возникновения нештатной ситуации в какой-либо из систем или в комплексе в

целом на главном экране происходит изменение состояния индикаторов с четким указанием проблемной системы. Для устранения проблемы необходимо перейти в экран соответствующей системы и, определив причину нештатной ситуации, выполнить соответствующую процедуру ее устранения. По окончании процедуры локализации нештатной ситуации необходимо, запустив систему, убедиться по показаниям индикаторов главного экрана в штатной работе комплекса. Запуск и принудительный останов каждой из систем осуществляется с соответствующего экрана системы.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ И РАСЧЕТА ЛОКАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

Хамидуллина Н.Х., Зефилов И.В.

ФГУП «Научно-производственное объединение им. С.А.Лавочкина», г. Химки, Россия

В период полета объекты, расположенные на космических аппаратах (КА), подвергаются разрушающему воздействию ионизирующих излучений космического пространства. Для обеспечения безопасности экипажей (в случае пилотируемых полетов) и надежной работы бортового оборудования чрезвычайно важно еще на стадии проектирования оценить уровень радиационной опасности, в частности, корректно оценить степень защищенности объектов (распределения масс) и рассчитать дозы и частоту (количество) случайных одиночных эффектов (в ИМС) с учетом реальной компоновки КА.

Эта задача решается с помощью разработанного комплекса программ Local-Dose&SEE, основанного на использовании пространственного интегрирования определенных функций, описывающих различные радиационные эффекты, по трехмерной модели КА, выполненной в формате 3Dstudio Max.

Интерфейс задачи разделен на две части:

1. Процесс вычисления и отображения в виде таблиц распределения масс, локальных значений поглощенных доз и частот одиночных эффектов.

2. Автономный 3d-просмотр в среде 3Dstudio Max распределения масс для каждого выбранного локального места на любом этапе полета. Такое распределение представлено в виде раскрашенной 3d-сферы, при этом интенсивность цвета характеризует толщину защиты в данном направлении, причем пользователь может производить в интерактивном режиме различные манипуляции, в частности, быстро определить толщину защиты по любому интересующему направлению.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СОЖ НА ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Хохлов А.В., Орехов А.В., Скурский Ю.А.

РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

1. Анализ неисправностей СОЖ РС МКС.

Неисправности: отказы, дефекты. Нештатные ситуации: особые, критические, катастрофические. Данные по общей статистике отказов. Анализ критичности отказов и их влияния на выполнение задач полета. Некоторые примеры сложных нештатных ситуаций.

2. Анализ материально-технического обеспечения.

Бортовой ЗИП. Задачи грузопотока. Порядок формирования пакета грузов для доставки на МКС. Фактические данные по грузопотоку СОЖ за период летной эксплуатации.

Задачи технического обслуживания РС МКС: обслуживание станции, обслуживание систем, виды технического обслуживания. Фактические данные по обслуживанию станции (задачи СОЖ) и обслуживанию СОЖ.

3. Рекомендации для проектирования систем СОЖ для перспективных межпланетных пилотируемых комплексов.

Исключение влияния постоянно действующей транспортной системы на стратегию эксплуатации. Формирование запасов оборудования при отсутствии транспортных кораблей. Оценка занятости экипажа на обслуживание СОЖ.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ ЧЕЛОВЕКА К ПОЛЕТУ НА МАРС

**Циблиев В.В., Наумов Б.А., Сосюрка Ю.Б., Ярополов В.И.,
Крючков Б.И., Щербаков М.В.**

Российский государственный научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А.Гагарина, Звездный городок, Россия

Пилотируемая экспедиция на Марс является значительно более сложной миссией по сравнению как с околоземными орбитальными полетами, так и с пилотируемыми полетами на Луну, что определяется и длительностью полета, и условиями пребывания на поверхности Марса. Эти условия обуславливают появление новых проблем, вносят существенные изменения в принципы организации таких экспедиций, во взаимоотношения экипажей с наземным центром управления полетами, а также подготовку космонавтов.

В докладе рассматриваются различные вопросы реализации марсианской экспедиции:

- особенности условий полета на Марс и обратно;
- особенности конструкции и эксплуатации марсианского экспедиционного комплекса;
- особенности, относящиеся к экипажу марсианской экспедиции;
- некоторые направления использования МКС в интересах марсианской программы;
- новые элементы тренажной базы для подготовки к полету на Марс.

Решение задач подготовки космонавтов для реализации марсианской программы требует проведения комплекса работ по обоснованию задач, целей и методик подготовки, разработке предложений по созданию новых тренажных средств и имитаторов, моделирующих специфические условия марсианского полета.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ДОЗЫ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ ВНЕ И ВНУТРИ ШАРОВОГО ФАНТОМА И ВКЛАДА В СУММАРНУЮ ДОЗУ ОТ НЕЙТРОННОГО КОМПОНЕНТА ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Черных И.В., Акатов Ю.А., Архангельский В.В., Петров В.М.,
Шуршаков В.А., Лягушин В.И.*, Томи Л.**, Инг Г.**, Маграфы Р.**,
Браун М.**, Халил А.****

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

**Канадское космическое агентство, Монреаль, Канада

В эксперименте «Матрешка-Р» на борту МКС исследовались закономерности формирования дозы в теле космонавта. Моделью тела являлся сферический тканеэквивалентный фантом, на поверхности и по глубине которого размещены пассивные и активные дозиметры.

Полученные результаты имеют большое значение для оценки доз облучения экипажей межпланетных экспедиций.

В докладе приводятся методики и результаты измерения распределения по глубине фантома мощности поглощенной дозы и доз от нейтронов вторичного излучения на поверхности фантома и на заданной глубине от поверхности. Аппаратура для этих исследований разработана канадскими специалистами во взаимодействии со специалистами ИМБП РАН. В эксперименте использованы приборы «Мосфет-дозиметр» для измерения поглощенной дозы, имеющий 5 детекторов и позволяющий проводить одновременное измерение ее значений в пяти точках (например, по диаметру сферического фантома), и «Баббл-дозиметр», позволяющий измерять дозу нейтронов в месте размещения детектора за заданное время экспозиции.

С помощью «Мосфет-дозиметра» в период с 4.01 по 23.10. 2006 г. были измерены распределения мощности дозы по диаметру фантома. Значения ее варьировали в зависимости от точки в фантоме в интервале от 230,3 до 148,3 мкГр/сут. В последующем блок детекторов был установлен в месте расположения фантома, отсутствие которого было запланировано во время этой фазы эксперимента. Средняя мощность дозы в этом случае составила 187,9 мкГр/сут.

Анализ имеющихся данных направлен на учет места расположения детектора при оценке радиационной нагрузки на организм. Измерения доз вторичных нейтронов с помощью детекторов прибора «Баббл-дозиметр» проводились в нескольких точках внутри РС МКС, а также внутри фантома. Всего было проведено восемь сессий таких измерений продолжительностью 5 сут каждая. В итоге имеется массив данных по мощности эквивалентной дозы нейтронов, зарегистрированных в местах установки детекторов.

Диапазон измеренных значений составил 45–120,4 мкЗв/сут. Сопоставление с измеренными значениями мощности дозы на поверхности фантома показывает, что вклад дозы нейтронов может составлять до 20 % от полной дозы. В докладе приводятся подробные результаты такого анализа.

ДИНАМИКА СУТОЧНЫХ ДОЗ НА МКС ВНУТРИ ШАРОВОГО ТКАНЕЭКВИВАЛЕНТНОГО ФАНТОМА ПО ДАННЫМ ДОЗИМЕТРА «ЛЮЛИН-5»

**Черных И.В., Бенгин В.В., Петров В.М., Шуршаков В.А., Ярманова Е.Н.,
Семкова Й.*, Колева Р.*, Малчев С.*, Банков Н.**, Лягушин В.И.*****

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Институт солнечно-земных связей, БАН, София, Болгария

**Институт космических исследований, БАН, София, Болгария

***РКК «Энергия» им. С.П.Королева», г. Королев, Россия

Дозиметр «Люлин-5» представляет собой телескоп из 3 кремниевых детекторов и предназначен для исследования динамики дозы внутри сферического тканеэквивалентного фантома космического эксперимента «Матрешка-Р». Измеряемыми в эксперименте величинами являются поток заряженных частиц, мощность поглощенной дозы и спектр энерговыделения в детекторах. Дозиметр «Люлин-5» был доставлен на МКС в мае 2007 г. грузовым транспортным кораблем «Прогресс-25». Период измерений – с 28 июня по 16 октября 2007 г. В докладе представлены данные по динамике суточных доз на МКС на различных глубинах внутри фантома, включая оценку вклада частиц радиационного пояса Земли и галактического космического излучения.

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ САМОРЕГУЛЯЦИЯ КАК МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ В СТРЕССОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ КАМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Шапошников Е.А., Мякишева Ю.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Актуальность сохранения полноценного психического здоровья в условиях камерной изоляции неуклонно возрастает в связи с усложнением технического обеспечения подобных модельных экспериментов и возрастанием стрессогенных факторов риска (в том числе со стороны СОЖ) по мере увеличения их длительности.

В этой связи является весьма востребованной необходимость разработки эффективных, комфортных и безопасных методов профилактики и коррекции вероятных негативных, стрессогенно обусловленных изменений эмоциональной реактивности и адаптивного поведения в группе.

В рамках 14-суточного биотехнического эксперимента по отработке и оценке системы обеспечения модулей ЭУ-150 и ЭУ-100 медико-технического комплекса проведено исследование профилактической результативности метода психофизиологической саморегуляции (на базе классической аутогенной тренировки – АТ) у 6 испытуемых (5 мужчин и 1 женщина). Процедура АТ проводилась по общепринятой схеме ежедневно в условиях камерной изоляции каждым обследуемым индивидуально.

Было установлено, что метод АТ вызвал у испытуемых позитивный личностный интерес, благоприятно воспринимался и рассматривался ими (после озна-

комления) как полезное средство для поддержания работоспособности (оценивалось в дневниковых самоотчетах), хорошего самочувствия, достаточной активности и сбалансированного настроения (последние три показателя оценивались с помощью метода САН). Определялась также динамика АД и ЧСС под воздействием каждой процедуры АТ. Было отмечено стабильное состояние данных показателей, отсутствие негативных изменений на различных этапах эксперимента, что имеет профилактическое значение.

Метод аутогенной тренировки, обладающий потенциальной возможностью повысить адаптационный ресурс личности, целесообразно использовать как перспективный и безопасный способ оптимизации работоспособности и эмоционально-поведенческой реактивности в экстремальных условиях профессиональной деятельности, в том числе в модельных экспериментах с камерной изоляцией.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ И КРИТЕРИЕВ К НОРМИРОВАНИЮ РАДИАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОСМОНАВТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДЛИТЕЛЬНОМУ ПОЛЕТУ НА МАРС С УЧЕТОМ УТОЧНЕНИЯ ВЕЛИЧИН БЛИЖАЙШИХ И ОТДАЛЕННЫХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ

Шафиркин А.В., Коломенский А.В., Петров В.М.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Последние нормативы, касающиеся ограничения пределов доз на космонавтов при межпланетных полетах длительностью до 3 лет, были выпущены в 1985 г. (ГОСТ 25645.215-85). В этом документе устанавливались предельные значения радиационного риска за полет для космонавтов в зависимости от его длительности. Значения радиационного риска (увеличения вероятности смертности в процессе полета) определялись по изменению возрастной зависимости коэффициентов смертности, а именно увеличению их абсолютных значений за счет формирования радиационного поражения в системе кроветворения (модель обобщенного радиобиологического эффекта ГОСТ 25645.214-85).

С 1990 по 1996 г. изменилась концепция нормирования, которая строится в настоящее время на ограничении эффективной дозы и используется только для расчета канцерогенного риска. За это время были в 2,5 раза снижены предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия ионизирующих излучений (ИИ) на профессиональных работников на Земле и в 4 раза для космонавтов при длительных орбитальных полетах (Методические указания МУ 2.6.1 44-03-2004).

В то же время продолжало развиваться представление об опасности воздействия на космонавтов ИИ с использованием другой концепции обобщенной дозы. В большом числе исследований на основе этой концепции уточнены значения рисков в процессе полета и впервые представлены расчеты суммарных радиационных рисков в течение жизни космонавтов, рисков развития опухолей, оценено также возможное сокращение продолжительности жизни (СПЖ) после завершения межпланетных полетов различной продолжительности, осуществляемых в различные периоды солнечной активности за различными толщинами защиты.

В новых документах применительно к полету на Марс произошли определенные проектные изменения. Предусматривается вместо ядерно-энергетической двигательной установки (ЯЭРДУ) использование электрореактивных двигателей малой тяги, при использовании которых увеличивается длительность полетов до 2–2,5 года и дополнительно возрастет опасность из-за прохождения корабля через радиационные пояса Земли.

С учетом современных данных в докладе будут обсуждены указанные выше вопросы, оценен новый масштаб суммарного радиационного риска для космонавтов в течение жизни, а также другие радиационные риски, рассмотрены дозовые функционалы для оценок риска с указанием их достоинств и недостатков. Будут рассмотрены также некоторые новые подходы к нормированию воздействия ИИ на космонавтов применительно к полету на Марс.

РАДИАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ КОСМОНАВТОВ ПРИ ПОЛЕТЕ К МАРСУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ

Шафиркин А.В., Коломенский А.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Ранее нами рассмотрены варианты полета к Марсу в случае использования комплекса двигателей, включающего жидкостный реактивный двигатель (ЖРД) и ядерно-энергетическую двигательную установку (ЯЭРДУ). В этом случае основными источниками радиационной опасности при осуществлении полета к Марсу, которые давали значимый вклад в дозу и принимались во внимание, были галактические космические лучи (ГКЛ) и солнечные космические лучи (СКЛ), а продолжительность всей экспедиции сокращалась до 530–615 сут. Было показано, что при этом варианте полета к Марсу и толщинах защиты 20 г/см² алюминия можно обеспечить уровень безопасности, требуемый последним нормативным документом, принятым в 2004 г., ограничивающим уровни облучения космонавтов при орбитальных космических полетах в течение всей жизни величиной средне-тканевой эквивалентной дозы 100 сЗв.

Последние разработки представляют более предпочтительный из-за экономических соображений и большей безопасности вариант осуществления полета с использованием электрореактивных двигателей малой тяги. В этом случае, однако, увеличивается длительность полета, которая может составить от 2 до 2,5 года, и возрастает дозовая нагрузка на космонавтов от ГКЛ и СКЛ, а также становится существенным вклад в суммарную дозу от протонов радиационных поясов Земли (РПЗ), что приведет к увеличению радиационной опасности.

