



NUTRITIONAL ISSUES ON INTERPLANETARY SPACE FLIGHTS

ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ В МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ



Alexander N. AGUREEV,
Candidate of Medical Sciences, Academician of the Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, Full Member of the International Academy of Astronautics - Head of the Laboratory, IBMP RAS, Moscow, Russia, aagureev@imbp.ru

Александр Никитович АГУРЕЕВ,
кандидат медицинских наук, академик Российской академии космонавтики им. К. Э. Циолковского, действительный член Международной академии астронавтики – заведующий лабораторией, ГИЦ РФ – ИМБП РАН, Москва, Россия, aagureev@imbp.ru



Mark S. BELAKOVSKIY,
Candidate of Medical Sciences, Academician of the Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, Full Member of the International Academy of Astronautics, Head of Department, IBMP RAS, Moscow, Russia, info@imbp.ru

Марк Самуилович БЕЛАКОВСКИЙ,
кандидат медицинских наук, академик Российской академии космонавтики им. К. Э. Циолковского, действительный член Международной академии астронавтики, заведующий отделом ГИЦ РФ – ИМБП РАН, Москва, Россия, info@imbp.ru

ABSTRACT | The article analyzes the effectiveness of using existing power supply systems for short-term flights on transport manned ships and for long-term flights on the International Space Station (ISS). The article presents the characteristics of products that are suitable for use in space flight conditions and are currently used to complete rations for feeding cosmonaut crews. The existing problems are considered and the main directions of work on creating power supply systems for interplanetary flights and on planetary bases are outlined.

Keywords: *manned space flights, cosmonaut nutrition, International Space Station, ration, nutritional status*

АННОТАЦИЯ | В статье проанализирована эффективность использования существующих систем обеспечения питанием при кратковременных полетах на транспортных пилотируемых кораблях и при выполнении долговременных полетов на Международной космической станции. Представлена характеристика продуктов, пригодных для использования в условиях космического полета, из которых в настоящее время комплектуются рационы питания экипажей. Рассмотрены существующие проблемы и обозначены основные направления работ по созданию систем обеспечения питанием при межпланетных полетах и на планетных базах.

Ключевые слова: *пилотируемые космические полеты, питание космонавтов, Международная космическая станция, рацион, пищевой статус*

ВВЕДЕНИЕ

Основными направлениями работ при создании систем обеспечения питанием (СОП) экипажей межпланетных пилотируемых транспортных кораблей является решение проблемных вопросов по разработке продуктов и рационов питания (РП). Рационы должны быть полноценными, сбалансированными по содержанию незаменимых пищевых веществ, способных обеспечить сохранение здоровья и работоспособности экипажей при воздействии на организм повышенных уровней ионизирующей радиации и других неблагоприятных факторов при полетах к Луне и в дальний космос.

Российские специалисты с 60-х годов прошлого века занимаются разработкой продуктов и рационов для питания в условиях космического полета [1]. Работы в этом направлении вызвали и вызывают большой интерес у наших иностранных коллег, что нашло отражение в проведении целого ряда совместных исследований.

Так, в ходе выполнения программ совместных космических полетов на орбитальных станциях «Салют-6», «Салют-7», «Мир» и Международной космической станции (МКС) при участии специалистов ГНЦ РФ — ИМБП РАН были разработаны и сертифицированы наборы национальных продуктов питания Франции, Болгарии, Монголии, Германии, Австрии, Италии, Казахстана, Малайзии и Республики Кореи.

С 1995 года началось сотрудничество со специалистами НАСА по созданию совместного российско-американского рациона питания, который использовался при выполнении программы «Мир» — «Шаттл» (18-я экспедиция

Разработкой продуктов и рационов для питания в условиях космического полета российские специалисты занимаются с 60-х годов прошлого века. Исследования в этом направлении вызвали и вызывают большой интерес у иностранных коллег, что нашло отражение в проведении целого ряда совместных исследований.

на ОС «Мир») и программы «Мир» — «НАСА» (21–25 экспедиции на ОС «Мир») [2].

