

## Секция 20

**Космическая биология и медицина****ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ  
МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА  
БИОБЪЕКТЫ И ВОДНУЮ СРЕДУ**

*В.В.Цетлин, Е.И.Домарадская\*, Т.С.Гурьева, О.А.Дадашева,  
М.А.Левинских, Е.Л.Нефедова, Н.Д.Новикова*

*ГНЦ РФ ИМБП РАН*

*\*ИБР им. Н.К.Кольцова*

*V\_Tsetlin@mail.ru*

Проблема обеспечения радиационной безопасности выходит на первый план при межпланетных полетах, когда ожидаемые мощности поглощенной дозы за защитой толщиной  $1 \text{ г/см}^2$  будут лежать в диапазоне от 0,0031 до 2,3 сГр/сут. В отсеках межпланетного корабля будут присутствовать первичные и вторичные нейтроны в широком диапазоне энергий от долей до десятков МэВ. Особенно большие плотности потоков нейтронов до  $10^6 \text{ н/см}^2\cdot\text{сут}$  ( $1-10 \text{ н/см}^2\cdot\text{с}$ ) ожидаются, если межпланетный полет будет происходить в период максимума солнечной активности. Такие дозы в радиобиологии относят к малым дозам и их биологическая эффективность изучена недостаточно.

Исследования среды обитания ОК МИР показали, что естественные вариации интенсивности космического излучения в течение 15 лет в 2-10 раз могут приводить к увеличению микробной заселенности станции на 2-4 порядка. Установлено, что в условиях, близких бортовым мощностям доз, изменения в онтогенезе и морфогенезе полетных и наземных штаммов микромицетов вызываются действием излучения на водную среду микроорганизма и питательного раствора. Увеличение обсеменности и расширение контаминации поверхности оборудования и интерьера космической станции микроорганизмами, вызванные вариациями радиационной обстановки в отсеках в период минимума солнечной активности, сопровождалось ростом мицелия и усилением процессов биоповреждения кабелей, трубопроводов и электрических цепей внутри бортовой аппаратуры.

Проведены экспериментальные исследования эмбриогенеза японского перепела в условиях, хронического облучения гамма- и смешанным гамма-нейтронным излучением от радионуклидных источников при дозах, имитирующих радиационную обстановку в орбитальной космической станции и в полете в межпланетном пространстве к Марсу. В условиях постоянно действующих малых доз гамма-облучения (источник облучения  $Co^{60}$ , мощностью 0,15 сГр в сутки, длительность облучения 16 сут, суммарная доза 2,4 сГр) не наблюдается каких-либо влияний на эмбриональное развитие японского перепела. В противоположность этому, при воздействии смешанного гамма-нейтронного облучения мощностью дозы, (источник (Pu,  $\alpha$ , n, Be) равной 0,020 сГр/сутки при плотности потока нейтронов 30 частиц/см<sup>2</sup> с на эмбриональное развитие перепела выявило у 12 % эмбрионов морфологические нарушения. Обнаружены аномалии в строении органов эмбрионов, которые, по-видимому, связаны с нарушениями формообразования, вызванными хроническим облучением малыми дозами ионизирующего излучения как в условиях космического полета, так и в наземных экспериментах.

Исследовали влияние низких доз гамма-облучения (время облучения – 10 сут, среднесуточная мощность дозы 0,15-0,20 сГр, суммарная доза 1,5 сГр) на кроветворные и стромальные родоначальные клетки костного мозга мышей. Состояния стромы костного мозга оценивали методом клонирования *in vitro*. Выявлен феномен стимулирующего действия гамма-излучения малой интенсивности на мезенхимные стромальные клетки (радиационный гормезис), который проявлялся в усилении пролиферативной активности и увеличении в 1,5-4,5 раза численности КОЕ-Ф в костном мозге. Регенераторная способность стромы костного мозга существенно увеличивалась (в 2 раза). При смешанном гамма-нейтронном облучении радиационный гормезис наблюдали только при дозе  $4,8 \times 10^{-3}$  сГр. В отличие от стромальных клеток, кроветворные родоначальные клетки оказались нечувствительными к использованным дозам радиации: изменения числа КОЕ-С в S-фазе и их содержания в костном мозге не происходило.

Обнаружен факт влияния отстоянной водопроводной воды, предварительно облученной как непосредственно различными видами частиц: электронами, альфа-частицами, так и опосредованно, на энергию прорастания и всхожесть семян редиса сорта Моховский. В вариантах с использованием предварительно облученной воды отмечено снижение энергии прорастания (на 20 %) и всхожести семян (на 15 %) по сравнению с контролем. Схожий характер изменения биологических свойств

семян наблюдали и при воздействии воды, подвергшейся воздействию предварительно облученной водой, т.е. «облученной» опосредованно. В итоге можно сказать, что результаты настоящих исследований выявили морфологическое и функциональное формирование радиобиологического эффекта, которое свидетельствует о том, что при действии малых (меньших 1-10 сГр) доз ионизирующего излучения в биообъектах происходят необратимые процессы в генетических, мембранных и биохимических регуляторных системах клеток различных видов биологических объектов.