В докладе будут подробно рассмотрены основные источники радиационной опасности при осуществлении полета к Марсу в случае полета на малотяговом электрореактивном двигателе, величины дозовых нагрузок на космонавтов при полетах длительностью 2 и 2,5 года за различными толщинами защиты. Будут представлены величины суммарного радиационного риска в течение жизни кос-

монавтов в зависимости от длительности полета и толщины защиты космического корабля при различной скорости и длительности раскрутки пилотируемого космического аппарата в радиационных поясах Земли.

ТЕРМОБАРОКАМЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Шибанов Г.П.

Летно-испытательный центр им. В.П.Чкалова, Россия

Реальное функционирование бортового оборудования пилотируемых космических комплексов (ПКК) происходит в условиях воздействия характерных факторов полета. Поэтому необходима предварительная наземная оценка влияния подобных факторов на работоспособность указанного оборудования в такой среде, которая бы воспроизводила условия полета. Целесообразность такой оценки определяется тем, что уже на раннем этапе разработки бортового оборудования (например, регенеративных систем обеспечения жизнедеятельности, систем терморегулирования и др.) представляются расширенные возможности выявить его дефекты и недостатки, исключить их проявление при проведении летно-космических испытаний и тем самым обеспечить безопасность выполнения последних. Это объясняется особенностями организации и технологии проведения наземных термобарокамерных испытаний, в которых проявляются отдельные их преимущества перед летно-космическими:

1. В наземных условиях испытываемая система может быть детально препарирована и оснащена более совершенной измерительной аппаратурой, а измерения можно производить в значительно большем объеме, чем при летно-космических испытаниях. Сказанное обусловлено тем, что требования минимизации массы и габаритов измерительной аппаратуры, а также потребляемой мощности утрачивают то значение, которое придает им при летно-космических испытаниях.

2. Имеется возможность обеспечить обработку экспериментальных данных в темпе проведения эксперимента, что позволяет оперативно и активно влиять на его ход и результаты.

3. Затраты на проведение наземных термобарокамерных испытаний в 10–30 раз меньше, чем затраты на выполнение летно-космических экспериментов.

4. Ряд оценок в условиях летно-космических испытаний невозможно осуществить без снижения уровня безопасности полетов (из-за выделения в процессе проведения экспериментов опасных для здоровья экипажа токсических веществ, возгорания интерьеров кабин и электропроводки с опасным загрязнением газовой среды продуктами сгорания и аэрозольными элементами пожарогасящих веществ, появления колоний опасных патогенных микроорганизмов и др.).

Термобарокамерная испытательная база используется как для наземной обработки средств жизнеобеспечения экипажей ПКК, так и для подготовки экипажей к работе в условиях космического полета и применения специального защитного снаряжения. Ее роль возрастает по мере увеличения продолжительности космических полетов и неизбежного при этом усложнения бортового оборудования ПКК (в частности, применения на борту регенеративных физико-химических и биотех-

нических систем обеспечения жизнедеятельности, усложнения и расширения номенклатуры защитного и профилактического снаряжения и др.).

Проведение комплексных испытаний регенеративных систем обеспечения жизнедеятельности (РСОЖ) экипажей пилотируемых космических аппаратов (ПКА) на экспериментальных установках, размещенных в термобарокамерах, позволяет смоделировать практически все (за исключением невесомости и космической радиации) факторы космического полета, влияющие на работу РСОЖ в целом и ее жизненно важных подсистем (водообеспечения, очистки газовой среды, переработки отходов и др.): космический вакуум, теплообмен с окружающим пространством, скорость изменения давления атмосферы при выведении и спуске ПКА, штатный состав и давление атмосферы в кабине ПКА.

Эксперимент, проведенный на интегрированной РСОЖ с участием экипажа в условиях, максимально приближенных к реальным, позволяет получать наиболее достоверные в наземных условиях данные, так как элементы системы, включая экипаж, испытывают здесь все возможные в реальном полете воздействия со стороны смежных элементов, узлов, блоков и подсистем. Кроме того, появляется возможность оценить особенности обслуживания РСОЖ силами экипажа, что становится особенно актуальным с усложнением бортовых систем. По опыту наземной отработки РСОЖ российского модуля Международной космической станции (МКС) до 35–40 % выявленных недостатков приходится именно на характеристики ее обслуживания силами экипажа.

Современные программы космических исследований ориентированы на значительный объем деятельности экипажей вне ПКК, связанной как с формированием орбитального комплекса, так и с обслуживанием оборудования на внешней его поверхности, а в ближайшем будущем и с работой на поверхностях планет и их спутников.

Усложнение скафандров с автономными индивидуальными системами обеспечения жизнедеятельности и средств шлюзования приводит к значительному росту трудозатрат космонавтов на подготовительно-заключительные операции, снижает оперативную готовность к выходу экипажа в открытое космическое пространство. Операции выхода космонавтов в открытый космос являются одними из наиболее сложных и опасных, требуют детальной отработки в наземных условиях. В комплексе средств подготовки экипажей ПКА термобарокамерные экспериментальные установки оказываются наиболее продуктивными: они обеспечивают отработку в условиях, близких к реальным, до 92 % операций по работе со средствами внекорабельной деятельности и до 65 % работ, связанных с локализацией и парированием расчетных нештатных ситуаций.

Успешному решению всего комплекса задач, связанных с обеспечением безопасности при подготовке космонавтов к реализации внекорабельной деятельности и работе в условиях появления нештатных ситуаций, способствует то, что отечественные термобарокамерные экспериментальные установки (ЭУ) представляют собой натурные макеты ПКА, укомплектованные штатными РСОЖ и имитаторами оборудования, оказывающего влияние на работу РСОЖ и экипаж (испытателей);

- материалы интерьера и бортовые системы, смонтированные в ЭУ, являются штатными, поскольку они влияют на состав вредных примесей в атмосфере и на процессы теплообмена;
- макеты ПКА имеют внешнюю теплоизоляцию, обеспечивающую имитацию теплообмена с окружающей средой в реальном полете;
- негерметичность макетов соответствует допустимой на ПКА негерметичности;
- свободный объем шлюзовых отсеков соответствует штатному (допустимые отклонения составляют 3–5 %);
- макеты ПКА оборудованы устройствами разгрузки космонавтов (испытателей) от веса скафандров, обеспечивающими необходимые перемещения и имитацию нагрузки, соответствующей выполняемым задачам;
- в макетах обеспечивается критическое истечение газов при работе систем сброса давления на всех участках циклограммы шлюзования и условия для нормального функционирования автономных систем терморегулирования выходных скафандров (сублимационных теплообменников), а также поддержание установленного уровня давления в разгерметизированном шлюзовом отсеке при наличии естественных натеканий газа и паров воды при работе бортовых систем и скафандров.

Применительно к пилотируемой космонавтике с учетом сказанного выше в докладе подробно излагаются особенности, состав и дается оценка возможностей отечественной термобарокамерной базы по проведению государственных совместных с промышленностью испытаний РСОЖ и другого бортового оборудования ПКА. Сопоставляются характеристики отечественной и зарубежных испытательных баз, используемых для отработки и термобарокамерных испытаний бортового оборудования ПКК. Делается вывод, что отечественная база позволяет обеспечить однотипные испытания при меньшей в 2–3 раза реально потребляемой мощности и с меньшими примерно в 1,6–2,2 раза затратами.

ЛАЗЕРНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭНДОГЕННОЙ ОКИСИ УГЛЕРОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОСМОНАВТА В СЖО ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДАЛЬНЕГО КОСМОСА

Шулагин Ю.А., Степанов Е.В., Дьяченко А.И.*

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва, Россия

Длительные космические полеты за пределами магнитосферы Земли, в том числе к Марсу, требуют оценки степени воздействия на человека опасных факторов (радиация и длительное пребывание в замкнутом объеме) во время этих полетов. Еще в исследованиях 70–80-х годов было обнаружено увеличение выделения некоторых газообразных метаболитов, в том числе и оксида углерода (СО), из организма в результате воздействия ионизирующего излучения (Тиунов Л.А., Кустов В.В., 1966–1980). Таким образом, можно предположить, что контроль радиационного воздействия на человека может быть осуществлен путем неинвазивного мониторинга выделения эндогенного СО с выдыхаемым воздухом.

Исследования последних лет показали, что эндогенный CO может быть использован в качестве биомаркера некоторых физиологических и биохимических процессов, протекающих в живом организме. Анализ выделения эндогенного CO с выдыхаемым воздухом дает возможность для неинвазивного определения ряда важных физиологических параметров (скорости катаболизма гемсодержащих белков в организме, уровня гемоглобина, вариаций эффективности транспорта кислорода к тканям, вариаций кислотно-основного состояния в организме).

Нами были разработаны методы и приборы лазерного спектрального анализа (на уровне действующих образцов-прототипов), предназначенные для детектирования CO и других легких молекул-биомаркеров типа NO, NH₃ и CH₄ с чувствительностью ~ 1 мкг/м³ и близкой к 100 % селективностью в сложных газовых смесях, таких, как выдыхаемый человеком воздух, при содержании N₂ и O₂ на уровне десятков процентов и H₂O и CO₂ – на уровне 3–6%.

В лабораторных и клинических исследованиях была показана применимость разработанных лазерных приборов и методов для контроля параметров дыхания в исследованиях по нормальной и гипербарической физиологии и физиологии дыхания, для неинвазивной диагностики заболеваний в гастроэнтерологии, гепатологии и пульмонологии, а также определения эффективности используемых терапевтических подходов. На основании полученных результатов было обосновано использование методов диодной лазерной спектроскопии для высокочувствительного спектрального анализа газообмена живых организмов и применений в фундаментальных биомедицинских исследованиях и клинической диагностике.

С помощью разработанных методов нами были исследованы основные закономерности и механизмы образования, транспорта и выделения CO с выдыхаемым воздухом у человека и лабораторных животных. Разработанные методы были неоднократно апробированы в применении к мониторингу содержания CO в гермообъеме (15 м³) при многосуточных (до 14 сут) экспериментах с пребыванием до 3 человек. Результаты исследований показали наличие у испытуемых дневных и суточных ритмов выделения эндогенного CO.

Для разработки надежного неинвазивного метода оценки радиационного воздействия в космическом полете требуются исследования закономерностей образования, транспорта и выделения CO с выдыхаемым воздухом в условиях, моделирующих космический полет, как у животных, так и у человека и создание нового поколения портативных высокочувствительных и высокоселективных аналитических приборов, предназначенных для решения этой проблемы.

ПРИНЦИПЫ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ (МКС)

Шумилина Г.А.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Санитарно-гигиеническое обеспечение космических объектов включает в себя комплекс мероприятий, направленных на удовлетворение требований личной гигиены космонавтов и поддержание оптимальных бытовых условий.

Подход к созданию принципов санитарно-гигиенического обеспечения космонавтов и астронавтов основывается на большом фактическом материале, накопленном российскими и американскими специалистами за период, предшествующий совместным полетам на МКС.

Специалистами двух стран в составе совместной Рабочей группы по обеспечению экипажей разработана концепция интеграции процессов обеспечения экипажей МКС средствами личной гигиены, одежды и средствами для поддержания чистоты в объекте.

Создан каталог, определяющий состав российских и американских гигиенических средств и нормы их расходования во время полета, определена квота поставки изделий от каждой страны, установлены правила по размещению и хранению запасов средств.

Результаты мониторинга использования гигиенических средств во время полетов на МКС 15 основных экспедиций подтвердили правильность принципов создания системы санитарно-гигиенического обеспечения, выработанных на основании консолидированного подхода к решению поставленной задачи. Однако очевидно, что существующая на МКС система гигиенического обеспечения – это только фундамент для совместных многосторонних исследований, направленных на ее совершенствование.

В свете планирования межпланетных полетов потребуются создание надежной и комфортной системы санитарно-гигиенического обеспечения, соответствующей требованиям нового этапа освоения космоса с использованием перспективных технических и технологических возможностей.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СОЗДАНИЮ СИСТЕМ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПИЛОТИРУЕМОГО ПОЛЕТА НА МАРС

Шумилина И.В.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Россия имеет богатый опыт осуществления программ пилотируемых космических полетов, в том числе международных. Системы жизнеобеспечения (СЖО) существующих космических аппаратов в основном основаны на запасах.

Задача освоения дальнего космоса требует создания системы жизнеобеспечения регенерационного типа, так как создание запасов расходуемых веществ при длительных межпланетных полетах невозможно из-за весовых ограничений летательного аппаратов, а пополнения запасов с Земли, вероятно, невозможно.

Реализация пилотируемого полета на Марс невозможна без научнообоснованного, разработанной и испытанной системы санитарно-гигиенического обеспечения, принципиально отличной от ныне существующей и основанной на запасах.

В настоящее время в условиях космического полета не осуществляется стирка одежды, белья, средств личной гигиены (СЛГ). Новая одежда, белье, СЛГ поступают на корабли и орбитальные станции с Земли, а затем, после кратковременного использования, удаляются в сборник отходов.

В условиях длительных межпланетных полетов в случае невозможности пополнения запасов необходима гигиеническая обработка текстильных материалов (одежды, белья, гигиенических средств).

При моделировании пилотируемого полета на Марс запланировано изучение возможности удаления компонентов загрязнений с белья и одежды и исследование режимов гигиенической обработки текстильных материалов.

Проведение данных исследований необходимо для создания исходных данных для разработки «космического варианта устройства», предназначенного для санитарно-гигиенической обработки белья и одежды (стирки, сушки или иного вида обработки) и системы регенерации санитарно-бытовой воды, например, на основе нанотехнологий.

Данные исследования следует рассматривать как часть исследований по созданию комплекса санитарно-гигиенического оборудования нового поколения для межпланетных полетов (такого, как сауна, рукомойник, душ и т.д.), совместимого с системами жизнеобеспечения, в частности, с системой регенерации воды.