Положительные результаты использования совместных российско-американских рационов на ОС «Мир» были положены в основу разработки РП для экипажей МКС [3, 4].

В дальнейшем к этим работам присоединились представители Европейского, Японского и Канадского космических агентств.

Совместные российско-американские рационы состояли на 50% из российских и на 50% из американских продуктов и использовались для питания членов экипажей с 1-й по 19-ю экспедиции на МКС [5].

С 20-й экспедиции, когда был достроен американский сегмент на МКС и численность экипажа увеличилась до шести человек, обеспечение питанием космонавтов и астронавтов стало отдельным. Однако контакты представителей всех космических агентств и обмен информацией по питанию членов экипажей МКС в рамках телеконференций происходят постоянно, ежемесячно.

Важным этапом в оценке рационов питания в межпланетных космических полетах явилось проведение модельного эксперимента в рамках проекта «Марс-500» в научно-экспериментальном комплексе (НЭК) ГНЦ РФ — ИМБП РАН при 520-суточной изоляции интернационального экипажа из шести человек (три россиянина, два представителя Европейского космического агентства — француз и итальянец — и китаец) [6, 7].

Одной из задач, решаемых при проведении этого эксперимента, являлась оценка применявшихся вариантов рационов длительной автономности из максимально подготовленных к употреблению продуктов с большими гарантийными сроками хранения. Это требование к отбираемым для комплектации рационов продуктам обусловлено тем, что в реальном межпланетном космическом полете условия для хранения продуктов и возможности технических средств для приготовления пищи на борту космического корабля будут весьма ограничены.

Разработанные для использования в данном эксперименте рационы по содержанию необходимых организму человека пищевых веществ соответствовали принятым физиологическим нормативам [8], отвечали рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), а также согласованным российско-американским нормам по пищевому составу рационов питания для экипажей МКС [9].



Космонавты Олег Котов, Михаил Корниенко и Александр Свирцов за обедом. 23 экспедиция МКС, 2010 г. (фото NASA)

Для питания испытателей-добровольцев были скомплектованы три варианта рационов:

первый — на время полета от Земли к Марсу (1–250-е сутки);

второй — при имитации высадки на поверхность планеты (251–270-е сутки);

третий — при возвращении на Землю (271–520-е сутки).

Для комплектации первого варианта были использованы 111 наименований продуктов девяти европейских и одной российской фирмы, в том числе 56 наименований замороженных полуфабрикатов готовых блюд.

Второй вариант состоял из 37 наименований продуктов, используемых для питания экипажей транспортного корабля «Союз».

Для комплектации третьего варианта использовали 131 наименование продуктов (96 — российских фирм, 16 — корейских национальных продуктов, 15 — итальянских фирм и 4 — предоставленных коллегами из Китая).

Принцип формирования третьего варианта рациона из продуктов разных российских и зарубежных фирм использован с учетом того, что экипаж испытателей-добровольцев интернациональным экипажем будет и в реальном межпланетном космическом полете.

В представленных фирмами-изготовителями сопроводительных документах на продукты имелись все необходимые сведения об их пищевом составе, микробиологической и токсикологической безопасности, гарантийных сроках и условиях хранения.

Для оценки пищевого статуса у испытателей-добровольцев ежедневно измерялась масса тела, периодически исследовались биохимические показатели, характеризующие динамику метаболических процессов в организме, проводилась оценка функционального состояния органов пищеварительной системы.

Данные мониторинга питания позволили сделать вывод, что используемые в эксперименте рационы по содержанию незаменимых пищевых компонентов и их соотношению способствовали на протяжении 520 суток сохранению здоровья испытателей и поддержанию достаточного уровня работоспособности [10].

На встрече специалистов по питанию с экипажем через 20 дней после окончания эксперимента испытатели в целом удовлетворительно оценили питание, а также высказали свои замечания и предложения [11].