#### **ВЛИЯНИЕ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ КРИПТОН, НА ЭМБРИОГЕНЕЗ ЯПОНСКОГО ПЕРЕПЕЛА**

***А.Р.Куссмаль, Т.С.Гурьева, О.А.Дадашева, Б.Н.Павлов, Н.Б.Павлов***  
**ГНЦ РФ - ИМБП РАН**  
***gurieva@imbp.ru***

В настоящее время проводится активное внедрение методов лечения и реабилитации газовыми смесями, содержащими инертные газы, поскольку, являясь химически инертными, они, тем не менее, обладают широким спектром биологического действия. Так, использование кислородно-гелиевых смесей эффективно при лечении ряда заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, реабилитации после переохлаждения и физических нагрузок.

Механизмы действия инертных газов, в частности их наркотического действия до конца не выяснены, однако исходя из существующих данных, инертные газы, в отличие от традиционных анестетиков, не обладают токсическим действием. Особый интерес представляет действие этих газов на развивающиеся организмы, поскольку ранние стадии онтогенеза оказываются наиболее чувствительными к воздействию факторов внешней среды. Для оценки влияния газовых смесей и сред был выбран японский перепел одомашненный (*Coturnix coturnix japonica dom.*), так как у развивающихся вне матери эмбрионов имеются собственные активные реакции и приспособления, позволяющие им реагировать на любые изменения внешней среды.

Были проведены эксперименты по изучению эмбрионального развития перепела в воздушно-криптоновой среде в течение 17 суток.

В опыте 1 избыточное давление 3,0 кгс/см<sup>2</sup> создавали за счет подачи криптона газообразного медицинского (ТУ 2114-007-39791733-2003, ООО «Акела-Н»), что создавало среду в боксе: O<sub>2</sub>=0,21 кгс/см<sup>2</sup>, N<sub>2</sub>=0,78

кгс/см<sup>2</sup>; Кг=3,0 кгс/см<sup>2</sup>. Во 2 опыте в течение первых 12 часов развития эмбрионы проходили в состоянии острой гипоксии ( $O_2=0,07$  кгс/см<sup>2</sup>), а остальное время эмбрионы развивались в среде  $O_2=0,21$  кгс/см<sup>2</sup>,  $N_2=0,78$  кгс/см<sup>2</sup>; Кг=3,0 кгс/см<sup>2</sup>. Выемку яиц проводили на 4 и 17 сутки, поскольку, по данным литературы, в случае изменения содержания кислорода наиболее значимы результаты, полученные именно на этих стадиях.

Результаты первой серии экспериментов по влиянию криптона на развитие японского перепела продемонстрировали достаточно высокую выживаемость эмбрионов в кислородно-криптоновой среде: на 4 сутки она составила 90,5%, на 12 сутки - 52,6%, тогда как на 17 сутки опытного инкубирования яиц выживаемость эмбрионов резко сократилась, и была всего 14,3%. Такое резкое снижение выживаемости, по-видимому, связано с нарушением режима инкубирования яиц. Во втором опыте эмбриогенез перепелов в первые 12 часов проходил в острой гипоксии. Известно, что гипоксия вызывает у развивающегося организма значительные уродства и приводит к смерти. Полученные результаты показали, что выживаемость эмбрионов на 4 сутки развития осталась достаточно высокой и составила 76,2%. Высокую выживаемость зародышей птицы на 4 сутки развития объясняется тем, что в начальном периоде развития эмбрионов значительную роль играет анаэробный метаболизм и поэтому легче переносится сильно пониженная концентрация кислорода. Однако, в полностью анаэробных условиях может происходить только рост ткани, а не ее дифференцировка. Поэтому исключить потребление кислорода нельзя, так как это приводит к гибели эмбрионов и развитию патологии. По данным Галлера при инкубировании яиц в среде, содержащей 7%  $O_2$ , примерно у половины эмбрионов развивались те или иные патологические морфо-функциональные изменения. Экспериментальные данные показали, что кратковременная острая гипоксия вызвала у 31,0% эмбрионов различные аномалии развития: S-образная форма тела, двухсторонняя микрофтальмия, многочисленные точечные кровоизлияния на теле. Но при этом стоит отметить, что у 26,2% эмбрионов происходило опережение сроков развития на 0,5-1 сутки, как и в первой группе, несмотря на наличие острой гипоксии на раннем этапе эмбриогенеза. Это позволяет предположить, что криптон, возможно, обладает протекторными, антигипоксическими свойствами.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДРОСЛЕЙ ПРИ ДЕГИДРАТАЦИИ  
ОТХОДОВ В СИСТЕМЕ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ  
МАРСИАНСКОГО ЭКСПЕДИЦИОННОГО КОРАБЛЯ**