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТКАНЕЙ ИЗ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА В СОСТАВЕ БЕЛЬЯ И ОДЕЖДЫ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

**Шумилина Г.А., Богатова Р.И., Соловьева З.О., Кутина И.В.,
Грищенко В.А. ***

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*ОАО «ЦНИИЛКА», Москва, Россия

Одной из многочисленных функций СЖО пилотируемых космических кораблей является санитарно-гигиеническое обеспечение экипажа, включая процедуры личной гигиены, гигиеническую обработку жилых модулей, а также обеспечение экипажа бельем, одеждой и обувью. Одежда космонавтов предназначена для поддержания жизнедеятельности человека в процессе космического полета. Большой интерес в этом плане представляют ткани, содержащие лен. Изделия из льняного волокна обладают рядом уникальных медико-биологических свойств, обеспечивающих быструю и комфортную адаптацию человека в неблагоприятных и экстремальных условиях. Они способны угнетать жизнедеятельность болезнетворной микрофлоры, обладают высокой фильтрующей и сорбционной способностью. В системе показателей их качества важнейшее значение имеют гигиенические, определяющие микроклимат у поверхности тела человека, тепло- и газообмен его с окружающей средой. В ГНЦ РФ – ИМБП РАН в условиях гермокамерного эксперимента с гипокинезией с участием испытуемых проведены исследования, предусматривающие применение нательного и постельного белья для испытуемых, изготовленного из хлопка и льна. Одежда и постельное белье для испытуемых были разработаны и предоставлены для экспериментальных исследований ОАО «ЦНИИЛКА». Осуществлен анализ гигиенических свойств одежды из льняных и хлопчатобумажных текстильных материалов применительно к условиям гермо-

объектов и их влияние на физиолого-гигиенические характеристики человека. Отмечено, что изменения уровня общей микробной обсемененности покровных тканей испытуемых, носивших как хлопковое, так и льняное белье характерны для микрофлоры человека в измененных условиях обитаемости. В результате исследований образцов изделий из льна было установлено, что белье из льняного полотна не оказывает отрицательного действия на кожу, обладает высокой воздухопроводностью и тепловой способностью, достаточно гигроскопично. Кроме того, средневзвешенная температура кожи и средневзвешенная температура тела у испытуемых, применявших одежду и постельное белье из льна, была стабильно ниже, чем у испытуемых, носивших одежду из хлопка.

ЛОКАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Шуршаков В.А., Бондарева Т.А., Ярманова Е.Н., Мацкевич А.Ю.*, Николаев И.В.*, Сато Т., Ниита К.****

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

*РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

**Японское агентство по атомной энергии, г. Токай, Япония

Как известно по имеющимся расчетным и экспериментальным данным, каюты космонавтов в служебном модуле (СМ) МКС являются наименее радиационнозащищенным отсеком, где космонавты тем не менее могут проводить длительное время, 8 часов в сутки и более. В работе рассмотрена возможность использования в качестве дополнительной локальной защиты каюты средств личной гигиены (СЛГ) экипажа – «салфетки влажные» и «полотенца влажные», на 2/3 состоящих из воды. СЛГ размещаются в специальной укладке в 3–4 слоя на наружной стенке каюты, при этом толщина наружной защиты увеличивается на 7–8 г/см² водного эквивалента по отношению к первоначальной защите 1,2 г/см² алюминия. Общая масса локальной защиты составляет 60 кг, толщина, уменьшающая объем каюты, не превышает 9 см. Модельные расчеты, проведенные в трехмерной геометрии для одной из кают СМ с использованием программы RHITS (Particle and Heavy Ion Transport), показывают более высокую эффективность радиационнозащитных свойств воды по отношению к алюминию в терминах эффективной дозы. Ожидаемый защитный эффект в невозмущенных условиях (при отсутствии солнечных протонных событий) составляет ~15 % по эффективной дозе при 100 % времени нахождения космонавта в каюте. На борту МКС на сегодняшний день укладки с СЛГ занимают достаточно большой объем запанельного пространства. Размещение СЛГ на стенках каюты в специальной укладке дает возможность освободить запанельное пространство и более четко отслеживать использование СЛГ в соответствии с их сроком годности. Одновременно достигается экономия затрат времени экипажа на определение неиспользованных складированных остатков СЛГ. Экспериментальная проверка предложенного комплексного подхода к улучшению условий обитаемости членов экипажа запланирована на РС МКС с использованием изделия «Шторка защитная» в космическом эксперименте «Матрешка-Р».

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ УДАЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ИЗ АТМОСФЕРЫ МКС

**Юргин А.В., Романов С.Ю., Гузенберг А.С., Слыщенко А.Н.,
Телегин А.А.**

РКК «Энергия» им. С.П.Королева, г. Королев, Россия

Регенерационная система очистки атмосферы от диоксида углерода «Воздух» эксплуатируется в служебном модуле (СМ) Российского сегмента (РС) МКС с ноября 2000 г.

Система основана на циклическом поглощении диоксида углерода и регенерации поглотительных фильтров в космический вакуум. Ее особенности – фильтры с поглотителями, не теряющими эффективность при поглощении влаги, регенерируемые в вакуум без специального подогрева, и конструкция, позволяющая в течение нескольких минут заменять сменные агрегаты (блоки вакуумных клапанов, вакуумный насос и др.) при необходимости.

За 7,5 года эксплуатации системы на РС МКС ею удалено более 8 т диоксида углерода, выделяемого членами экипажа МКС в процессе жизнедеятельности. За время эксплуатации система поддерживала содержание CO_2 в атмосфере в пределах установленных нормативов.

Перерывы в работе системы составили менее 0,05 % от суммарного времени эксплуатации системы на РС МКС. Перерывы в работе системы в основном были вызваны необходимостью анализа неисправности, поиска и устранения причин, его вызвавших.

За годы эксплуатации имели место быть следующие основные неисправности и замечания к работе системы:

- неисправность третьей магистрали блока очистки атмосферы;
- заклинивание перепускного клапана нагнетателя в открытом положении;
- перегорание предохранителей на пульте ПУ СОА;
- отказ вакуумного насоса;
- отказ блока вакуумных клапанов;
- сбои в работе блоков вакуумных клапанов;
- отказ датчика давления вакуумного насоса;
- повышенный шум.

За время эксплуатации на РС МКС проведены следующие доработки системы:

- разработаны и внедрены средства снижения шума: кожух на лицевую панель блока очистки атмосферы, амортизатор на микрокомпрессор;
- отработаны различные алгоритмы автоматического управления расходом и продолжительностью циклов системы.

В докладе рассмотрены также направления модернизации системы очистки атмосферы от диоксида применительно к работе в составе регенерационного комплекса систем жизнеобеспечения.

CONSIDERATIONS REGARDING THE DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTAL CONTROL AND LIFE SUPPORT SYSTEM FOR LUNAR SURFACE APPLICATIONS

Bagdigian R.M.

NASA Marshall Space Flight Center

NASA is engaged in early architectural analyses and trade studies aimed at identifying requirements, predicting performance and resource needs, characterizing mission constraints and sensitivities, and guiding technology development planning needed to conduct a successful human exploration campaign of the lunar surface. Conceptual designs and resource estimates for environmental control and life support systems (ECLSS) within pressurized lunar surface habitats and rovers have been considered and compared in order to support these lunar campaign studies. This paper will summarize those concepts and some of the more noteworthy considerations that will likely remain as key drivers in the evolution of the lunar surface ECLSS architecture.

OPTIMUM CRITERIA IN THE DESIGN OF LSS FOR LONG-DURATION SPACE MISSIONS

Bartsev S.I., Mezhevikin V.V., Okhonin V.A.

Institute of biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Preparation of long-duration space missions includes R&D of LSS possessing specified characteristics. Since LSS can include different types of physical-chemical and biological components then the great variety of possible LSS configurations gives birth to the problem of the best variant choice. Consideration of only LSS configurations which are optimal with respect to accepted criteria allows reducing essentially the acuteness of the problem.

To calculating optimum LSS configuration a mathematical model specifying minimal component description sufficient for correct definition of optimum criterion was built. Computer program for calculation of optimum configuration of LSS including different sets of biological and physical-chemical regeneration components accounting their mass and energetic characteristics was developed

Optimum (with respect to total mass) configurations of LSS of different basic types (physical-chemical, biological, hybrid) for Martian mission were obtained. Since the differences of LSS of these basic types with respect to mass were shown to be not essential then the necessity to use more comprehensive criterion of flight LSS choice emerged.

A natural integral criterion of the kind is crew safety. To determine configurations of the most safety LSS a criterion of "integral reliability" was suggested. The reliability of space mission can be quantitatively measured via the probability of catastrophe which due to the smallness of summands can be presented as the sum of: 1) probability of LSS failure; 2) probability of catastrophe due to fatal crew mistake; 3) probability of catastrophe due to space ship systems failure.

It was shown usage of higher plants allows decreasing the total probability of catastrophe. At the same time not only LSS parameters themselves are essential for the mission success, but some parameters of mission scenario have to be optimized. Calculations of LSS configuration in accordance with criterion of integral reliability demonstrated the closure level realized in BIOS-3 facility is sufficient for space missions in the nearest decade.

USE OF GREENHOUSES WITH PLANTS FOR LIFE SUPPORT SYSTEMS OF MANNED AUTONOMIC SPACE MISSIONS

Berkovich Yu.A.

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

State Scientific Center of Russian Federation - Institute of biomedical problems of the Russian Academy of Science

Considering of the space LSS design in terms of Equivalent system mass (ESM) theory revealed much higher mass and energy cost for biological human life support systems (LSS) in comparison to the physical-chemical systems. 50% food growing LSS for Martian space vehicle has 5-10 times higher ESM than physical-chemical LSS with direct food supply like it is at ISS. The more share onboard food regeneration, the more biological to physical-chemical ESM ratio and longer the mission duration when food growing will be profitable. However, the minimum ESM criterion does not take into account environmental improvement inside space cabin due to plant growth and as result higher reliability of the entire space mission. During long term flights to Mars and at the surface bases small Plant Growth Chamber (PGC) with leafy greens could enhance food ration with fresh greenery with good adoptable vitamins and minerals. Simultaneously the growing plants can psychologically support crew members due to contact with the Earth biospherical element during the flight. Besides, plants treatment can relax a problem of the surplus free time inside small habitat for crew in the long-term mission. Biological and technological information about parameters of the space PGC during the flight would be important for the further increase of space PGC efficiency and probability. A number of effective cylindrical conveyer-type space PGC prototypes named "Phytoconveyer" (power consumption 0/25 kW) and "Phytocycle SD" (power consumption 0.5 kW) had been build at SSC of RF - Institute of Biomedical Problems. In addition, 4 modules of cylindrical conveyer-type space PGC prototype is elaborating to supply a crew of 6 for Martian transport vehicle by vitamins and minerals. The PGC has power consumption about 10 kW and entire volume about 3 m³.

OPERATION OF SEPARATION HARDWARE IN SYSTEMS FOR WATER RECOVERY SRV-K2M AND SPK-UM ON ISS, DEVELOPMENT PROSPECTS

Bobe L.S., Astafiev V.B., Soloukhin V.A., Rykhlov N.V., Andreychuk P.O.*, Protasov N.N.*

JSC «NIIchimmash», Moscow, Russia

*S.P.Korolev RSC «Energia», Korolev, Russia

One of most challenges solved in developing water recovery systems for space stations is the design of hardware for separation of gas-liquid mixtures. In a water recov-

ery system from humidity condensate (SRV-K2M) and a system for urine feed and pre-treatment (SPK-UM) the process of separation is carried out when humidity condensate and urine are fed in.

In the system SRV-K2M the static separation based on capillary effects is used. The condensate is transported by carrier air through tubular elements with capillary-porous walls. The liquid contacting the walls is sucked away through them due to the pressure drop created by the spring membrane tank and air is vented to the atmosphere. Pressure drop should not exceed limited capillary pressure in capillars of the wall, in this case gas does not pass in a liquid cavity and complete separation of a liquid and gas is carried out. Power consumption in separation is required for the removal of water from the membrane tank after its filling and is equal to no more than 0.5 W-hr per liter of the separated liquid. The lifetime of a separator is defined by filtering of a liquid through a porous wall of tubes and is high enough owing to optimization of porous structure. Specific mass for separation is in the order of 0.01 kg per liter of the separated liquid.

In system SPK-UM for urine reclamation (considerably more contaminated liquid, than humidity condensate) a rotary separator is used. Urine is transported by air to the separator, is rejected to the walls of a rotating rotor and is transported to a cavity where it forms a rotating liquid ring. In this cavity non-rotatable pilot pumps (Pitot tubes) are located through which the pressure of a liquid, specifying the level of a liquid in a ring, to the sensors of a control system and pumping-out of a liquid from the separator is carried out. The separator provides complete separation of urine and air. With a 3 person-crew on the station specific power and mass for separation are accordingly 30 W-hr and 0.005 kg per liter of the separated liquid.

In the paper data on the design and operation of separators on space station and means of lifetime increase of separators and mass decrease on separation are reviewed.

OPERATION OF A SYSTEM FOR WATER RECOVERY FROM HUMIDITY CONDENSATE SRV-K2M ON THE INTERNATIONAL SPACE STATION ISS, DEVELOPMENT PROSPECTS

Bobe L.S., Soloukhin V.A., Borovikova G.S., Astafiev V.B., Bocharov S.S., Andreychuk P.O.*, Protasov N.N.*, Zapryagailo E.D.*, Sinyak Yu.E.,
Rakov D.V.****

JSC «NIIChimmash», Moscow, Russia

*S.P.Korolev RSC «Energia», Korolev, Russia

**SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

The system SRV-K2M has been in operation on the international space station (ISS) since November 2, 2000 (from the beginning of the manned flight). The system takes in humidity condensate in the form of a gas/liquid mixture from the air conditioning system, removes particulates, oxidizes catalytically organic contaminants in a two-phase stream, separates the liquid in a static separator by capillary force, removes organic and inorganic contaminants from the liquid by sorption/catalytical and ion-

exchange means, saturates the purified liquid with food salts, microelements and silver ions, decontaminates it thermally to potable grade and dispenses it to the crew.

In the system in microgravity such processes as filtering, catalysis, separation, sorption, pasteurization, transportation and storage of a liquid are realized with the minimal power consumption.

With a 3-person crew the systems daily average power consumption is 30 W, specific power is 2 W-hr per liter of the recovered water. Long operation of the system is provided due to replacement of the units which lifetime has ended. Specific mass in case of replacement of the hardware is 0.08 kg per liter of the recovered water that is 15 times less than expenses for delivery of water which is 1.3 kg per liter of the recovered water.

As of March 31, 2008 the system has recovered and provided more than 10000 liters of potable water that makes 45% of total water consumption on the station. The economy of delivery from the Earth of cargoes of 13000 kg is provided. Quality of water fully complies with the potable water specifications.

Operation of the system SRV-K2M on ISS has allowed data for updating of the hardware and development of the similar system for interplanetary flights to be obtained.

In the paper the results of operation of the system on ISS and the means of the further improvement of the system are reviewed.