Следующим этапом исследований медико-биологических рисков при длительных автономных пилотируемых межпланетных космических полетах и эксплуатации ор-

битальных станций и планетных баз является проект SIRIUS (Scientific Investigational Research In a Unique terrestrial Station / Научное международное исследование в уникальном наземном комплексе). Проект также осуществляется на базе НЭК ГНЦ РФ — ИМБП РАН, представляющего единственный в мире комплекс гермокамер с управляемой средой обитания, что позволяет провести исследования в условиях, максимально приближенных к реальным условиям длительной пилотируемой экспедиции [12].

Данный проект проводится в рамках совместного исследования ГНЦ РФ — ИМБП РАН и Human Research Program (HRP) NASA в кооперации с организациями-партнерами из разных стран для проведения клинико-физиологических исследований и оценки работоспособности человека при моделировании лунных миссий, а также уменьшения рисков при полетах в дальний космос.

Программа проекта SIRIUS предусматривает следующие этапы: 17-суточный эксперимент, 4-, 8- и 12-месячные эксперименты. В целом, программа проекта SIRIUS направлена на реализацию «Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу» и является продолжением исследований, начатых в проекте «Марс-500».

В экспериментах каждого этапа планируется участие гендерно-смешанного международного экипажа, состоящего из шести добровольцев.

Первые два этапа программы — 17-дневная и 4-месячная изоляции — были успешно выполнены в 2017 и 2019 годах.

Проект SIRIUS также осуществляется на базе НЭК ГНЦ РФ-ИМБП РАН, представляющего единственный в мире комплекс гермокамер с управляемой средой обитания. Это позволяет провести исследования в условиях, максимально приближенных к реальным условиям длительной пилотируемой экспедиции.

Используемые в этих экспериментах рационы питания были максимально идентичны рационам для экипажей МКС и комплектовались в основном из продуктов российских производителей, а также нескольких зарубежных фирм.

По завершении проекта его результаты также будут использованы при разработке рационов питания для реальных межпланетных космических полетов.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВАРИАНТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТАНИЕМ ЭКИПАЖЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ И ОРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ. ИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ СТОРОНЫ

Система обеспечения питанием, или, иначе, пищевое звено системы жизнеобеспечения космических аппаратов, состоит из рационов питания; приспособлений для размещения и хранения продуктов (контейнеры, холодильник, стеллаж для размещения контейнеров); средств для приготовления пищи (электроподогреватель, блок подогрева и раздачи воды); средств для приема пищи (ложки, вилки, ножи, консервооткрыватели, приспособление для вскрытия туб); средств для сбора пищевых отходов (малые и большие герметичные мешки); средств для обработки столовых приборов (салфетки сухие и влажные) [13, 14].

По мере развития космонавтики и накопления опыта эксплуатации систем жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов (ПКА) различного типа уточнялись принципы формирования систем обеспечения питанием и совершенствовались подходы к нему. Анализ данных литературных источников, результатов физиолого-гигиенических исследований в наземных модельных экспериментах и данных реальных полетов на космических кораблях и орбитальных станциях позволил сформулировать принципы формирования рационов питания в условиях длительных космических полетов, основные из которых могут быть представлены в следующем виде [15, 16]:

- рационы питания для экипажей космонавтов формируются на основе запасов заранее приготовленных на Земле продуктов и блюд, так как на сегодняшний день альтернативных вариантов не существует;



Пример российского завтрака /обеда на МКС. 39-я экспедиция, 2014 г. (фото Роскосмос)

- разработка рационов питания в космическом полете должна производиться с учетом технических возможностей конкретного космического объекта и особенностей программы полета (продолжительность, предполагаемый уровень энергозатрат и т. д.);

- адекватность каждого вновь разработанного рациона питания потребностям организма космонавтов должна предварительно оцениваться в лабораторных исследованиях и модельных экспериментах;

- для обеспечения положительного эмоционального настроя и полноты потребления пищи членами экипажей формирование рационов питания необходимо производить с максимально возможным учетом индивидуальных вкусов и пищевых предпочтений космонавтов;

- для корректировки состава рациона питания или усовершенствования пищевого звена в целом необходимо осуществлять постоянный сбор и анализ замечаний и предложений космонавтов, высказываемых ими в период предполетной подготовки, в ходе полетов и после возвращения на Землю.