*В.Н.Сычев, М.А.Левинских, Т.С.Гурьева*

*ГНЦ РФ – ИМБП РАН*

*vsychev@imbp.ru*

В настоящее время разрабатываются сценарии первой межпланетной экспедиции, которые различаются длительностью полета в целом, количеством членов экипажа, временем пребывания на Марсе и пр. Однако при любом сценарии полета на Марс одной из важнейших задач, которая требует своего разрешения, 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), неспособны 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. Эти результаты согласуются с результатами модельных наземных исследований с участием человека, проводившихся в ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Эти исследования показали,

что интенсивная культура одноклеточных водорослей является универсальным самовосстанавливающимся гидробиологическим фильтром, обеспечивая очистку атмосферы гермообъема от различных водорастворимых газообразных примесей за счет их полного поглощения и утилизации в фотореакторе водорослями и сопутствующими им микроорганизмами. 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 МЭЖ 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.

#### **СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ**

*А.Н. Азурев, В.Ф. Васильева*  
*ГНЦ РФ ИМБП РАН*  
*agureev@imbp.ru*

При разработке системы обеспечения питанием (СОП) для долговременных орбитальных станций соблюдали принцип преемственности, когда при проектировании и компоновке системы для станций следующего поколения использовали хорошо зарекомендовавшие себя и усовершенствованные элементы СОП ранее эксплуатировавшихся орбитальных станций.

В состав СОП долговременной орбитальной станции (ДОС) входят:

- рационы питания (РП);
- контейнеры для размещения продуктов РП;
- электроподогреватель пищи (ЭПП);
- средства приема пищи (ложки, вилки, ножницы, приспособление для вскрытия туб);

- бортовой холодильник;
- пакеты для сбора пищевых отходов;
- салфетки для обработки столовых приборов.
- Для обеспечения удобства и комфортных условий при приеме пищи на борту ДОС
  - организована «зона питания» включающая:
    - стол, в котором размещаются подогреватели пищи, зона отсоса крошек, место для размещения контейнера с продуктами, приспособления для фиксации упаковок с продуктами и средств приема пищи, а также пакетов для сбора пищевых отходов;
    - модернизированный блок подогрева и раздачи воды системы СРВ-К с автоматическим и ручным дозатором для восстановления продуктов сублимационной сушки;
    - стеллаж для размещения контейнеров с рационами питания;
    - бортовой холодильник.

На начальном этапе эксплуатации станция «Мир» была оснащена электроподогревателем разработки ВНИЭКИПродмаш. В нем можно было одномоментно подогревать 4 консервных банки, 4 тубы и 4 упаковки с хлебом. Он обеспечивал подогрев продуктов до + 65°C и был также режим подогрева до + 75°C для быстрозамороженных продуктов.

В электроподогревателе пищи (ЭПП) можно проводить подогрев 5 продуктов в металлических банках большого или маленького диаметра и 4-х упаковок с хлебом. Он работает в автоматическом режиме. Электрическая схема построена так, что при перегреве одной из баночных ячеек отключалась только эта ячейка, при перегреве одной хлебной ячейки отключаются все 4-е. Температура нагрева продуктов +65°C, время подогрева – 30 минут.

Бортовой холодильник, изготовленный РКК «Энергия», предназначался для хранения свежих продуктов и продуктов с ограниченными гарантийными сроками. Холодильник обеспечивал температуру хранения продуктов в диапазоне от –3 до +10°C, объем камеры - 80 литров, масса загружаемых продуктов – до 40 кг

Основной составляющей СОП являются рационы питания. В основу разработки рационов питания для экипажей ДОС заложены принципы концепции сбалансированного питания. Сбалансированность потребляемой пищи является неперенным условием, позволяющим в наибольшей степени обеспечить удовлетворение потребностей организма в незаменимых пищевых и биологически активных веществах.

Эффективное функционирование СОП гарантирует адекватное обеспечение энергетических и пластических потребностей организма космонавтов и способствует поддержанию необходимого для выполнения программ космических полетов уровня физической и умственной работоспособности.

**ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ**

*Е.А.Дешевая\**, *Н.Д.Новикова\**, *Н.А.Поликарпов\**,  
*М.Г.Дьякова\*\**, *Н.В.Шевлякова\*\**, *В.А.Тверской\*\**

*\*ГНЦ РФ ИМБП РАН*

*\*\*МГАТХТ им. М.В. Ломоносова*

*novikova@imbp.ru*

При длительной эксплуатации орбитальных космических станций на конструкционных материалах отмечались зоны видимого роста плесневых грибов. Для профилактики и защиты декоративно-отделочных и конструкционных материалов от контаминации и развития микроорганизмов в период эксплуатации космического объекта необходимо использовать материалы и изделия, на поверхности которых эффективно купируются процессы развития биоповреждений.

В результате многолетней работы нами был разработан многостадийный метод модификации поверхности синтетических (на примере ариmidной ткани) и натуральных (на примере хлопчатобумажной ткани) полимерных материалов, используемых в космических объектах. Этот метод включает радиационную прививочную полимеризацию винилкарбоновых кислот на поверхности материала с последующей химической модификацией, приводящей к иммобилизации органического катиона поверхностно-активного вещества - катамина АБ.

Показано, что в выбранных условиях проведения радиационной прививки акриловой кислоты на эти материалы (прививка под лучом при мощности дозы облучения до 20 рад/с в парах акриловой кислоты при барботаже азота через последнюю при комнатной температуре) степень прививки поликислоты увеличивается с ростом дозы облучения (в диапазоне от 0,5 до 5 Мрад).

При сравнительно невысоких дозах облучения для данных материалов достигается степень прививки, обеспечивающая определенный уровень защиты поверхности материалов.

Проведенные биотестирования материалов, модифицированных данным способом, выявили, что уже при степени прививки полиакрило-

вой кислоты 2 % достигается содержание биоцида в материале, при котором полностью подавляется жизнеспособность у бактерий и грибов. При исследовании различных режимов иммобилизации катамина АБ было показано, что они не влияли на антимикробные свойства защищаемой поверхности.

Для создания типовых биоповреждающих процессов конструкционных материалов, основанных на имитации взаимодействия системы: материал-микроорганизм в условиях, приближенных к космическому полету, был разработан специальный стенд, позволяющий моделировать не только температуру и относительную влажность воздуха, но и радиационное излучение.

Использование разработанного метода защиты конструкционных материалов, используемых в космических объектах, позволяет подавлять жизнеспособность бактерий и микромицетов на поверхностях материалов в условиях, оптимальных для их развития - температура  $28 \pm 1^\circ\text{C}$  и влажность – 90 %, а также при среднем значении ионизирующей радиации, соответствующей параметрам кабины космического объекта - 40 мрад/сут. В качестве минерального и органического загрязнения использовали среду Чапека-Докса. В состав бактериально-грибной ассоциации входили культуры, выделенные из среды обитания космических объектов.

На примере материала, наиболее подверженного биоповреждениям (ленты хлопчатобумажной), установлена 100 % эффективность его защиты от сохранения жизнеспособных единиц микроорганизмов на поверхности методом поверхностной модификации:

- при ежемесячной контаминации микроорганизмами модифицированных поверхностей - более года;
- при постоянной микробной нагрузке, составляющей  $1 \times 10^5$  5-6 КОЕ  $\text{см}^2$  - более 3-4 месяцев и более 7-8 месяцев при периодической микробной нагрузке;
- после искусственного климатического старения, эквивалентного 7 годам эксплуатации модифицированных материалов.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны методы антимикробной защиты конструкционных материалов, обладающие высоким эффектом и пролонгированным действием, которые рекомендуются к применению в космических объектах для предотвращения процессов биоповреждений.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ ЯПОНСКОГО  
ПЕРЕПЕЛА ПОСЛЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ  
В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ**

*А.В.Хехнева, Т.С.Гурьева, В.Н.Сычев*

**ГНЦ РФ ИМБП РАН**

*vsychev@imbp.ru*

Настоящая работа посвящена изучению возможности осуществления пищевого поведения у птенцов японского перепела после их пребывания в условиях вертикального вращения (клиностаტიрования), начиная с 2/3 эмбриогенеза и до установленного срока в постнатальном периоде развития (4, 6 и 8 ч).

Анализ результатов показал, что практически у 50 % исследуемых птенцов в каждой из серий экспериментов пищевая реакция наступала в первые 125 с от момента пересадки из индивидуальных камер клиностага в экспериментальный стенд.

Выявлено, что длительность пребывания в условиях вертикального вращения (клиностаტიрования) оказывает существенное влияние на время наступления пищевой реакции у новорожденных птенцов. Так, птенцам, которые находились в клиностаге в течение 6 ч после вылупления, потребовалось в среднем меньше времени (150,7 с) для проявления пищевого поведения по сравнению с птенцами, находившимся в клиностаге 4 и 8 ч после вылупления. Показано, что данный временной отрезок (6 ч) является оптимальным для пребывания птенцов в условиях вертикального вращения в раннем постнатальном онтогенезе, поскольку при возвращении птенцов в условия нормальной гравитации наблюдается значительное ускорение процесса восстановления генетически детерминированных поведенческих сенсорномоторных реакций, в том числе пищевой. Характер проявления пищевого поведения у новорожденных птенцов в условиях изоляции зависит от индивидуальных особенностей, а также от степени состояния «дискомфорта».