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION OF THE BIOLOGICAL LIFE SUPPORT SYSTEM MODULE

Degermendzhy A.G., Gubanov V.G., Barkhatov Yu.V., Tikhomirov A.A.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The mathematical model based upon kinetic coefficients and dependencies obtained during the experiments was constructed to estimate the functioning pattern of the BLSS experimental module (Tikhomirov et al., 2003a, 2003b) and its controllability. The mathematical model consists of two compartments – of two compartments – the “phytotron” model (with wheat and radish) and the “mycotron” model (for mushrooms). The following components are included into the model: edible mushrooms (mushroom fruit bodies and mycelium); wheat; radish; straw (processed by mycelium); dead organic matter in the phytotron (separately for the wheat unit and for the radish unit); worms; worms` coprolites; vermicompost used as a soil-like substrate (SLS); bacterial microflora; mineral nitrogen, phosphorus and iron; products of the system intended for humans (wheat grains, radish roots and mushroom fruit bodies); oxygen and carbon dioxide. At continuous gas exchange, the mass exchange between the compartments occurs at the harvesting time. The conveyor character of the closed ecosystem functioning has been taken into account – the number of culture age groups can be controlled (in experiments and in the model – 4 and 8 age groups). The conveyor cycle duration can be regulated as well. The module was designed for the food and gas exchange requirements of 1\30 of a virtually present human.

The model also allows for the following processes: photosynthesis of wheat and radish in relation to the crop age, irradiance, the amount of biogenic elements; respiration of mushrooms, worms, bacteria and a human; consumption of grain and radish roots by a human and a return of biogenic elements in the mineral form; utilization of dead phytomass by worms and bacteria; processing of wheat straw by mushroom mycelium; conversion of worms' coprolites into the mineral form by bacteria. Continuous dynamic processes going in each of three system compartments are described by differential equations written in terms of mass using subsidiary conditions for parameters and discrete relations.

The model estimates the values of all dynamic components of the system under various conditions and modes of functioning, especially those, which are difficult to be realized in the experiment. The model allows dynamic calculation of biotic turnover closedness coefficient for main considered elements. The ratio of any i^{th} biogenic element flow on the producer link to the sum of the same flow and the flow of element coming into the deadlock sediments is the closure measure of any i^{th} element (coefficient C_i).

DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE AIR REVITALIZATION AND MONITORING SYSTEM FOR INTERPLANITARY FLIGHTS

Gavrilov L.I., Kurmazenko E.A., Tomashpolskiy M.Yu., Kochetkov A.A., Proshkin V.Ju.

JSC «NIIChimmash», Moscow, Russia

Regenerative Air Revitalization and Monitoring system (RARMS) as a Integrated Life Support System (ILSS) of the interplanetary vehicle is intended for maintenance in the pressurized manned modules of an atmosphere necessary chemical compound on the basis of transformation of the metabolism products to initial components of an inhabitancy.

Generally the RARMS structure includes the separate systems intended for: generation of oxygen, carbon dioxide removal and its concentration, trace contaminant control, carbon dioxide reduction for the obtaining additional quantity of water necessary for increase of the closing degree on oxygen, monitoring of an atmosphere parameters in pressurized manned modules.

The main restrictions on the RARMS development for various programs of space research and types of spaceflight vehicles and planetary bases are examined in the paper.

The expediency of the planet natural resources application is shown at the planetary base RARMS development.

Separate alternatives of the RARMS different perspective structures are considered and the estimation of their efficiency on a unified parameter 'equivalent mass' is conducted.

BIOS – A HABITABLE BIOTECHNOLOGICAL INTERNALLY CONTROLLED LIFE SUPPORT SYSTEM

Gitelson I.I., Lisovsky G.M.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The purpose of this communication is to describe stages in the development of the experimental system, its parameters, results, new tasks, and possible space and terrestrial uses. The basis for the sustainable material cycling including human external metabolism is the method of parametric control of biosynthesis in continuous cultures of populations of unicellular organisms and higher plants.

In Bios-1, based on this principle, gas exchange between a human in a sealed cabin and continuous *Chlorella* culture maintained O₂ concentration at a steady level of 21±1%, and CO₂ concentration at a level of <1.0%. Thus, the gas exchange function of the LSS was effected due to a biological process. The photosynthesis-based continuous process can perform the gas and water exchange functions of the LSS. This was done in Bios-2.

The third basic function of the LSS – food regeneration – can be performed in the foreseeable future only by the biological method. A technology has been developed that allows continuous cultivation of higher plants under subirrigation conditions. With all parameters optimized, the efficiency of photosynthesis and biological production of higher plants compared well with that of microalgae. In Bios-3, based on this achievement, plants performed all three life support functions.

The medical-physiological monitoring of the state of test subjects conducted by the IBMP laboratory at the Institute of Physics did not reveal any changes in their physiological status either during the experiment or afterwards.

However, experiments revealed the issues that require further work. These are: increasing the rate of material cycling in the system and attaining near-closure of the system; improvement of physicochemical and biological methods of destruction; creation of the full biochemical analog of animal proteins and lipids; genetic modification of plants aimed at bringing their products of biosynthesis in agreement with human food requirements; further automation of technological processes; creation of the “electron brain” that would monitor and control the system and minimize the involvement of the crew in controlling the LSS.

These directions are united in the project aimed at constructing the system of the new generation – Bios-4. Even before they are used in space, technologies developed for the BLSS can be used on Earth, in very important applications. This can be construction of ecological buildings with a partially closed material cycling and cascade energy systems. These buildings will dramatically improve the life of the residents of polar latitudes, arid zones, and alpine altitudes, without increasing expenditures for electric power.

Some of the studies conducted along these lines are reported in the papers presented by researchers of the Institute of Biophysics.

MICROBIOLOGICAL STUDIES IN THE BLSS SYSTEM: PROBLEMS AND PROSPECTS

Gitelson J.I., Somova L.A., Manukovsky N.S.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The microflora of a BLSS can be divided into functional and associate. Functional microflora is introduced deliberately into a BLSS and will perform a number of definite roles. For example, photosynthesizing microorganisms will be regenerators of the atmosphere; water bound consumers of human exometabolites and, depending on species, producers of partially edible biomass.

Functional microflora is amenable to human control. Vital activity of associate microflora, which is an integral part of every component of the system, is an important environment-forming factor (formation of the atmosphere, closing the trophic connections in the microalgal cultivator and so on).

The microflora of all components (the human, plants, microalgae and the habitat's environment, etc.) was examined during the course of all experiments with Bios.

It was shown the importance of microflora as a possible source of system disturbance.

High adaptability of microflora to habitat conditions makes it efficient for use as an indicator of the state of the system components and of the ecosystem as a whole. Preference in dominating factors controlling the microbial biota in the system should be given to ecological; its composition and numbers should be controlled by maintaining appropriate conditions in the habitat.

The only parameter that in the Bios experiments failed to reach a steady-state level was human and plant microflora. Thus, in the future experiments, microflora of the compartments and of the system as a whole is to be investigated in greater detail.

PROBLEMS AND PROSPECTS of investigations in the Bios system:

Monitoring of the dynamics of functional and associate microflora in Bios-type closed ecological systems, using the most recent microbiological and biotechnological achievements

1. Development of microflora in the BLSS and assessment of medical and technological risks associated with vital activity of microorganisms under these conditions
2. Investigation of dynamics of response and restructuring of microbial communities at different hierarchical (physiological, population, specific, and micro-ecosystem) levels, aimed at controlling them
3. Investigation of co-evolution of the system and microflora of the compartments – human, soil, plant (including test subjects' behavioral co-evolution) – in long-duration experiments with Bios-type systems
4. Incorporation of controlled microbial associations into system compartments to increase their functional activity
5. Use of microbial preparations to maintain normal microflora in humans (developed for cosmonauts at the Institute of Biomedical Problems (IBMP))
6. Use of new space technologies (IBMP) to maintain hygiene and sanitary conditions (treatment of surfaces and devices with preparations, use of special underwear).

MEDICAL-TECHNOLOGICAL ASPECTS OF LIFE SUPPORT SYSTEMS DEVELOPMENT FOR EXPLORATION OF OUTER SPACE

Grigoriev A.I., Baranov V.M., Bogomolov V.V., Sinyak Y.E.

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

Life support systems (LSS) of the crews of habitable space vehicles in conditions of outer space exploration will differ from LSS of orbital near-Earth flights. The main differences consist in absence of possibility to resume expendable materials, units, assemblies, in increased radiation status that will require search for new effective methods and means of radiation protection, in existence of hypomagnetic conditions of the environment, in possibility to use local planetary resources. For bases on other planets and stations the comprehensive decision could be development of closed ecological LSS on the basis of complete circulation of elements. For interplanetary space vehicles energetic and dimensional limitations do not allow to develop such systems. In these cases the main functions of LSS will be maintained by physical-chemical systems with increasing role of biological systems in proportion to increase of duration of flights.

Great corrections in development of LSS in long-term expeditions can be introduced by exobiological prohibitions to remove waste products of cosmonauts into space vacuum. (It is necessary to note that at the present time on International space station (ISS) all the waste is gathered on "Progress" spaceship and during the descend burns in dense Earth atmosphere). Not only moisture containing waste with microflora can be dangerous from the point of view of contamination of planet surfaces (for example, of Mars), but even CH_4 , synthesized on Sabatier reaction. In this case results of search for low-organized forms of life (one of the objectives of the Martian expedition) can be ambiguous.

It is necessary to expand works in the sphere of development of operative control of habitat quality. On board habitable vehicles it is necessary to develop a system of analysis on physical-chemical and microbiological indices of atmosphere, water, nutrition, interior, and also of separate technological units, aggregates, blocks that compose the whole life support system. (Sanitary-hygienic control of ISS environment is mainly conducted in ground-based laboratories, on the basis of results of physical-chemical and bacteriological analyses of air and water samples, delivered to Earth). It will be necessary to specify some Governmental standards, regulating safe norms on physical-chemical, microbiological, radiation and other indices, that can lead to necessity to look for new methods and means for development of life support systems of new generation. At this the priority will be to develop processes of deep oxidation of all harmful contaminants, that will lead to decrease of the mass of expendable materials and increase of resource characteristics of LSS units.

Special attention should be paid to radiation safety of the crew members. It is necessary to develop new approaches to decrease consequences of radiation influence of ionizing radiation not only during using mechanical, pharmacological, but also other methods and means (for example, constant consumption of water with decreased concentration of heavy stable isotopes of hydrogen and oxygen).

ELECTRICITY GENERATION FROM HUMAN FECES WITH MICROBIAL FUEL CELL

Hong Liu, Zhenglong Li*, Lingcai Kong*, Jingjie Teng*, Xinpin Du*

Bioengineering Department, Beihang University, Beijing

*Department of Environmental Engineering, Beihang University, Beijing

Microbial fuel cells (MFCs) can produce electricity from human feces, which can be used by the apparatus with low rated power. Meanwhile, MFCs can remove the organic matter in feces wastewater, producing clean water, which can be reused after proper treatments. This technology will play an important role in increasing the closure of the regenerative life support systems.

In this paper, feces wastewater was used as the fuel of MFCs. Preliminary experiment with a two-chambered MFC showed that a maximum power of 251mW/m² could be generated from feces. The organic matter removal reached more than 70% and ammonia was removed by 44%. However, compared with glucose, the performance of MFCs fed with feces wastewater was worse. The maximum power was lower and was kept in high level for less time. Due to different compositions of feces wastewaters, the power fluctuated between different cycles.

In order to improve the performance of MFCs fed with feces wastewater, this paper pretreated feces wastewater with anaerobic fermentation. The MFC fed with pretreated feces wastewater produced higher power than that with untreated wastewater. Compared with single MFC (maximum power density=16 mW/m²), the combination of pretreatment and MFC without sludge generated higher electrical power (28 mW/m²) and the volume of the MFC could be reduced, decreasing MFC cost.

LED LIGHT UNIT FOR THE "GREENHOUSE-MARS" PROJECT

Ivanova T.N., Sychev V.N.*, Levinskikh M.A.*, Ilieva I.I., Naydenov Y.N.

Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

*SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

Plants will be important component of the future Life Support Systems for long-term space mission to Mars. They will supply fresh food and purify cabin air for the crew. The creation of effective artificial lighting system for normal plant growth and development is one of the key technology problems. The basic requirements for the future space greenhouses lighting systems are: optimizing the parameters of luminous flux, light intensity and spectrum, for better plant development; using energy saving light-emitting diodes (LEDs); increasing design flexibility; minimizing environmental impact; continuously working without failure at least two years.

A Bulgarian team from the Space Research Institute - BAS developed a new Light Unit (LU) under the scientific cooperation with the Institute for Biomedical Problems (IBMP) - RAS, bilateral project "Greenhouse-Mars". Three types of monochromatic LEDs (Cree[®] XLamp[®] 7090 XR) in the red, green and blue (RGB) region of the spectrum are used. DMX programming device controls the different combinations of RGB radiation, thus allowing setting up the preferred Photosynthetic Photon Flux Density

(PPFD) in the range 0-400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, depending on the experimental requirement. PPFD of each color LEDs was measured separately and in combination using LiCor-6400 quantum sensor. The measurements of light intensity and distribution over the vegetation surface at different positions of the LU are given. Biotechnological tests with salad plants were carried out with both lighting source - LED LU and fluorescent LU, using the laboratory model of SVET-2 Space Greenhouse and the first results are discussed.

The new LU could be multiplied and used in the greenhouse for the Mars-500 experiment, planed with 3 sq. m sowing area, scheduled to start in 2009. Different plant species will be grown during this experiment and adding of LED lighting system could provide various combinations of RGB spectra in order to determine the most suitable conditions for plant growth and development. The psychological effect on the crew emotional frame (the dependence "plant - operator") will also be studied in this long-term experiment.

HARDWARE/SOFTWARE COMPLEX OF CREW'S SERVICE OF THE REGENERATION LIFE SUPPORT SYSTEMS OPERATION: FORMATION AND LOCALIZATION OF OFF-NOMINAL SITUATIONS

Khabarovskij N.N., Kurmazenko E.A., Tomashpolskij M.Y., Gavrilov L.I., Kochetkov A.A., Dokunin I.V., Kamaletdinova G.R., Baranov B.M.*, Demin E.P.*, Trjamkin A.V.*

JSC «NIIchimash», Moscow, Russia

*SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

The questions of the formation and localization of off-nominal situations on a Hardware / Software Complex of Crew's Service of the Regeneration Life Support System Operation (HSCCSO) are considered in the paper both at functions separate systems and at deviations of crew's inhabitancy controllable parameters values.

Software АПКООЭС envisions:

- the task of the off-nominal situations defined by the separate system functions;
- the task of the off-nominal situations defined by a deviation of controllable parameters of an inhabitancy;
- implementation of the system service during their functions.

The off-nominal situations at system functions are caused by failures in separate units or elements.

The off-nominal situations on values of controllable parameters of an inhabitancy arise at occurrence of the situations connected or with contaminants of an atmosphere, or at disturbance of the module compartment air-tightness, or at limitations under characteristics of other onboard systems. Service of the systems is carried out, when one of units of system produces the design life-time.