Одними из основных требований, которым должны отвечать продукты, используемые для питания в условиях космического полета, яв-

ляются сохранение исходных пищевых качеств и безопасность их употребления в течение длительного времени при хранении в условиях нерегулируемой температуры и влажности, а также простота в приготовлении пищи.

Наиболее полно этим требованиям отвечают стабилизированные различными способами продукты.

Самыми распространенными методами стабилизации продуктов питания являются тепловая стерилизация и обезвоживание методом сублимационной сушки (удаление влаги из продукта путем вымораживания под вакуумом).

Правильно подобранные режимы тепловой стерилизации позволяют добиться микробиологической безопасности продукта, но при этом происходит денатурация белка, приводящая к снижению его усвояемости. При этом также происходит разрушение большей части биологически активных веществ, к которым в первую очередь относятся витамины.

Метод сублимационной сушки продуктов является более щадящим и позволяет значительно снизить потери биологически активных веществ. Кроме того, в отличие от стерилизованных консервов, продукты сублимационной сушки имеют более длительные сроки хранения и не «приедаются». Этим определяется их

количественное преимущество в рационе питания космонавтов (до 65% по калорийности).

В настоящее время для экипажей транспортных кораблей «Союз» и российских членов экипажей на МКС рационы комплектуются из продуктов, специально разработанных для питания космонавтов (штатных продуктов). Кроме того, они комплектуются из продуктов промышленного производства, пригодных для питания в условиях космического полета и изготавливаемых на пищевых предприятиях, которые имеют необходимые условия для обеспечения безопасности выпускаемой продукции.

В настоящее время из имеющегося ассортимента продуктов формируются два варианта рационов для питания космонавтов.

1-й вариант РП — для экипажей транспортных кораблей «Союз» — комплектуется с учетом индивидуальных вкусовых предпочтений членов экипажа только из готовых к употреблению без подогрева «штатных» консервированных продуктов ограниченного ассортимента по 3-дневному циклу меню.

2-й вариант РП предназначен для экипажей длительных экспедиций на МКС. Продолжительность цикла меню этого рациона — 16 дней, и он состоит из двух частей: основной и дополнительной.

Основная часть рациона обеспечивает три приема пищи (завтрак, обед, ужин) и комплектуется из «штатных» продуктов и из продуктов промышленного производства без учета индивидуальных вкусовых предпочтений входящих в состав экипажей космонавтов.

Дополнительная часть предназначена для увеличения разнообразия питания и коррекции продуктового состава путем замены неприемлемых для данного космонавта продуктов в основной части рациона. Дополнительная часть формируется из наиболее предпочитаемых для космонавта «штатных» продуктов и продуктов промышленного производства. Входящие в состав дополнительных наборов продукты распределяются по основным приемам пищи. Также из них космонавт может сформировать четвертый прием пищи (перекус).

В результате выполненного анализа существующих вариантов обеспечения питанием российских членов экипажей транспортных космических кораблей и Международной космической станции установлено, что содержание основных компонентов питания и энергетическая ценность используемых РП находятся в пределах физиологических норм

и являются достаточными для покрытия реальных энергозатрат и сохранения работоспособности в процессе полетов [5, 9, 17]. Это положительная сторона используемых вариантов РП.

Основными отрицательными моментами рассмотренных вариантов обеспечения космонавтов питанием являются:

- для РП транспортных космических кораблей — отсутствие возможности обеспечить прием горячей пищи, что ограничивает сроки использования этого варианта РП;
- для РП орбитальной станции — формирование основной части (70%) РП проводится без учета индивидуальных вкусовых предпочтений членов экипажей, что может приводить к разбалансированию поступления в организм питательных веществ и является причиной увеличения высказываемых космонавтами претензий к питанию.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, ТРЕБУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТАНИЕМ ДЛЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

При разработке СОП для межпланетных космических кораблей должен соблюдаться принцип преемственности, когда при проектировании и компоновке новой системы используются хорошо зарекомендовавшие себя и усовершенствованные элементы СОП предшествующих орбитальных станций.