Полученные результаты могут быть использованы при разработке устройств и приспособлений для постэмбрионального содержания японского перепела применительно к условиям невесомости.

**МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЛУНЕ И МАРСЕ****С.Н. Филипенков****ЛИИ им. М.М. Громова*****fysim-lii@mtu-net.ru***

Внекорабельная деятельность (ВКД) в полете надежно отработана на протяжении 40-летней деятельности вне орбитальных космических комплексов (ОКК). Между тем, десантирование на Луну и Марс с выходом в скафандре космонавта (СК) на поверхность небесных тел будут наиболее сложными и опасными операциями пилотируемых экспедиций 21 века. Эти задачи потребуют проведения долговременной программы медико-технических исследований, направленной на решение комплекса медико-биологических, физиолого-гигиенических и эргономических аспектов ВКД с постепенным усложнением требований, предъявляемых к создаваемым автономным системам обеспечения жизнедеятельности (АСОЖ) и планетарным СК.

Медико-биологические задачи ВКД лунной экспедиции уже успешно решались в 1960-1970-х в рамках подготовки медицинского сопровождения экспедиции "Луна 3". При подготовке предусматривалось выполнение на окололунной орбите ВКД в полужестких СК "Орлан" с АСОЖ, рассчитанной на 5 ч работы и на 2 операции страховки перехода второго члена экипажа из лунного орбитального корабля (ЛОК) в лунный посадочный корабль (ЛК) (Абрамов И.П., Дудник М.Н., Сверщек В.И. и соавт., 2005). В перспективных разработках медико-технических требований к отечественному планетарному СК (Барер А.С., Гноевая Н.К., Рыков Г.А. и соавт., 1990; Катунцев В.П., Николаев В.П., Осипов Ю.Ю., 1993; Филипенков С.Н., Моисеев Н.А., 1995-1998; Абрамов И.П., Моисеев Н.А., Стоклицкий А.Ю., 2001-2004) следует базироваться на накопленном положительном опыте испытания в СССР систем обеспечения выхода из ЛК одного космонавта в СК "Кречет". АСОЖ для СК "Кречет" была рассчитана на 10 ч в автономной работы и на 52 ч в случае применения бортовых ресурсов лунной тележки в аварийных и нештатных ситуациях по переходу на расстояние до 5 км в резервный ЛК (Северин Г.И., Абрамов И.П., Сверщек В.И., Поздняков С.С., 2006).

Целесообразно учесть успешный опыт медицинского сопровождения регулярных операций ВКД на ОКК (Барер А.С. и соавт., 1987-1990, Катунцев В.П. и соавт., 2001) осуществляемых в модифицированных СК "Орлан" орбитального базирования, который показал необходи-

мость планирования 1-2-суточных периодов между регулярными операциями ВКД для восстановления сил экипажа и выполнения регламентных работ по обслуживанию СК и АСОЖ, рассчитанных на 5-7 ч непрерывной работы в 12 выходах на протяжении 2-4 лет полета (Северин Г.И., Абрамов И.П., 2005). Такой же режим эксплуатации СК и оперативного медицинского контроля операций ВКД может применяться в будущем на межпланетном орбитальном корабле. Специального исследования потребуют физиолого - гигиенические и санитарные проблемы создания планетарного СК для марсианской экспедиции на основе полужестких СК "Орлан" применяемых вне ОКК с 1977. При испытаниях планетарного СК придется дополнительно проводить исследования на самолете - летающей лаборатории и на наземных стендах вывешивания по определению биомеханических характеристик локомоции человека в СК в условиях моделирования гипогравитации 1/6g и 3/8g, а также выполнять полевые работы, имитирующие исследование других планет после высадки из взлетно-посадочного корабля. Подобные задачи уже отрабатывали в 1968-1970 годах при испытаниях СК "Кречет" с рабочим режимом давления 40 кПа (Алексеев С.М., Уманский С.П., 1973; Абрамов И.П. и соавт., 2005) и на новом этапе эксперименты должны быть продолжены космонавтами, проходящими курс реадaptации к наземной гравитации после возвращения из длительного орбитального полета, как предлагается РКК "Энергия" с целью подготовки межпланетной экспедиции (Цыганков О.С., Полещук А.Ф., 2004).