The corresponding indication at formation off-nominal situation and the voice warning) of crew is simultaneously formed. Also the regular reminder to crew about necessity of realization of scheduled service of systems is organized.

All actions of the operator are visualized in real time and are represented both on the camera terminal, and on the terminal of the instructor. In case of occurrence of an off-nominal situation in any from systems or in a complex as a whole, on the main screen there is a change of a condition of indicators to the precise instruction of problem system. For elimination of a problem it is necessary to pass in the screen of corresponding system and, having determined the reason of a off- nominal situation to execute corresponding procedure of its elimination. Upon termination of procedure of localization of an off-nominal situation it is necessary, having started system, it will be convinced under reading of indicators of the main display of nominal activity of a complex. Start and forced shut down implements each of systems from the corresponding display of system.

BIOLUMINESCENT ASSAY OF PLANT STRESS RESPONSES IN CLOSED LIFE SUPPORT SYSTEMS

Kratasyuk V.A., Esimbekova E.N.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Vegetation conditions of plants in the model closed life support systems of astronauts (LSS) are dramatically differ from that of usual earth (low pressure and CO₂ concentration etc.). There is request in sensors for plants condition assay in automated control systems of LSS. The bioluminescent sensors for monitoring of the key metabolites and enzymes that are indicators of stress in plants have been supported. The bioluminescent assay for monitoring of levels of NAD(P)H and NAD(P)⁺ as key metabolites into radish root extracts from controls and stress-inducing conditions has been developed.

To induce various environmental stresses (low pressure, humidity and oxygen concentration) plants have been grown in closed environmental chambers at the University of Florida and the Kennedy Space Center. The metabolites concentrations were calculated as moles per gram of fresh weight. We compared the levels of key metabolites (NAD(P)H, NAD(P)⁺) in plant extracts from controls and stress-inducing conditions using enzymatic systems of luminous bacteria. Ethanol was used to extract pyridine nucleotides from plant's tissue. The sensitivity of bioluminescent assay for NAD(P)H and NAD(P)⁺ was equal about 1 nmol and 0,1 nmol, respectively.

Concentrations of NAD(P)⁺ and NAD(P)H into plants varies under stress condition greatly, for example, decrease of pressure from 100 kPa to 30 kPa and 20 kPa varies the ratio NAD(P)⁺/NAD(P)H from 0,1 to 4 and 6 correspondingly.

So, the NAD(P)⁺/NAD(P)H pair can be used as an universal indicator of the redox state and bioenergetic status of tissue. Developed bioluminescent assay for quantification of pyridine nucleotides in plant tissues is rapid, low cost and easily performed.

This research was supported by Fulbright Program, Russian Foundation for Basic Research (grant 07-04-01340-a), the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, and the U.S. Civilian Research and Development Foundation for the Independent States of the Former Soviet Union (grant RUX0-000002-KR-06).

PROBLEMS OF RESEARCH AND MODELLING OF DISTRIBUTION AND WATER TRANSPORT IN POROUS SOIL MEDIA IN VIEW OF AN OPERATING GRAVITY WITH REFERENCE TO SPACE GREENHOUSES

Krivobok N.M., Yerokhin A.N.

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

Necessity of creation to crews of cosmonauts in forthcoming long missions of adequate life-support systems does actual the decision of some technological problems, and, in particular, modelling of a water transport in root modules of space greenhouses. Researches in this area which were lead onboard orbital station and are described in the literature, mainly, are connected with check of applicability in weightlessness of simple one-dimensional models and with comparison of experimental estimations of a water transport, received in artificial soil media in weightlessness, with the ground control. As a result it has been shown, that the simplified one-dimensional modelling of a water transport does not give satisfactory approach experimental estimations, and the estimations received in weightlessness and the ground control, do not coincide. Our critical analysis of these researches has revealed a number of the reasons of the similar results, the used techniques which have was by consequence. It is shown, that conditions of carrying out of the described experiences and the control did not satisfy to a number of the restrictions necessary for correct comparison of results, received in conditions with a different gravity. On the other hand, performance of these restrictions is provided in the field of low water potentials, of little use for cultivation of plants, and also in the field of enough fine (not greater 0,1 mm) particles in comparison with used in artificial soil media. In root modules of space greenhouses the specified restrictions completely are not carried out, that is correct comparison of experience and the control demands the account of gravity. Thus, modelling of a water transport in view of real external conditions is necessary. In work for this purpose the system of the equations consisting of equation Darsi, considering a gravity, and the equations of indissolubility of water is used. Numerical decisions of system of the equations have allowed to receive comparative estimations of bidimensional distribution and movement of water for conditions of weightlessness and a terrestrial gravity. For an example in work the flat cell with fibrous soil media BIONA-V2 is considered. Time of transients of redistribution of water in such cell in ground conditions less, than in weightlessness if during capillary processes on the Earth the center of weight of water falls is shown, in particular, that. It is shown also, that reduction of the specific maintenance of water leads to reduction of distinctions of transients in ground conditions and in weightlessness, and duration of transients increases.

UTILIZATION RESOURCES OF PLANTS AND HUMAN WASTES IN LSS BY AN ECOLOGICAL PHYSICO-CHEMICAL METHOD

Kudenko Yu. A., Tikhomirov A.A., Zolotukhin I.G.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The task of utilization human wastes and inedible plant biomass is solved by means of their mineralization with the help of electrically activated hydrogen peroxide in an

arrangement with a reactor of a special construction. The given original method developed at the Institute of Biophysics SB RAS seems to be ecologically clean as the raw product-hydrogen peroxide can be obtained from intrasystem water. Besides the method unlike the preceding analogues is more energy efficient and safe as it does not demand high pressure and temperatures. Over several years this arrangement for wastes utilization has been successfully exploited at the laboratory of biosynthesis of prototroph of the Institute of Biophysics SB RAS. In the issue of reaction the solution obtained can be used as the basis of a nutrient solution for plants cultivation. This solution was used as unchanged for cultivation of different cultures the biomass of which both on productivity value and biochemical composition corresponded to the requirements produced.

METHOD OF DESALINIZATION AS A WAY TO SOLVE THE NaCl-DEAD-END IN LSS "HUMAN-PLANTS"

Kudenko Yu.A., Tikhomirov A.A., Zolotukhin I.G.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The necessity of long-term use of unchanged solution in LSS resulted in progressive NaCl storage in it, which under increased concentrations became destructive for plants. To reduce NaCl concentration in a nutrient solution an arrangement being actually an analog of electrodialysis method and providing periodical desalting of this nutrient solution during the process of plants cultivation was designed. This desalting method of a nutrient solution was successfully tested at wheat cultivation within eight vegetations lasted two months each. During every vegetation the desalting method was used once that allowed decreasing of NaCl concentration doubly. In toto during 16 months of this experiment series with wheat as the test object the given method allows sustaining of NaCl concentration in a nutrient solution in the diapason acceptable for plants. The conducted experiments enable to expect successful use of the physicochemical methods developed for future stationary long-functioning LSS of space application.

SPACE ECOLOGICAL/TECHNICAL SYSTEMS AND PROBLEMS OF ITS DEVELOPMENT

Kurmazenko E.A., Tomashpolskiy M.Yu., Gavrilov L.I., Khabarovskiy N.N.

JSC «NIIChimmash», Moscow, Russia

The paper deals with the Man-made Ecological Systems intended for maintenance of the crew and other biological in conditions of the autonomous manned spaceflights and/or the planetary bases.

It is shown, that man-made ecological system including the space vehicle pressurized modules, onboard systems, crew and the crew and biological objects inhabitancy on essence is the Ecological/Technical System (ETS) in which the transformation processes of the metabolism products in initial components of an inhabitancy implement in technical assemblies.

The ETS definition is resulted, its features as complex system are described and is shown, that the given concept integrates the Life Support Systems (LSS) based on the physical/ chemical and biological processes in a single whole.

The existing limitations on the Regenerative LSS development as an ETS part in pressurized modules of space vehicle are considered depending on the space object type and the spaceflight program.

The preliminary analysis results of space ETS development capabilities for the interplanetary vehicles and planetary bases are examined.

A CONCEPTUAL LAYOUT OF THE BIOREGENERATIVE LIFE SUPPORT SYSTEM (BLSS) INCLUDING SOIL-LIKE SUBSTRATE FOR GROWING PLANTS

Manukovsky N.S., Kovalev V.S., Gurevich Ju.L.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

In the judgment of many experts, physicochemical life support systems should have priority at the initial stage reclamation of the solar system planets by humans. The use of bioregenerative technologies will be justified for the long-term habitation (more than 2.5-3 years) of humans on extraterrestrial base.

The layout of the BLSS based on bioregeneration of air, water and vegetative food for the long-term missions is considered. It is characterized by cultivation of higher plants on soil-like substrate (SLS). Calculations show that the wet SLS mass (78 % of humidity) required per one person is 3.2 tons. Using of SLS allows combining and simplifying the processes of plant cultivation and wasting processing. SLS is prepared in advance with the help of oyster mushrooms, worms and microorganisms. An appearance and basic properties of SLS are similar to organic soils (histosols). The SLS is characterized by absence of aluminosilicate matrix, and also by high fungistatic activity. Ash content of SLS is 28-29 %. Humic substances constitute about 20 % of SLS organic matter. Testing of the substrate at multiple recycling mode (return of substance after each cycle of cultivation) in the experiments carried out by authors, and also by researchers of the specialized laboratories of Institute of Biophysics SB RAS in structure of the international research teams showed, that the level of SLS fertility remains comparable with hydroponic cultures. The recycling of inedible biomass is performed in two ways. After harvesting the plant residues with the low lignin content (green leaves and tops) are directly carried into SLS. Plant residues with high content of lignin are used for oyster mushroom growing. Spent mushroom compost is carried into the SLS.

According to the developed layout of BLSS the food of animal origin (20-30 % of total food) a human receives from the stories. At the same time, dehydrated human wastes (urine and feces), food wastes and SLS are removed from BLSS. The source of potable and household water is transpiration water. Waste water is purified in the aerotank and then is used for watering plants.

The modular principle of BLSS building with SLS is offered. In this connection the possible architecture of an extraterrestrial base is considered.

MATHEMATICAL MODEL OF THE ACCOUNT OF EFFECT BORA-WERIGO ON A DEGREE ДИССОЦИАЦИИ OF OXYGEN AT MODELING CONDITIONS OF AIRSPACE FLIGHT

Matyshew T.W., Stepanow W.K., Dwornikow M.W.

State research test institute of Military medicine of the Ministry of a defense of Russian Federation, Moscow, Russia

The extreme situations of the complicated airspace flight can be accompanied by development hypnosis of condition organisms of the man. The competing character, which should be taken into account by development of means of protection and medical recommendations to crew. The purpose of work was development and analysis of mathematical dependences, carry of gases by blood and maintenance of acid-alkaline balance organisms. For base model by us was are chosen mathematical dependences submitted in work Amosow N. M. (Амосов Н.М., 1977) and results of complex research on construction of model газообмена (Матюшев Т.В., 2007; Матюшев Т.В., 2007). The formula for definition of oxygen saturation was modified by introduction of correction factor k_{O_2} taking into account influence парциального of pressure O_2 :

$$S_{O_2} = \left(1 - e^{-k_{\text{Бора}} \cdot k_{O_2} \cdot P_{O_2}}\right) \cdot 100$$

Where $k_{\text{Бора}}$ - factor taking into account influence of effect Bora-Werigo and which is

looking like polinomial: $k_{\text{Бора}} = \sum_{k=0}^m a_k \cdot pH^k$, k_{O_2} - correction factor determined on the

formula: $k_{O_2} = \sum_{k=0}^m a_k \cdot P_{O_2}^k$.

As the configuration of a curve dissociation oxygenhemoglobin is caused mainly by chemical properties гемоглобина, there is also number of other factors. As a rule, all these factors displace a curve диссоциации оксигемоглобина, increasing or reducing its inclination, but, not changing thus its(her) S-figurative form. To such factors concern pH , P_{CO_2} and some other factors, which role grows in pathological conditions. In computing experiment we simulated dependence of the form curve dissociation oxygenhemoglobin from concentration of ions H^+ , determined by effect Bora-Werigo. At imitation of decrease pH , decreased, angle of an inclination of a curve dissociation oxygenhemoglobin and C_{O_2} . At increase pH there was a return process. This result of account correspondsto real physics -chemical process occurring in organism.

CHUFA TOLERANCE TO AN ENVIRONMENTAL EFFECT AS APPLIED TO BLSS

Motorin N.V., Tikhomirov A.A., Ushakova S.A., Velichko V.V.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Chufa (*Cyperus esculentus* L.) plants at the suggestion of G.M. Lisovsky were successfully used as the source of vegetative fats in a human diet for the first time at the Institute of Biophysics SB RAS in a bioregenerative life support system (BLSS). However to increase a closure level of mass exchange processes in BLSS it was necessary to study the culture tolerance to environmental factors. Thereupon chufa response to light intensity changes, atmosphere CO_2 concentrations and the soil-like substrate

(SLS) salinization are estimated in the given work. The alternate use possibilities of a neutral substrate and the SLS under chufa cultivation at different intensities of lighting regimes are evaluated. Sharp inhibition of chufa photosynthetic productivity at NaCl concentration of 10 g/l and more was established; whereas under lower NaCl concentrations that phenomenon was not observed. The effect of different CO₂ concentrations in the range from 0.03% to 0.9% on chufa photosynthetic productivity is discussed. On the grounds of obtained quantitative characteristics of chufa response towards the effect of environmental factors investigated the growing regimes of the given culture contributing to a closure increase of mass exchange in BLSS are proposed.

BIOGENERATIVE SPACE LIFE SUPPORT: ECOLOGICAL TECHNOLOGIES FOR AIR PURIFICATION, WATER AND NUTRIENT RECYCLING AND FOOD PRODUCTION

Nelson M., Dempste W.F., Allen J.P

Biospheric Design Division, Global Ecotechnics Corporation, Santa Fe, NM, S.A.
Institute of Ecotechnics, London, U.K.