Условия межпланетных полетов определяют ряд дополнительных проблем, требующих решения в процессе создания СОП. К ним относятся, прежде всего, длительная автономность полета и высокие уровни ионизирующих излучений при прохождении радиационных поясов.

С отсутствием возможности периодического пополнения запасов во время межпланетного космического полета связаны особые требования к РП в целом и к входящим в их состав продуктам, а также к технологии их изготовления [18].

Основными из этих требований являются:

- минимальные габариты и масса;
- простота использования и хранения в космическом аппарате;
- удобство приема пищи и ее «неприедаемость» в течение длительного времени;
- минимальные затраты времени на приготовление блюд и возможность их использования как в горячем, так и в холодном виде;



Космонавт Антон Шкаплеров достаёт из контейнера продукты. На заднем плане виден астронавт Дэн Бёрбэнк (Dan Burbank). 30-я экспедиция МКС, 2012 г. (фото NASA)

- хорошая перевариваемость и усвояемость;
- микробиологическая безопасность в течение всего срока хранения в космическом объекте.

Кроме основного рациона на борту межпланетного корабля должен быть в наличии широкий спектр дополнительных наборов продуктов и специальных пищевых и пищевкусовых добавок. Они позволят вносить разнообразие в питание, осуществлять коррекцию пищевого состава РП в соответствии с изменяющимися потребностями организма на различных этапах космической экспедиции, обеспечивать нормальное функционирование желудочно-кишечного тракта, выделительной системы и других физиологических процессов в организме [19].

Существующий ассортимент продуктов, пригодных для питания в условиях космического полета, вполне достаточен для комплектования начальных вариантов рационов питания для экипажей пилотируемых транспортных кораблей нового поколения (ПТК НП) при полетах на Луну.

Необходимо учитывать, что практически вся продолжительность полета ПТК к Луне будет происходить в периоде острой адаптации к условиям невесомости, который, в зависимости от индивидуальных особенностей организма человека, длится от 2 до 8-10 суток.

В этом периоде значительно снижается физическая и психическая работоспособность космонавтов, отмечаются проявления «болезни движения», изменения функции пищеварения и состояния аппетита [20, 21].

Для минимизации проявлений болезни движения и сохранения работоспособности необходимо разработать и включить в состав рациона набор продуктов для периода острой адаптации. К таким продуктам относятся блюда жидкой или пюреобразной консистенции, горячие напитки (чай, кофе), фруктовые и ягодные соки с мякотью, творожные пасты с различными пюреобразными фруктово-ягодными добавками [22, 23].

Для обеспечения физиологически полноценного питания экипажей ПТК при выполнении длительных космических полетов технические элементы СОП должны быть дополнены блоком подогрева и раздачи воды. Это позволит значительно расширить ассортимент продуктов, используемых для комплектации рационов за счет продуктов сублимационной сушки, и создать физиологически полноценный рацион с первыми и вторыми горячими блюдами, а также фруктово-ягодными соками длительного хранения.

На транспортном корабле должна быть предусмотрена возможность размещения достаточ-

ного количества рационов питания, чтобы их хватило для полета к окололунной орбите, полетов вокруг Луны и возвращения на Землю.

Для обеспечения безопасности экипажей в межпланетных полетах при прохождении радиационных поясов необходимо разработать и ввести в состав рациона продукты, обладающие радиопротекторными свойствами, и биологически активные продукты, повышающие устойчивость организма к неблагоприятным воздействиям окружающей среды [24].