При глубокой модификации СК, как индивидуальных и изолирующих средств защиты, необходимо не только учесть весь спектр неблагоприятных внешних условий (радиация, гипогравитация, вакуум, разреженная атмосфера, суровый климат, световая обстановка), но также обеспечить противорадиационную защиту и декомпрессионную безопасность космонавтов (Исеев Л.Р., Кузнец Е.И., Катунцев В.П., Малкиман И.И. 1991, Моисеев Н.А., Филипенков С.Н., 1994 - 1995; Никогосян А.Г., Баевский Р.М., 2001; Шибанов Г.П., 1993; Шуршаков В.А. и соавт., 2003-2006). Критичной проблемой экспедиции будет радиационная безопасность и обеспечение адекватной противорадиационной защиты от галактического и солнечного ионизирующего излучения, а также от наведенной радиации. Эта проблема была успешно решена на околоземной орбите и в американских лунных экспедициях, но только в отсутствии солнечных вспышек с помощью своевременного прогнозирования радиационной обстановки при подготовке ВКД.

Только системный анализ и комплексное решение медицинских проблем ВКД в сочетании с последовательным усовершенствованием эргономических характеристик СК и инструмента в процессе наземных и орбитальных испытаний с внедрением вспомогательных автоматических механизмов и самоходных средств перемещения космонавтов позволят обеспечить уровень работоспособности экипажа, необходимый для выполнения продуктивной ВКД на Луне и Марсе. В процессе НИОКР следует, прежде всего, совершенствовать систему медицинского обеспечения ВКД при работе в СК, сделав ее комфортной для космонавтов и полностью автономной от Земли. Имеется определенная озабоченность, обусловленная диссонансом между сложностью проблем обеспечения ВКД при десантировании на Луну и Марс и текущим состоянием их разработки в России.

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ НАКОЖНОЙ  
ЭЛЕКТРОГАСТРОЭНТЕРОГРАФИИ ДЛЯ КОСВЕННОГО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
ЖЕЛУДКА, РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛОВ ТОНКОГО И ТОЛСТОГО  
КИШЕЧНИКА В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА**

*Б.В.Афонин, Е.А.Седова, Н.П.Гончарова, В.А.Валуев*

*ГНЦ РФ ИМБП РАН*

*afonin@imbp.ru*

Электрическая активность желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) сопровождается микровольтовыми изменениями потенциалов на поверхности кожи человека, которые могут регистрироваться специальными приборами – гастроэнтерографами. Наличие некоторой специфичности частотных характеристик электрических потенциалов желудка, двенадцатиперстной, тощей, подвздошной и ободочной кишки позволяет количественно охарактеризовать электрическую активность каждого из этих отделов ЖКТ. Запись накожных потенциалов производится в широком спектре, охватывающем частотные диапазоны всех отделов ЖКТ. Математическая обработка потенциалов позволяет количественно оценить каждый из этих отделов. В результате расчетов получают значения суммарной энергии потенциалов (ЕС) в мВ/сек и длины кривой, огибающей пики потенциалов в диапазоне специфического спектра частот для каждого органа (L) в мВ/сек. В норме изменения этих показателей коррелируют между собой, однако, они имеют разность, различающуюся на порядок и разный физиологический смысл. ЕС отражает суммарное количество сгенерированных в опреде-

ленной частоте потенциалов (мВ) в единицу времени, а величина L определяется количеством потенциалов, которые составляют эту суммарную активность. Поскольку изменения этих показателей обычно однонаправлены, то использование отношения L/EC позволяет более наглядно представить, за счет чего формируется суммарная электрическая активность отделов ЖКТ - количества пиков или увеличения потенциалов. В норме натошак L/EC количественно равно  $0,19 \pm 0,01$ . Увеличение этого коэффициента указывает на то, что количество отдельных потенциалов возрастает, т.е. дискретность или асинхронность электрических потенциалов увеличивается, что обычно характеризует активацию перистальтики, наблюдающуюся при эвакуации содержимого в ЖКТ. Снижение этого коэффициента указывает на то, что количество отдельных потенциалов уменьшается, т.е. дискретность или асинхронность электрического сигнала уменьшается, что характерно для равномерных, т.е. тонических сокращений в ЖКТ. С этих позиций можно охарактеризовать изменение электрической активности различных отделов ЖКТ натошак и при приеме однородной по консистенции и составу пищи. В качестве образца такой пищи использовалось 200 мл кефира жирностью 3,2% (стандартный завтрак). По отношению к изменениям, вызванным кефиром, проведена оценка действия на электрическую активность пищеварительной системы различных пищевых продуктов (каши, супа, картофеля с тушеным мясом, острого блюда - говяжьего языка в желе со специями). По отношению к электрической активности ЖКТ, полученной натошак и после приема стандартного завтрака, были охарактеризованы изменения ЖКТ при моделировании эффектов невесомости в гипокинезии. Влияние на электрическую активность застоя крови в венозной системе брюшной полости, возникающего в невесомости (полнокровие в спланхническом бассейне), исследовалось в условиях кратковременного пребывания в антигравитационном положении с углом наклона 12-15° длительностью 12-24 часа. Такая длительность исключает влияние гипокинезии и позволяет исследовать собственно влияние увеличения венозного кровенаполнения в органах ЖКТ.