Experience with Biosphere 2, the first biospheric closed ecological life support system, and more recently, the compact Laboratory Biosphere facility, included research with innovative ecological approaches to the fundamental challenges of air, water, nutrient regeneration and food production. This paper reviews some of these key technologies and their potential role in both space and planetary base life support strategies. Many of these systems rely on the properties of the microbes found in water and living soils to facilitate recycling through the natural diversity of metabolic function possessed by microbial communities. The buildup of trace gases in a tightly sealed environment can be effectively controlled by use of soil bed purifiers (also called soil bed reactors) where air is pumped through the soil volume. Experiments in the Biosphere 2 Test Module demonstrated the efficacy of soil microbiota to rapidly reduce concentrations of biogenic and technogenic trace gases of concern including CH₄, N₂O, C₂H₆, C₂H₄, C₃H₈ and CO. Biosphere 2 research demonstrated that these soil bed purifiers could also function supporting food crops, thus increasing their applicability for space life support systems. Biosphere 2 researchers developed soil purification units housed in small planter pots ("airtrons"). These units may be applicable for use in space-based systems with their severe volume limitations. Constructed wetlands for wastewater treatment also support robust microbial communities on their gravel substrate and on plant roots. Such compact constructed wetlands not only very effectively "treat" wastewater from industrial or residential processes, but also can be planted with wetland food crops. Research with such systems demonstrates their ability to effectively reduce by 90-95% biochemical oxygen demand (BOD) and suspended solids, coliform bacteria (98+%) while the wetland plants and microbes transform nutrients in luxuriant plant growth. Basing the food production system on soil also opens the way to in-situ use of planetary regolith (e.g. Mars soils) long-term, thus reducing the need for consumables such as hydroponic nutrient solution. The large buffering capacity of soils also leads to the safety of reliance on time-tested natural ecological processes, rather

than technology intensive approaches. Thus the vexing problem of nutrient recycling of inedible crop residues can be simply resolved through composting or shredding and mulching so that the nutrients can be reincorporated into the soil, thus maintaining its fertility. Treated wastewater from the constructed wetland can be incorporated into irrigation supply, thus enabling soils and food crops to reclaim the nutrients it contains. The Laboratory Biosphere experiments with candidate space food crops with its small soil planting beds have also demonstrated effective food production, crop residue recycling, and control of trace gases.

ESTIMATION OF INFLUENCE OF SHOCK OVERLOADS ON A CONDITION VERTEBRAL POLE AND PARAVERTEBRAL MUSCLES BY THERMOGRAPHY METHOD

Nikiforov D.A., Morukov I.B., Morozov A.M.

State research test institute of military medicine of the Ministry of a defense of Russian Federation, Moscow, Russia

At operation of space flying devices there can be not regular situations accompanying with influence on the members of crew of significant shock overloads (at a stage of landing(planting), at emergency leaving of the ship etc.). In a number(line) of cases, the members of crew after influence on them of shock overloads should carry out the professional activity. In this situation the occurrence even of insignificant functional infringements, including from the party vertebral pole, can considerably limit serviceability. It does(makes) urgent development of means of protection from influence of shock overloads capable to minimize even such functional changes. In turn, for an estimation of efficiency of prospective means of protection it is necessary to use objective methods of diagnostics of the given functional infringements. On the today's moment of such methods not it is a lot of. In this connection, the purpose of our researches was the definition of an opportunity of use of a thermography diagnostics method for an estimation of influence of a shock overload of a direction "head - basin" on a condition vertebral pole.

The shock overload was created by dump of a perspective sample of military engineering with the verifiers, placed in it,(him,) with given heights on air shock-absorbers. For inspection was used infrared thermal imaging system accompined with portable computer named "IRTIS-2000ME". By means of the qualitative and quantitative analysis терморамм of area of a back executed before and after realization of experiment, estimated symmetry of distribution of temperatures to an average line; presence of hypo- and hyperthermal pathological zones; changes of meanings(importance) of temperatures in the field of a backbone and paravertebral muscles after experiment in comparison with a background. Given results of thermal inspections of the verifiers were compared to results of other methods of researches vertebral pole (subjective feelings of the verifiers, manual inspection etc.).

The carried out(spent) research has shown, that infra-red thermography allows objectively qualitatively and quantitatively to estimate expressiveness of morphological and functional changes of vertebral pole of the verifiers who have undergone to influence of a shock overload. Use infra-red thermography is direct on field tests, and also

the opportunity of the fast analysis received thermal imaging testifies to an opportunity of its(her) application as a method of an express - estimation.

THE OXYGEN GENERATION SYSTEMS ON THE BASIS OF WATER ELECTROLYSIS: RESULTS OF THE OPERATION ON-BOARD ISS AND THE DEVELOPMENT PROSPECTS

Proshkin V.Ju., Kurmazenko E.A., Gavrilov L.I., Kochetkov A.A., Pavlova N.V., Telegin A.A.*, Rjabkin A.M.*, Kiryushin O.V.*, Lyubimov G.A.*

Joint-Stock Co NIIchimash, Moscow, Russia

*RSC Energia, Korolev, Russia

The Electron-VM Oxygen Generation System (OGS) based on a water electrolysis of water with an alkaline electrolyte (25 % solution KOH) circulated through the cathode and anodic cavities of electrolyzer) is the main source of oxygen onboard the ISS from the moment of its creation and provides requirement for oxygen of crew up to 6 person.

By present time:

– total operating time makes 1795 day, with maximum operating time of the Liquid Unit (LU) 456 day before failure and the Signal and Command Interface Unit (SCIU) 959 day without failure;

– the system reworks 4706 l of water and produced 2863 m³ oxygen (for 4772 man-day) and 5726 m³ hydrogen;

– it is used units (in view of nowadays working): 7 LU and 2 SCIU; the total mass of units makes 1130 kg (0,237 kg of total mass of units on production oxygen for one person in day);

– average power consumption is 8 W on production of 1 l of oxygen/h.

The OGS experimental models are developed for Space Orbital Stations on the basis of a water electrolysis being alternative to the Electron-VM system:

– The system with a solid polymeric electrolyser – NASA, USA.

– The system with a static alkaline matrix electrolyzer - ESA, Germany.

– The system with an urine electrolysis – Russia, NIIchimash.

– The system with a vapor electrolyzer together with Sabatier's reactor –JSA, Japan.

The OGS development main direction for long-term autonomous missions is preservation of the system design life-time not less than 2-3 years at comprehensible mass/power characteristics and OGS integration into Integrated Life Support Systems with the maximum degree of closing for oxygen.

METHOD OF DECREASE OF CONSEQUENCES OF RADIATION INFLUENCE ON THE ORGANISM IN A MANNED FLIGHT TO MARS

Rakov D.V., Sinyak Yu.E., Fedorenko B.S.

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

At the present time manned flights to space are performed in conditions of increased radiation background, the dose of which is not significant and in the limits of

the norm. Flights to other planets require providing of radiation safety for the crew of an interplanetary spaceship. Increase of physical protection will decrease dose loading on the crew, however, at the same time it will increase the mass of an interplanetary spaceship. In this connection it is necessary to search for pharmacological or other means to decrease radiation influence on the crew. One of such means, obtained on board a manned vehicle can be water with decreased concentrations of deuterium and oxygen O¹⁸, obtained in life support systems.

Previously we showed in our works that water with decreased concentrations of deuterium and oxygen O¹⁸ has a wide spectrum of biomedical characteristics. Increase of productivity of plants in seeds and fruits was detected, increase of egg-laying capacity of Japanese quails, resistance and decrease of consequences of radiation effects on organs of immune system, of haemopoiesis in rats, irradiated by gamma-irradiation Co⁶⁰ in total doses of 25, 50 and 100 cGr. For the first time tendency was shown to decrease of frequency of appearance of delayed consequences of cataractogenesis development (delay in development of lentical opacity up to 40 weeks) and carcinogenesis (absence of tumors in mammary and thyroid gland, adrenals and decrease in hypophysis, lungs, uterus, and also leucosis) during intake of water with decreased content of deuterium in experiments on mice and rats.

The results, obtained in works of the recent years, show new opportunities in modification of radiation injuries in low doses, both in early and delayed periods after influence of ionizing irradiation, that is very important in modern therapy and prophylaxis of a series of diseases.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CYTOGENETICAL PARAMETERS OF HUMAN BLOOD LYMPHOCYTES *IN VIVO* IN EXPERIMENTS WITH MODELED MICROGRAVITY

Repina L.A., Repin M.V.*, Bogomazova A.N.*, Snigireva S.P.*****

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

***Federal State Organization, Russian Research Center "Roentgen-Radiology" Federal Agency of high technology medical help, Moscow, Russia

The aim of this project was the comparative analysis of cytogenetic parameters of human blood lymphocytes *in vivo* in experiments with modeled microgravity.

In the first experiment the action of prolonged antiorthostatic hypokinesia (ANOH) on the chromosome apparatus of peripheral blood lymphocytes of volunteers *in vivo* was studied. 13 man-volunteers aged 23–42 were under 60 and 120 days ANOH conditions. The first group of volunteers (6 men) was under conditions of ANOH during 120 days without the application of facilities and methods of precaution. Another group of volunteers (7 men) were under conditions of ANOH during 60 days with the application of the precaution loading suit "PINGVIN". Results of the cytogenetic analysis of unstable chromosome aberrations before and after the experiment have shown the statistically significant increase of the frequency of acentrics in blood lymphocytes of volunteers under conditions of 120 days ANOH. Some volunteers had an increased level of markers of radiation action after 60 and 120 days of ANOH ($p \geq 0,05$).

For the second cytogenetic assay the blood of 10 men-volunteers aged 23–29 which were taken a part in the experiment “dry” immersion during 7 days was used. Volunteers were divided on groups: 6 men were under condition of immersion during 7 days without any additional exposure (group “Immersion”), 4 volunteers were exposed to direct stimulation of supporting zone of foot under the condition of immersion (group “Immersion + Support”). Results of this investigation modeled the condition of microgravity indicate the absent of statistically significant cytogenetic changes of chromosome aberrations in blood lymphocytes of volunteers exposed to 7 day “dry” immersion.

STABILITY OF MAN-MADE CLOSED ECOLOGICAL SYSTEMS WITH ACCELERATED TREATMENT OF PLANT BIOMASS

Rygalov Vadim Y., Holubnyak Y.

Space Studies Department, University of North Dakota

Man-made Closed Ecological Systems (CES) were suggested and tested as a means of long-term space life support starting from 50th of XX century. The variety of experiments conducted with different CES (BIOS-3, Russia, Biosphere-2, USA and others) did show that this kind of systems functioning happens at the limits of stability because of reduced material buffers. Nevertheless analysis of these limitations is not completed yet due to different reasons. This work (summarizing the results of experimentation with Closed Ecological System BIOS-3, Krasnoyarsk, and Russian Siberia in 1989-1998) is an attempt to analyze the process of plant biomass incineration as a source of carbon dioxide for plant photosynthesis and growth and its effects on CES stability. It is common knowledge that incineration of phyto-mass supplies into the atmosphere of CES not CO₂ only, but also volatile toxic agents inhibiting photosynthetic processes. Mathematical modeling has demonstrated that when the limit value of intensity of production processes and matter turnover specific for every closed ecosystem is exceeded the gaseous toxic agents destroy the system. What means that rate of material turnover in the closed system can not be increased unlimitedly. This critical rate value is proportional to CES buffer absorption capacity and is non-linearly dependent on the tolerance of the plant component to the impact of flue gases. Ratios have been derived by assigned intensity of matter turnover to evaluate buffer absorption capacities required for stable operation of CES.

OPERATION EXPERIENCE OF REGENERATIVE LIFE-SUPPORT SYSTEMS USED ON SPACE STATIONS SALUT, MIR AND ISS

Samsonov N.M., Bobe L.S., Gavrilov L.I., Kochetkov A.A.,

Kurmazenko E.A., Tomashpolskiy M.Yu., Romanov S.Yu.*,

Andreychuk P.O.*, Guzenberg A.S.*, Zeleznyakov A.G.*, Protasov N.N.*,

Ryabkin A.M.*, Telegin A.A.*, Grigoriev A.I., Baranov V.M., Sinyak Yu.E.**

JSC NIIHIMMASH, Moscow

*RSC «Energia», Korolev

**SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

Long-duration orbital and interplanetary flights are possible only when regenerative life-support systems (LSS) are used. These systems carry out the maximal removal and

recovery of water and oxygen from products of life as well as from an engineering complex and purification of an atmosphere, providing needs of crew for water and oxygen with minimal use of stocks. Recovery systems were operated only on Soviet orbital space stations Salut and Mir and now they are installed on the Russian segment of ISS.

In January, 1975 for the first time in a world practice of manned flight the crew of space station Salut-4 A.A. Gubarev and G.M. Grechko used the water, recovered by system SRV-K from humidity, for drinking and cooking. The system worked during all manned flight of the station. Similar systems of type SRV-K operated on space station Salut-6 (years 1977-1981 - 570 day) and Salut-7 (years 1982-1986 743 day).

On orbital space station Mir for the first time in a world practice there has been realized practically (except for carbon dioxide concentration and reduction CDCRS system) a complete complex of physical and chemical systems for recovery of water and atmosphere: SRV-K2, SRV-U, SRV-HW, Electron-V, Vozdukh, MCCS – which has appreciably provided long and effective functioning of the station in a manned mode and economy of weight of delivered payloads of 35000kg.

A similar complex of the advanced systems, including carbon dioxide concentration and reduction systems and a vitamin greenhouse, it was supposed step by step to implement on the International space station ISS. Now in the service module (SM) of ISS system SRV-K2M, SPK-UM, Electron-VM, Vozdukh, MCCS are functioning. These systems have been successfully operated for the all manned flight of the station, providing the crew with water and oxygen and removing carbon dioxide and trace contaminants from the atmosphere. On January 31, 2008 more than 9700 liters of water have been recovered and more than 4650 kg of oxygen have been generated by water electrolysis.

Introduction on ISS systems SRV-UM and CDCRS will allow more than in 10 times to lower deliveries of water to the station, to raise reliability of life-support and autonomy of flight of the station.

Regenerative life-support systems provide significant engineering and economic effect and a priority of domestic science and technology in this area of activity.

LIGHT-ISOTOPE WATER FOR CREWS OF MARTIAN EXPEDITIONS

Sinyak Y.E.

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

A series of authors have detected that light-isotope water has many positive bio-medical characteristics.

Thus, it has been shown that deuterium-depleted water with decreased (on 65%) concentrations of deuterium has biological activity: increase of the amount of biomass was detected and seeds during cultivating of higher plants, appearance of antimutagenic characteristics has been observed, water with decreased concentrations of heavy stable isotopes of hydrogen (deuterium) and oxygen ($^{18}\text{O}_2$) has antitumoral effect on organism of animals (mice). Radioprotective characteristics have also been de-

tected: long-term consumption of water with decreased content of deuterium and oxygen (^{18}O) leads to decrease of the degree of severity of radiation injuries, determined by effect of gamma-rays in conditions of every day influence.

For conditions of the flight on the route Earth-Mars-Earth existence of radioprotective characteristics of light-isotope water acquires specially high significance, as radiation status will be much more complicated as compared to radiation conditions of orbital flights.