Основными принципами радиопротекторного питания являются:

- увеличение в рационе белков животного происхождения;
- включение в рацион блюд из бобовых культур, содержащих вещества, оказывающие радиопротекторное действие;
- для повышения активности антиоксидантной системы организма нужно увеличить в рационе содержание витаминов А, Е, С. При дефиците этих витаминов повышается радиочувствительность организма даже к малым дозам радиации;
- витамины — В₁, В₂, В₆, пантотеновая кислота, биотин — способствуют потенцированию радиопротекторного эффекта других пищевых веществ;
- для стимуляции кроветворной системы, обладающей повышенной чувствительностью к ионизирующей радиации, в рационе должен быть обеспечен оптимальный минеральный состав, в первую очередь по содержанию железа, йода, калия, кальция;
- для профилактики поражения щитовидной железы необходимо введение в организм органического йода с пищей (морепродукты, морская капуста, морская рыба);

Опыт создания быстрозамороженных готовых блюд и организации цепочки холода для их доставки на орбитальную станцию отработан в России еще при организации питания шестой экспедиции на ОС «Мир».

- большое радиопротекторное действие имеют пищевые волокна (неусвояемые углеводы), которые в кишечнике связывают радионуклиды и токсичные продукты радиолитического распада и ускоряют их выведение из организма (морковь, свекла, яблоки, слива, абрикосы, сухофрукты, пищевые пшеничные отруби);

- обогащение рациона солями калия (сухофрукты: курага и изюм, белокочанная и цветная капуста, картофель, а также другие овощи и фрукты) и кальция (молочные продукты) способствует вытеснению из организма радионуклидов — цезия и стронция.

В комплексе мероприятий, направленных на повышение адаптационных возможностей организма в условиях космического полета и способствующих минимизации неблагоприятных изменений, весьма эффективным является использование продуктов питания, которые обладают профилактическими свойствами, так называемых функциональных продуктов [25, 26].

К функциональным относят продукты с повышенной биологической активностью и питательными свойствами, что определяет их профилактическую направленность [27, 28].

Включение в рацион питания функциональных продуктов может использоваться с целью повышения устойчивости организма к воздействию неблагоприятных факторов космического полета, а также для профилактики или снижения риска развития некоторых заболеваний [25].

Существуют две категории функциональных продуктов:

- продукты, которые естественным образом содержат биологически активные питательные вещества, полезные для здоровья. Эти вещества называют фотохимическими (растительными) веществами и, следовательно, многие растительные продукты можно рассматривать как функциональные, так как они богаты фотохимическими компонентами;
- продукты, в рецептуру которых вводится дополнительное количество биологически активных компонентов, чтобы увеличить количество питательных или фотохимических веществ по сравнению с обычным их содержанием в этом продукте.

Дополнительное введение функциональных продуктов в сбалансированные по содержанию основных пищевых веществ рационы будет способствовать адаптации организма к экстремальным условиям, что особенно актуально для длительных космических экспедиций.



Экипаж 120-суточного изоляционного проекта SIRIUS-19 за обедом. 2019 г. (фото ИМБП)

Одним из основных источников многих незаменимых и биологически активных пищевых веществ, участвующих в обменных процессах и способствующих нормальной жизнедеятельности организма, являются овощи, плоды, пряная зелень. Эти продукты являются основными поставщиками ряда витаминов, минеральных веществ, высокоценных углеводов, пектина, клетчатки, органических кислот, эфирных масел, фитонцидов и др. [29, 30].

Важное физиологическое свойство этих продуктов — усиление секреторной деятельности пищеварительных желез и желчеотделения. Они способствуют перевариваемости и усвоению составных частей пищи — белков, жиров и углеводов. Обладают профилактическим действием, повышают сопротивляемость организма к неблагоприятным воздействиям вредных физических и химических факторов окружающей среды [20, 31].

В то же время анализ продуктового состава штатного рациона питания космонавтов свидетельствует о том, что овощи и фрукты (в тех или иных количественных соотношениях) вводились в рецептуру с целью получения вкусного и питательного продукта, без четко определенной цели придать продукту конкретную профилактическую направленность.

Следует отметить, что в настоящее время продукты с полифункциональными свойствами, которые могут быть использованы при межпланетных космических полетах, крайне мало.

Указанные свойства растительных продуктов являются убедительным обоснованием необходимости их широкого использования при создании продуктов направленного профилактического действия с целью включения их в состав РП для экипажей межпланетных космических кораблей и экипажей планетных станций.