Таким образом, исследования взаимосвязи между величинами электрической активности различных отделов ЖКТ и показателями, характеризующими изменения их функционального состояния при приеме различных пищевых продуктов и фармпрепаратов, а также при воздействиях, приводящих к изменениям в гемодинамике брюшной полости и обмене веществ организма, раскрывают перспективы метода

ЭГЭГ в экспресс-диагностике изменений пищеварительной системы в экстремальных условиях и в том числе в условиях орбитального и межпланетного космического полета.

**ДИНАМИКА ИММУННЫХ СЕТЕЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ  
МИГРАЦИЕЙ КЛЕТОК В МНОЖЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЯХ**

*Е.И.Алексеева*

*Вычислительный Центр им. А.А. Дородницына РАН*

*alex@ccas.ru*

В многоклеточном организме функционирование его одной части - отдельной клетки, ткани, органа – согласовано с другими, работа каждого органа дополняет функционирование других. В свете таких представлений фундаментальные вопросы целостности, стабильности и развития многоклеточного организма, нормального и патологического его состояний заманчиво рассматривать как проявление коллективного поведения самоорганизующихся подсистем и их элементов. Яркие примеры такого поведения дает иммунная система, которая постоянно борется с попавшими в организм чужеродными агентами, например болезнетворными микробами, вирусами и злокачественными клетками, и таким образом стремится поддержать здоровье организма.

Одной из ведущих причин, приводящих организм опухоленосителей к гибели, является множественный рост пространственно разнесенных очагов опухолевых клеток. Под множественностью злокачественных новообразований понимают возникновение и существование в организме нескольких опухолей, которые могут появляться одновременно или через определенные промежутки времени. Основными клеточными элементами стромы опухоли являются лимфоциты и макрофаги, которые преимущественно локализуются в ткани вдоль альвеол опухолевых клеток. В ряде экспериментов показано, что дремлющее состояние опухоли может быть обусловлено взаимодействием макрофагов и иммунных лимфоцитов, преимущественно цитотоксических Т-лимфоцитов, с опухолевыми клетками. Благодаря высокой способности к миграции Т-лимфоциты могут циркулировать в ткани, пораженной мультицентрическими опухолями. Кроме того, опухолевый процесс страшен не столько первичным очагом, сколько метастазами. Вопросы взаимодействия опухолевых очагов внутри множественной опухоли и между первичной опухолью и метастазами чрезвычайно сложны, и теория здесь не разработана. В том числе до настоящего времени не находят объяснения такие феномены, как манифестация метастаза без выявления первичного очага, торможение роста метастаза при наличии первичной опухоли,

наличие в пределах одной и той же опухоли зон роста или регрессии и т.д. Для теоретической и клинической онкоиммунологии представляют интерес вопросы устойчивости и дестабилизации мультицентрических дремлющих опухолей в условиях наличия миграции цитотоксических Т-лимфоцитов между очагами опухоли. Эти вопросы рассмотрены ниже с позиций биофизики сложных систем на модели взаимодействия клеток конечного числа опухолевых очагов с иммунными клетками.

Приведена математическая модель роста множественных опухолей в условиях их взаимодействия с цитотоксическими Т-лимфоцитами, факторами и клетками системы естественной резистентности организма и миграции цитотоксических Т-лимфоцитов между очагами опухолевых клеток. На основе предложенной классификации точечных систем проанализирована частота типов таких систем при варьировании внутренних параметров (в биологических границах их изменения).

При компьютерном исследовании модели биллокальной иммуногенной опухоли показано, что увеличение интенсивности миграции иммунных клеток или асимметрия интенсивности обмена ими между опухолевыми очагами могут приводить к бифуркациям, кардинально меняющим исход взаимоотношений опухоли и иммунитета. Дана содержательная интерпретация таким парадоксальным явлениям, как манифестация метастаза без клинического проявления первичного очага, торможение роста метастаза первичной опухолью и т.д. Обсуждается влияние космического полета на формирование сдвигов в системе иммунитета человека. Иммунологическое обследование космонавтов выявило ряд признаков функциональной перестройки в этой системе – снижение функциональной активности Т-лимфоцитов, угнетение активности системы естественной резистентности и повышение продукции высокоактивных кислородных радикалов. Это представляет большой биологический интерес, т.к. в рамках указанной модели может оказывать влияние, как на параметры точечных систем, так и непосредственно на интенсивность миграции Т-лимфоцитов.