The choice of methods of obtaining of light-isotope water on board Martian ship is extremely limited. Thus, in conditions of weightlessness, for example, the method of rectification, widely used in chemical practice for splitting of stable isotopes, is practically unrealized. The method of water electrolysis most completely complies with the requirements of Martian expeditions, including stages of splitting of water into oxygen and hydrogen with further conversion of formed gases into water. During definite stages of water splitting, on cathode protium is singled out, forming with singled out oxygen high-isotope water.

Sources of obtaining of light-isotope water on board Martian ship can be condensate of atmospheric moisture, condensate of urine, water formed as result of Sabatier reaction ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$) or Bosch – Buduar reaction ($\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}$).

One of the variants of use of light-isotope water can be its stores taken from Earth. However, deuterium, ^{18}O and ^{17}O will be a part of metabolic water, formed as result of oxidation of proteins, fat and carbohydrates, they will be supplied to urine, transpiration and perspiration moisture and in the systems of water regeneration, increasing by this concentrations of heavy stable isotopes in drinking water.

On board Martian spaceship light-isotope water can be used for cultivation of higher plants during production of vitamin greens in a greenhouse, and for growing heterotrophs for obtaining of animal proteins, for normalization of the processes of metabolism in cosmonaut's organism, and also in a form of radioprotector substance with the aim of decrease of risk of radiation influence and radiation cataract - and carcinogenesis.

In the report experimental material is presented, confirming positive biomedical characteristics of light-isotope water, technological scheme of its obtaining, and also a scheme of its integration into the general scheme of life support systems of Martian spaceship.

THE MULTIPURPOSE AUTOMATED SYSTEM OF THE ANALYSIS OF THE IMAGE OF BIOLOGICAL OBJECTS

Skedina M.A., Solovieva Z.O., Ivanova I.A.*, Verdenskaya N.V. *

*The State Centre of science of the Russian Federation - Institute of Medical and Biologic problems of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

*OAO Mints Radiotechnical Institute, Moscow, Russia

The automated system of digital microscopy that is considered intended for automatic search of objects on the smear (microbic objects, blood cells) and transfers of their digitized images by the telecommunication networks. The system has been cre-

ated and approved on the basis of analyzer "ASPBC" (created in Mints Radiotechnical Institute).

For today the automated system allows to solve some applied problems. One of them is carrying out of the automatic analysis of blood. In a mode of automatic microscopy of the fixed smear the system carries out the scanning of the smear and the consecutive analysis of images of fields of vision of a microscope with the purpose of detection and the description of blood cells, their count and recognition. At creation of the software which was ensuring the functioning of the system, original algorithms of detection of objects, segmentations, descriptions of objects and recognition have been used.

Following stage in development of system was creation of the software for detection, recognition and counting of the images of microbic cells at scanning smear with the human's biotop without necessity of allocation and identification of pure microbial cultures. The basic problems arising at this stage are small contrast, the small sizes of objects (on a limit of the optical resolution). In this connection new algorithms of scanning, detection of object, segmentation of the image, recognition and calculation of objects have been offered.

At system developing special significance was attached to preparation standardized native smear, satisfy to conditions of the requirements of automatic processing (uniform distribution of cells on the smear, reception of the monolayer of cells, etc.). For reception of the standardized smear both for blood, and for microbiological test centrifuge DiffSpin[®]2, USA with firm glasses SL72 has been used. It has allowed us to receive the native smears, that satisfy to the requirements of the automatic analysis

Thus, the created automated system releases the medical personnel from microscopy of the smear with immerse, manual preparation of the smear, creating the cultures of microorganisms. The considered system automatically gives out the conclusion under the analysis of blood and a quantitative parity of microorganisms in investigated human's biotop and can serve as means of the operative control of a condition of blood's system and of cosmonaut's microbial status in long flight. In complex cases, if necessary attraction of experts for consultation, in the automated system function of transfer of the digitized images of cells on telecommunication networks is stipulated.

GROWTH AND PHOTOSYNTHETIC APPARATUS IN *BRASSICA CHINENSIS* L. PLANTS GROWN UNDER LIGHT-EMITTING DIODES IN A SPACE GREENHOUSE PROTOTYPE

Smolyania S.O., Berkovich Yu.A., Zhigalova T.V.*, Avercheva O.V.*

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

*Department of Plant Physiology, Faculty of Biology, Moscow State University

When growing plants on board a spaceship, the efficiency with which the plant utilizes light energy is the main factor that determines the general efficiency of a space greenhouse and the expediency of its use during a space flight. We developed a number of space greenhouse prototypes where we suggest to optimize light distribution in-

side crops on cylindrical planting surface. By means of modeling of photosynthetic productivity in a crop inside conveyor cylindrical greenhouse, we showed that the maximum specific yield is reached under continuous crop illumination with PPF about $350 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$.

The plants were grown under red (660 nm) and blue (470 nm) light-emitting diodes (LEDs) with a red/blue photon flux ratio of 7 : 1. Our study has shown that plants grown under a high-pressure sodium lamp (HPS) and under LEDs had approximately the same plant fresh weight, while edible mass was significantly higher in plants grown under LEDs. In plants grown under LEDs the chlorophyll *a* to *b* ratio was higher, it indicated a different proportion of functional complexes in photosynthetic membranes. No differences in photosystem II quantum yield and chlorophyll fluorescence quenching between plants grown under HPS and LEDs were shown. We believe the further optimization of lighting source spectrum for plant growth is necessary.

METHYLOTROPHIC BACTERIA SYMBIOSIS WITH THE HIGHER PLANTS AS MEANS OF MINIMIZATION OF THE LOWER HYDROCARBONS CONCENTRATION IN THE AIR SPACE PLANT GROWTH FACILITY CHAMBER

Smolyanina S.O., Ivanova E.G.*, Doronina N.V.*, Korsak I.V. **

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

*Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, RAS, Russia, Moscow region, Pushchino

**The Russian State Agrarian University - The Moscow K.A. Timirjazev Agricultural Academy, Russia, Moscow

Plant growth facility should be included in the LSS for the space vehicles for vitamin greens supply and psychological support of cosmonauts and incomplete/partial air and water regeneration during long-term missions. The possibility of decreasing the lower hydrocarbons, especially methane and methanol, concentration by the methylotrophic bacteria colonization of the plants is considered in this work. Two collection strains of the obligate methylotrophic bacteria – *Methylovorus mays* C (VKM B-2221) (methylotrophic) and *Methylomonas metanica* S (VKM B – 2110T) (methanotroph) – were chosen because of their high activity to assimilate the lower hydrocarbons due to functioning of methanoldehydrogenase, methanmonooxygenase and ribulose monophosphate cycle enzymes system. It has been shown that, colonization of the greens by these strains was able to reduce of methanol and methane concentration in the air inside phytotron approximately 30-50 %. It was found experimentally that methylotrophic bacteria are the phyto-symbiotic bacteria: they stimulate growth and development of the colonized plants. Under favorable conditions productivity of fresh mass of the Chinese cabbage and root crops of the Japanese turnip raised owing to colonization of plants in 2 and 2,5 times, accordingly. At plants infecting by phytopathogenic micro-mycetes *Fusarium oxysporum* L. the share of the lost colonized plants was in 6 times below as compared to not colonized ones and the smaller damaging of the survived plants was found.

EFFECT OF IRRIGATING WATER WITH LOWER CONCENTRATION OF HEAVY HYDROGEN ON PLANT GROWTH AND STATUS

Smolyanina S.O., Krivobok N.M., Korsak I.V.*

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

*Moscow Timirjazev Agricultural academy

By the present time the significant volume of experimental data has been received concerning the raised biological activity of water with lower concentration of heavy hydrogen with compared to oceanic water, including information concerning its antineoplastic properties. Obtained data has proved the necessity of manufacturing of water with lower heavy hydrogen concentration onboard piloted spacecrafts, including for water delivery of plants in the space plant growth facility. So, studying of this water influence on plants is actual. In the present work of the Japanese cabbage and the bread dwarfish wheat plants were irrigated by the water with the heavy hydrogen concentration 140 ppm (corresponds to concentration in the oceanic water), 100 ppm and 50 ppm. Experiments have shown that decreasing the heavy hydrogen concentration in the water up to 100 ppm and 50 ppm has not affected fresh and dry weight of shoots and roots of both cultures, and on the relation of the weight to the leaf surface area of the Japanese cabbage plants harvested at the vegetative stage. However at the generative stage Japanese cabbage flowering was more amicable in variants with the lower heavy hydrogen concentration in the water. The analysis of the wheat grain productivity structure has revealed the increasing of the number spikelets and flowers in the ears on 25 % and 40 %, accordingly, if heavy hydrogen concentration in the water was decreased. The lower concentration of heavy hydrogen in the water promoted strengthening of spicy specific smack of the Japanese cabbage leaves. The root zone microflora of the both cultures has been presented by not pathogenic microorganisms in the all variants, but distinctions on the species composition have been noted. In particular, at the concentration of heavy hydrogen in water 100 ppm the species *Trihotecium* were found in the root zone known for their ability to develop strong antibiotics which can be used in biological plant protection.

AUTOMATIC EVALUATION OF HUMAN'S MICROBIAL STATUS IN SIMULATION STUDIES IN CONFINED HABITAT

**Solovieva Z.O., Skedina M.A., Ivanova I.A.*, Verdenskaya N.V.*,
Sazonov V.V.*, Panina Ya.F., Ilyin V.K.**

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

*OAO Mints Radiotechnical Institute, Moscow, Russia

At present time due to increasing of spaceflight durations the problem of antiinfectious safety of the crew of long acting orbital stations is of great importance. Recently the conception of periodical accumulation of pathogenicity potential was formulated for the system "human-microbe" in long-term spaceflight. One of the patterns of this conception was formation of high microbial contamination level by conventional pathogens in different human biotopes. The danger of these processes is large from the point of view of possibilities of opportunistic infections occurrence in spaceflight.

We performed examinations of 6 volunteers, who spent 14 days in confined habitat. In order to avoid necessity of allocation and cultivation of microorganisms, perspective method of obtaining an operational data on human microflora was used during those examinations. That method helps to reduce time of research up to 1.5-3hrs.

This method is based on the automated analysis of bacterial cells images with subsequent information uptake on three evaluated parameters: morphological, tinctorial and quantitative. It is known, that constant microflora of specific biotope is relatively stable in its qualitative composition and density of microorganisms. Therefore, received data enables to estimate one of the resistance barriers, formed by commensal microflora and, if necessary, to carry out its correction.

The basic opportunity of the method application is shown during human's microbial status study.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR REGENERATION OF SANITARY WASTEWATER ON BOARD INTERPLANETARY SPACESHIPS

Starikov S.E., Korotkova T.P., Grigoryeva E.G.

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

Regeneration system for sanitary wastewater should be designed for stable work with normal efficiency at widely changing in feed wastewater quality. It should be consisted of subsystems, which are based on different principles of treatment and are able to work both autonomous and in common with other ones. They are to supply the crew with water during different stages of space flight, according to working conditions onboard.

We created the laboratory system based on filtration, ultrafiltration and reverse osmosis for regeneration of wastewater received from different sanitary procedures. The quality of treated water is sufficiently high for reuse onboard, as it was shown by chemical analyses. The system was designed in such a way that ultrafiltration module was used for retention of has particles with size of $10^{-3} - 10^{-5}$ mm (colloids, bacteria, high-molecular organic substances), and reverse osmosis module for $10^{-5} - 10^{-7}$ mm sized particles retention (ions, organics). For retention of large particles (size more than 0,5 mm) there is a gauze filter on feed. Thus, the system could work practically for the whole range of pollution spectrum.

Lifetime of filters is another important aspect. The ultrafiltration module was produced of hollow-fiber membranes, so it has both the largest surface per volume and ability to regenerate membranes by backwash. The last allowed us to increase the lifetime of membranes greatly. The reverse osmosis membranes was operated in soft conditions, as all pollutants, which could untimely disable them, was retained in the ultrafiltration module. One more advantage of such a combination of UF and RO is high recovery of pure water.

Received data allowed us to make the following summary:

3. Offered technology of sanitary wastewater regeneration provides long the system service life, necessary high quality of purified water and high recovery of pure water.

4. Presented system is able to regenerate water, received from different sources.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR CLOSURE INCREASE OF MASS EXCHANGE PROCESSES IN BIOGENERATIVE LIFE SUPPORT SYSTEMS

Tikhomirov A.A., Degermendzhi A.G.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

On the basis of many-years investigations of different ecosystem modifications from BIOS-1 to BIOS-3 and new technologies developed at the Institute of Biophysics SB RAS the problem of the BIOS-3 use for creating a bioregenerative life support system (BLSS) of a new generation with mass exchange processes closed in a near-loop. Scientific and technological studies performed at the Institute of Biophysics SB RAS and used to improve parameters of the BIOS-3 bioregenerative system are reviewed in brief. Special consideration is given to original technologies of utilization of plant wastes by physicochemical techniques and using biological oxidation. Utilization resources of human liquid and solid wastes using a combination of physicochemical and biological methods are analyzed. Ways to involve NaCl into the system's mass exchange and approaches to intensifying the functioning of the photosynthesizing compartment are discussed. A modernized BIOS system is estimated as a potential tool for testing and analyzing different scenarios for planetary stations of Moon and/or Mars missions. In this context, it is proposed to conduct experiments including the human, with mass exchange processes more or less closed in a loop, to demonstrate efficiency of the new technologies.

USE OF HALOPHYTES AS A WAY TO INVOLVE NaCl CONTAINED IN HUMAN MINERALIZED URINE IN THE BLSS MATTER TURNOVER

Tikhomirova N.A., Ushakova S.A., Kudenko Yu.A., Gribovskaya I.V., Shklavtsova E.S.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

One of the most important tasks of the humans exometabolites' inclusion into the bioregenerative life support system's (BLSS) internal matter turnover is to solve the problem of NaCl involvement in cycle of matter for the purpose of this substance return to a human. Creation of the technologies mainly based on biological way of NaCl utilization in BLSS is required for the task solving. Particularly it is planned to use halophytes, vegetable plants evolutionally adapted to saline soil and accumulating NaCl in their tissues or able to eliminate salt from their tissues. The vegetable plants *Salicornia europaea* showed ability to grow under high concentrations of mineral elements in solutions equivalent to the elements concentrations in the human urine practically without productivity decrease. The following stage of work appears to be investigation of possibility of halophytes cultivation directly using human's mineralized urine as nutrient solution. Furthermore it seems to be interesting to compare two halophyte species one of which is salt-accumulating (*Salicornia europaea*) and the second is salt-eliminating (*Limonium gmelinii*) with the view of selection the most salt-tolerant halophyte. Hereby the aim of the present work appeared to be investigation of human mineralized urine

effect on productivity of *Salicornia europaea* and *Limonium gmelinii* plants. The mineralized human urine exposed some inhibitory action on *Salicornia europaea* and *Limonium gmelinii* plants. The experiment plants' productivity was lower in comparison with the control. It was recorded that *Limonium gmelinii* plants had lower growth rate and productivity in comparison with *Salicornia europaea*. Na content in *Salicornia europaea* plants was higher in comparison with sodium amount emitted by *Limonium gmelinii*. Consequently *Salicornia europaea* appears to be a more perspective halophyte for its further use in BLSS aiming at involvement of sodium chloride contained in human liquid wastes in intrasystem mass exchange.