Таким образом, разработка и включение в состав РП новых видов продуктов, обладающих радиопротекторными свойствами и лечебно-профилактическим действием, значительно расширит арсенал средств для защиты организма от ионизирующей радиации и для алиментарной коррекции метаболических процессов, а также для профилактики функциональных изменений, развивающихся в организме человека при воздействии экстремальных факторов при полетах к Луне и Марсу.

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПИТАНИЯ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ЛУННЫХ МИССИЙ

Для создания комфортных условий приготовления и приема пищи в обитаемом гермообъеме лунной базы должна быть организована зона питания с размещением в ней обеденного стола, СВЧ-печи, электрической плиты, хлебопекарного агрегата, системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги (СРВК) и электрочайников.

Для увеличения сроков хранения продуктов лунная база должна быть оснащена холодильниками.

Холодильник был неотъемлемой частью СОП на орбитальных станциях «Салют-6», «Салют-7» и ОС «Мир» и позволял увеличивать сроки хранения продуктов.

Для увеличения ассортимента продуктов на лунной базе необходимо разместить морозильные камеры для хранения полуфабрикатов готовых блюд.

Опыт создания быстрозамороженных готовых блюд и организации цепочки холода для их доставки на орбитальную станцию отработан в России при организации питания шестой экспедиции на ОС «Мир». К началу этой экспедиции на ОС были доставлены морозильная камера и набор из 13 наименований разработанных в НИИПП и СПТ и изготовленных на Бирюлевском экспериментальном заводе быстрозамороженных вторых обеденных блюд в металлических банках по 250 г.

Особой задачей является проведение исследований по разработке рационов питания для

экипажей лунной базы. На начальных этапах построения и эксплуатации лунной базы обеспечение членов экипажа питанием будет осуществляться из запасов, доставляемых с Земли продуктов со сроками хранения не менее трех лет. Основу запасов будут составлять консервированные продукты, продукты сублимационной сушки, продукты с промежуточной влажностью, кондитерские изделия, орехи. Овощи и фрукты будут только в консервированном или обезвоженном виде.

Затем (при наличии бортовой оранжереи) в рацион будут вводиться свежие растительные продукты и даже свежеспециенный хлеб. Присутствие частичной гравитации на Луне позволит перерабатывать урожай оранжереи (например, перемалывать пшеницу в муку), а затем использовать его при приготовлении пищи для употребления экипажами [32].

Для выполнения работ на поверхности Луны (а затем и на Марсе) необходимо разработать специальные пищевые смеси для питания в скафандре.

Долгосрочные исследовательские планы колонизации Луны должны включать создание среды обитания на планетной лунной базе для длительного пребывания людей. Созданные места обитания на Луне будут использоваться для тестирования разрабатываемых СОП для ПТК НП, необходимых для осуществления полета на Марс.

Полеты к Марсу потребуют разработки продуктов со сроком годности от трех до пяти лет и учета возможности того, что растущий уровень радиации на пути к Марсу может со временем повлиять на пищевое содержание и качество продуктов.



Космонавт Сергей Рязанский демонстрирует набор российских продуктов питания на МКС. 52 / 53-я экспедиция, 2017 г. (фото Роскосмос)

При наличии бортовой оранжереи в рацион будут вводиться свежие растительные продукты и даже свежеспециенный хлеб. Присутствие частичной гравитации на Луне позволит перерабатывать урожай оранжереи, а затем использовать его при приготовлении пищи для употребления экипажами.



Время обеда на Международной космической станции. Пять членов экипажа 60-й экспедиции МКС за обеденным столом в модуле «Звезда». 2019 г. (фото NASA)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для физиологически полноценного обеспечения питанием экипажей транспортных космических кораблей при реализации проекта колонизации Луны и полетов в дальний космос необходимо приступить к разработке:

- технического оборудования для модернизации системы обеспечения питанием на межпланетном пилотируемом космическом корабле и на орбитальной окололунной космической станции;
- продуктов для периода острой адаптации к условиям невесомости, способствующих повышению работоспособности и минимизации проявлений болезни движения;
- продуктов, обладающих радиопротекторными свойствами, и биологически активных продуктов, повышающих устойчивость организма к неблагоприятным воздействиям окружающей среды и снижающих риски развития некоторых заболеваний.
- технического оборудования для создания системы обеспечения питанием на лунной планетной базе;
- технологий изготовления нового ассортимента продуктов длительного (не менее трех лет) хранения;

Необходимо отметить, что работы по созданию рационов для питания космонавтов при межпланетных полетах реально начались в 2017 году.