Вопросы о роли миграции иммунокомпетентных и опухолевых клеток между различными частями опухоли или между опухолями, растущими в разных тканях, в плане стабилизации их роста и оптимизации лечения таких опухолей не подвергалась прямым экспериментальным исследованиям. Тем не менее, из косвенных экспериментальных данных и теоретического анализа математических моделей следует, что динамика заболевания может быть очень сложной и в определенных ситуациях непредсказуемой. Математическое моделирование указывает на

важность проведения экспериментальных исследований циркуляции клеточных элементов в системах множественных опухолей и метастазов.

**АДАПТАЦИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПОСОБА  
РЕГЕНЕРАЦИИ ПОГЛОТИТЕЛЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ К  
СИСТЕМАМ ОЧИСТКИ АТМОСФЕРЫ ГЕРМООБЪЕКТОВ**

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

*\*РКК «Энергия» им. С.П. Королева,*

*\*\*ГНЦ РФ ИМБП РАН,*

*\*\*\*ООО «Авиа Космические Технологии»*

*zlotopol@imbr.ru*

В атмосфере гермообъектов происходит быстрый рост концентрации вредных для жизнедеятельности человека примесей. Источником выделения примесей является сам человек, неметаллические материалы конструкции и оборудования, а также различные пищевые и косметические продукты. Наиболее распространенной является очистка атмосферы от вредных микропримесей при помощи адсорбентов - активированных углей с широким диапазоном размеров микропор, позволяющими сорбировать большое количество примесей органической и неорганической природы с разными молекулярными массами. Для регенерации активированного угля обычно применяют термоотдувочный, термовытеснительный и термовытеснительный способы. Два первых способа регенерации требуют больших временных затрат, так как лимитирующей стадией процессов является внутридиффузионная кинетика в области массо- и теплообмена. С точки зрения экономии времени наибольший интерес представляет термовытеснительный способ регенерации, заключающийся в вытеснении из слоя угля вредных примесей при поглощении водяного пара.

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°C с последующим принудительным охлаждением воздушным потоком, создаваемым с помощью вентилятора, используемого при удалении примесей. Исследованный пожаробезопасный способ быстрой низ-

котемпературной регенерации может быть применен в системах очистки воздуха любых гермообъектов.

**ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ОВОЩНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ОРАНЖЕРЕИ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ РАЦИОНА ПИТАНИЯ КОСМОНАВТОВ**

*Ю.А.Беркович, Н.М.Кривобок, С.О.Смолянина, А.Н.Ерохин,  
Н.А.Шантурин ГНЦ РФ ИМБП РАН  
berkovich@imbp.ru*

С.П.Королёв придавал большое значение работам по созданию систем жизнеобеспечения космонавтов в будущих межпланетных полётах и, в частности, биолого-технических (БТ СЖО). Основной функцией БТ СЖО является воспроизводство пищевых продуктов в течение полёта, причём в качестве основы пищевой цепи в таких системах рассматриваются высшие растения. Ограниченность и высокая стоимость бортовых ресурсов (массы, герметизированного объёма, потребляемой и рассеиваемой энергии, трудозатрат экипажа) обуславливает высокие требования к эффективности, экономичности и технологичности вегетационного оборудования для производства овощной продукции в условиях космического полёта. В ГНЦ РФ ИМБП РАН разработан новый принцип пространственной организации посевов растений для условий невесомости – конвейерные самораздвигающиеся посева на выпуклых посадочных поверхностях. Математическое моделирование и экспериментальное исследование продукционного процесса в таких посевах на цилиндрической поверхности показало, что для них экономится до 30 % световой энергии на единицу урожая, почти вдвое снижается объём вегетационной камеры оранжереи и сокращаются трудозатраты на обслуживание по сравнению с оранжереями стеллажного типа. Используя новый принцип, построены и испытаны прототипы конвейерных цилиндрических космических оранжерей с высокоэффективными светильниками на базе светоизлучающих диодов, названные «Фитоцикл СД» и «Фитоконвейер». Эксперименты показали, что урожай листовой капусты, получаемый в оранжерее «Фитоцикл СД», потребляющей около 0,5 кВт электроэнергии, может обеспечить ежедневные потребности одного члена экипажа в витаминах А и С и частично - в витаминах группы В, минеральных элементах и пищевых волокнах. Расчёты подтвердили, что подобного типа 4-модульная оранжерея с энергопотреблением около 10 кВт могла бы обеспечить экипаж Марсианского транспортно-корабля из 6 человек основными витаминами и минеральными солями. Наличие овощной оранжереи может существенно улучшить

---

экологическую обстановку и психологический климат в пилотируемом полёте к Марсу. \_\_\_\_\_