MICROORGANISMS - INDICATORS OF HIGHER PLANTS' CONDITION

Tirranen L.S.

Institute of Biophysics SB RAS

By analysis of a large experimental data indicator groups of microorganisms were selected. The quantitative changes of the indicator groups of microorganisms can be used as a criterion for estimation and prognostication the condition of the higher plants link in BIOS-3 closed ecosystem. Out of 28 investigated groups of microorganisms, 13 in the nutrient solution and 6 out of 12 on plants can be indicative of plants' condition. Other groups of microorganisms under investigation did not reveal a correlation between the numbers and condition of plants.

The indicator groups of microorganisms can be the total numbers of the aerobic and anaerobic bacteria, bacteria of the coliform group, of Proteus group, microscopic fungi, yeast, *Actinomyces* and other groups. There were less indicator groups of the microorganisms on healthy plants in comparison with the ill ones.

Besides, the bacteria of the coliform group and the Proteus group, fungi and yeast are a potential hazard for the health of the crew. The indicator groups of microorganisms in microbial communities of the object under investigation increased their numbers earlier than the decline of the plants' condition could be visually observed. However, slight excess of the indices under investigation in 1-3 indicator groups wasn't always followed by the decline in the plants' condition. Termination of the adverse effect of a factor on the plant's condition and its microflora leads in such cases to self-restoration of the biocenosis.

Thus, increasing numbers of the indicator groups of microorganisms is a proof of contamination of a component and can be signal for taking measures to control its microbial population or technology of the processes in CES.

USING OF POWERFUL WHITE LIGHT-EMITTING DIODES FOR ILLUMINATION GREENS IN THE SPACE PLANT GROWTH FACILITY

Trofimov Yu.V., Tsvirko V.I., Lishik S.I., Pautino A.A., Erokhin A.N.*

B.I.Stepanov Institute of Physics National Academy of Sciences of Belarus, Minsk

*SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

Recently light-emitting diode sources of radiation are applied more actively in plants photoculture and, in particular, in lighters of plants growth facility. At present the red

(640-660 nm) and blue (450-470 nm) light-emitting diodes are generally used in space plant growth facility and they are chosen in view of maxima of absorption of light by plant leaves. However, experiments on Chinese cabbage cultivating under the red-blue light-emitting diodes with the relation of the red quanta to the blue ones 4:1 at kuasyoptimal ($391 \pm 24 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) PPF level, have revealed biochemical and photosynthetic changes in plants as compared to the crops grown under the high pressure sodium lamp, but the plant productivity has not decreased. At a low PPF level ($107 \pm 9 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) plants productivity under light-emitting diodes was considerably lower as compared to plants under the high pressure sodium lamp. Besides the visual perception of plant color under the red-blue light was deformed. As the alternative light source for the space plants growth facility light source on the basis of the white light-emitting diodes has been offered. The diodes has been created with application green-red luminophor, with maxima of radiation in blue (450 nm) and in red (650 nm) areas of the spectrum and a high index of a colour rendition. Light payments contain 28 the one-watt light-emitting diodes distributed on the metal printed-circuit-board (310×260) mm^2 , the working current makes 150 mA. The offered lighter is able to provide photosynthetically active photons density about $515 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ at 40 mm under the lighter at power consumption 16 Вт. the Chinese cabbage crop has been successfully grown under the lighter.

POSSIBLE WAYS OF HUMANS EXOMETABOLITES INCLUSION INTO BIOGENERATIVE LIFE SUPPORT SYSTEMS MASS EXCHANGE

**Ushakova S.A., Tikhomirova N.A., Kudenko Yu.A., Anischenko O.V.,
Tikhomirov A.A.**

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The aim of the work appeared to be investigation of the possibility of step-by-step firm and fluid human's egesta inclusion into matter turnover in bioregenerative life support systems (BLSS) under using physicochemical and biological methods of egesta utilization. Daily norm of the human's egesta was mineralized by "wet incineration" method with hydrogen peroxide in alternating electromagnetic field. After the oxidation nitrogen in the obtained solution was in reduced form: ammoniac or amide (urea). Obtained solutions were used for the plants cultivation. Under the plants cultivation on soil like substrate quantity of the used exometabolites was sufficient only for edible plants biomass formation. Under the plants growing on neutral substrate quantity of the introduced exometabolites depended on the plants requirements in mineral elements for total biomass formation. The experiments showed absence of reliable differences in productivity between the plants grown on standard mineral medium and the plants cultivated with use of mineralized exometabolites. Since use of urea as source of nitrogen in BLSS is not advisable in the next series of the experiments we used enzymatic way of urea decomposition. For the purpose of that urease contained in soy flour was used. Suspension comprising present enzyme was added to mineralized exometabolites. After urea decomposition mineralized exometabolites were used as a

base for nutrient solution preparation. Obtained solution was used for wheat growing on neutral substrate. Data on mineral composition and productivity of wheat plants depending on mineral nutrition of the plants is cited in the work. Possible ways of subsequent NaCl utilization content of which in nutrient solution may exceed wheat plants tolerance limits to this compound are discussed in the present work.

PRODUCTION ACTIVITY OF A VEGETABLE CONVEYER CULTIVATED AT DIFFERENT CO₂ CONCENTRATIONS

Velichko V.V., Tikhomirov A.A., Ushakova S.A.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

State-of-the-art concepts of long-term life support on stationary space bases provide for development of bioregenerative life support systems (BLSS) based on matter turnover where higher plants are supposed to be used as the key components. At that the photosynthesizing system unit is expected to be formed as multi-aged multi-species cenosis.

Experimental data of many years at the BIOS-3 and also at other BLSS showed that because of different characteristics of technological processes realized in them the situations with CO₂ concentrations increased up to 1% may often originate in a system atmosphere and contain at this level during a long period of time. Therefore our investigation was aimed at the study of a multi-aged vegetables conveyor response on their cultivation under increased CO₂ concentrations during total vegetation period. Radish (*Raphanus sativus* L.), kohlrabi (*Brassica caulorapa* L.), carrot (*Daucus carota* L.) and beet (*Beta vulgaris* L.) being prospective plants- representatives of the BLSS phototrophic unit cultivated by hydroponics method on expanded clay aggregate in a regime of multi-aged conveyor at continuous illumination were taken as the research objects. Two diapasons of CO₂ concentrations from 0.15 to 0.3% and from 0.7 to 0.9% were used. The study of CO₂ dynamics and multi-species multi-aged vegetable conveyor at different CO₂ concentrations showed that plants cultivation at CO₂ concentration from 0.7 to 0.9 % resulted in increase of CO₂ gas exchange during their initial growth stages.

This became apparent in increase of photosynthesis intensity and inhibition of plants respiratory activity. However as the plants continued to grow the photosynthesis intensities and respiration at different CO₂ concentrations gradually became even. Towards the end of vegetation the intensity of photosynthesis and respiration of the plants grown at a higher CO₂ concentration was lower than that of the plants grown at CO₂ concentration equal in the diapason from 0.15 to 0.3%. As a result the final productivity of plants grown at different CO₂ concentrations did not differ for certain. Thus the long-term increased CO₂ content in an atmosphere must not lead to decrease of oxygen and vegetables production by a vegetative conveyor of the BLSS photosynthesizing unit.

POTENTIAL OF THE CHEMOAUTOTROPHIC COMPONENT FOR OPTIMIZING THE LSS STRUCTURE

Volova T.G.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Chemoautotrophic hydrogen-oxidizing bacteria can be used to resolve the main tasks of human life support: air regeneration – due to assimilation of CO_2 and other gaseous metabolic products expired by humans in processes of chemosynthesis; processing of liquid wastes; water regeneration; and production of the protein part of the diet that contains all necessary amino acids. To use up the CO_2 expired by a human per day, one should have about 25 l of *Ralstonia eutropha* culture, and the factually attained productivity of the culture is 30 g/l·d. Chemoautotrophic organisms are genetically stable and tolerant to the effect of ionizing radiation and microgravity; their energy efficiency is an order of magnitude higher than that of phototrophic organisms. The total capacity of the LSS with hydrogen bacteria and electrolysis is estimated as 1 kw per person. The comparison of the amount of water generated in the system and that necessary for electrolysis yields the water balance 0.3%. With the full balance of the gas and water exchange of the LSS with the “hydrogen bacteria-electrolysis” compartment, 720 g biomass synthesized per day can satisfy human protein requirements, including all essential amino acids, some vitamins, and most of the macroelements, while carbohydrates and some of the elements (sodium, chlorine, iodides, and fluorides) will be deficient.

The technology of culturing hydrogen bacteria has been developed and realized, including cultures with medium recirculation and addition of human liquid wastes; responses of the culture to various physicochemical stresses, including the conditions of the real space flight, have been investigated and it has been found that the culture remains stable; biological value of the biomass has been tested in experiments with higher animals and has been positively evaluated; fermentation installation has been constructed and bioengineering issues of chemosynthesis on hydrogen studied, including systems with explosion-proof internal water electrolysis. Analysis of the differently structured LSS's has shown that the system containing the “hydrogen bacteria-electrolysis” compartment, intended to regenerate air and water and generate 20% of the protein part of the diet is in its functional, power, and weight parameters preferable to all the other variants to be used inside and outside the solar system for long periods of time (for one year and longer); its energy efficiency can amount to 70-80%, with the gas and water balances matching completely and human protein requirements satisfied.

To develop a LSS of this structure, the primary task is to study the nutritional value of the protein and other components of *Ralstonia eutropha* biomass. This culture can be a source of environmentally friendly polymers that can be used to manufacture non-woven materials, clothes, personal hygiene items, kitchen dishes, packages, containers, etc.

A CREW LIFE SUPPORT SYSTEM CONTROL FOR INTERPLANETARY VEHICLES

Zareczkiy B.F., Gavrilov L.I., Kurmazenko E.A.,

JSC «NIIchimash», Moscow, Russia

An interplanetary manned flight accomplishment essentially changes the requirements shown to Life Support Systems, especially requirements to the LSS Automated Control Systems (ACS). The capabilities of a control of separate system functions by Earth Flight Control Center in conditions of interplanetary flights essentially decrease. All it causes increases of the ACS LSS survivability and an intellectual level.

The solution probable ways of the given problem are:

- the application and development of philosophy of the distributed control systems;
- the application of units and the devices of control produced with use of technology of a series production, reducing to a minimum influence of the human factor;
- the application of algorithms based on the maximal use of principles of the adaptive control, methods of the theory of an artificial intellect, diagnostics and prediction of a condition of technical systems;
- the development and use of modern measuring sensors for the systems of monitoring and diagnostics;
- the formation of onboard monitoring system on the basis of modern interfaces of type RS 485;
- the maximal development of the LSS and ACS sectional/modular elements with the maintenance in a limit of two communication cables with a side: a power cable of power supplies and a communication cable with an onboard information network;
- the creation of intellectual systems of the identification and issue of recommendations to crew on the localization of off-nominal situations for increase of survivability and essential decrease in expenses of the crew on-duty time on the LSS operation.

It is shown, that the solution of the given problem will allow developing the modern ACS for LSS suitable for implementation of various space programs.

TRACE CONTAMINANT CONTROL SYSTEMS: THE RESULTS OF OPERATION ON-BOARD ISS AND THE DEVELOPMENT PROSPECTS

Zhinzhiikov L.A., Kurmazenko E.A., Gavrilov L.I., Kochetkov A.A.,

Mednikova T.A., Telegin A.A.*, Yurgin A.V.*, Moukhamedieva L.N.**

JSC «NIIchimash», Moscow, Russia

*S.P.Korolev RSC «Energia», Korolev, Russia

**SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

The paper deals with the contaminant control problem in an atmosphere of pressurized manned modules (PMM) of the Space Orbital Station and Interplanetary Vehicles. The only means to maintain the quality of spacecraft cabin atmospheres is to effectively manage the balance between the generation and removal of volatile trace.

Space crews' metabolic products and off-gassing of non-metallic structural materials are the standing trace contaminant sources for the PMM air environment. The systems

SBMP installed in the ISS Russian segment, and TCCS installed in the ISS American segment now are used for removal allocated trace contaminants from the PMM air environment.

The operation results of given systems are brought and is shown that their functions provides necessary quality of the PMM atmosphere.

The main contaminant of the ISS atmosphere are siloxanes and their compounds, reliable which means of removal are not included in used systems. Therefore it is necessary to make design and experimental optimization of additional filters for removal of this contaminant.

For independent The duration of the crew's stay on-board the space vehicle autonomous interplanetary flights essentially increases, there are plants as additional biological objects, conditions of removal of the trace contaminants practically are completely excluded at replacement of an atmosphere because of implementation of extravehicular activities. Therefore the norm used now should be corrected, and perspective systems of the trace contaminant removal should be based on use except for absorption and catalytic methods of the photocatalysis and air ionization processes

THE GRAVITROPIC RESPONSE DYNAMICS OF WHEAT PLANTS GROWN INSIDE HEMISPHERICAL SPACE GREENHOUSE PROTOTYPE

Zyablova N.V., Berkovich Yu.A., Skripnikov A.Y.

SSC RF – Institute of Bio-medical Problems of the RAS, Moscow, Russia

The characters of time course of gravicurvature (TCGC) of the 3-day wheat coleoptiles after a change in their orientation within the gravity field in dark and under red light are studied. It was found that maximal curvature angle and average rate of gravicurvature took place after 90 degrees of gravistimulation turn. Duration of the TCGC was registered in the range from 130 to 195 minutes. The estimates of red light (PPF of $30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) influence on 3-days coleoptiles TCGC are obtained. The reorganization of microtubules in dark and light during TCGC of wheat coleoptiles after changing their orientation from vertical to different angles is studied. The parameters of growth and development of wheat, cultivated during 5 weeks in rotating growth chamber of hemispherical on-ground prototype of space greenhouse were compared with stationary control crop. The wheat crop was cultivated under the hemispherical red-blue LEDs assembly with PPF of around $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The plant growth chamber had diameter of 600 mm and rotated 3 rph around of 2 perpendicular axes. Nutrient solution supply system regulated water potential in the range of $(1,0 \pm 0,45)$ kPa. The experiment showed that integral wheat gravitropic reactions inside rotating growth chamber under chosen illumination had not significant effect on growth and development of the plants.