Специалистами ГНЦ РФ — ИМБП РАН были разработаны медико-технические требования (МТТ) к базовому рациону питания для экипажей пилотируемого транспортного корабля нового поколения с включением в его состав продуктов, обладающих радиопротекторными и профилактическими свойствами.

Разработанные продукты питания с радиопротекторными и профилактическими свойствами проходят лабораторные исследования и оценку в модельных экспериментах с длительной изоляцией в ГНЦ РФ — ИМБП РАН

При положительной оценке в модельных наземных экспериментах разработанные продукты будут включаться в состав РП ПТК и орбитальных станций для проведения летных испытаний.

На основании летных испытаний будет производиться корректировка пищевого и продуктового составов РП.

Литература

1. **Ушаков А.С., Бычков В.П.** Вопросы питания в условиях космических полетов // Проблемы космической биологии. М., 1962. Т. 2. С. 48 – 53.

2. **Агуреев А.Н., Каландаров С.** Обеспечение питания экипажей на ОС «Мир» // Орбитальная станция «Мир». Космическая биология и медицина. М., 2001. Т. 1. С. 455 – 481.

3. **Агуреев А.Н., Клоэрис В., Зварт С., Смит С.** Система питания // Космическая биология и медицина. М.: Наука, 2009. Т. 5: Российско-американское сотрудничество в области космической биологии и медицины. С. 477 – 499.

4. **A. N. Agureev, V. Kloeris, Sara Zwart, and S.M. Smith.** Nutrition for international Space Station // Space biology and medicine. Vol. V. US and Russian Cooperation in Space Biology and Medicine. AIAA, Reston, Virginia, 2009. Pp. 313 – 324.

5. **Агуреев А.Н.** Основные итоги эксплуатации системы обеспечения питанием (СОП) экипажей МКС // Международная космическая станция. Российский сегмент. М.: Научная книга, 2011. Т. 1. С. 342 – 356.

6. **Моруков Б.В., Суворов А.В., Белаковский М.С., Демин Е.П.** Программа «Марс-500» – основа для разработки системы медицинского обеспечения межпланетных пилотируемых космических программ // Материалы XLVII Научных чтений памяти К. Э. Циолковского. Калуга, 2012. С. 193 – 197.

7. **Belakovskiy M.S., Breus T.K., Voloshin O.V., Kuzmin R.O., Morukov B.V.** Manned Mars Exploration and Mars-500 Project. Manned Spaceflight (Chin). 2011. № 17. Pp.1 – 7.

8. **Нормы питания и физиологические потребности // Вопросы питания.** 1992. № 2. С. 2 – 15.

9. **Nutritional status assessment for extended duration space flight Report No.: JSC-28566, Revision 1.** Houston: Lyndon B. Johnson Space Center; 1999. 70 p.

10. **Патент РФ № 2426456.** Способ питания космонавтов, участвующих в наземном модельном эксперименте, имитирующем полет на Марс / Агуреев А.Н., Белаковский М.С., Моруков Б.В., Ушаков И.Б.; заявл. 31.08.2010, опубл. 20.08.2011.

11. **Белаковский М.С., Волошин О.В., Демин Е.П., Моруков Б.В.** Проект «Марс-500». Этап третий: завершение 520-суточной изоляции. М.: ИМБП, 2011. 15 с.

12. **Белаковский М.С., Волошин О.В., Суворов А.В.** Международный научный проект SIRIUS. Этап второй: SIRIUS-19. М.: ИМБП, 2019. 26 с.

13. **Бычков В.П.** Принципы создания пищевых звеньев в системах жизнеобеспечения экипажей космических кораблей // Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1980. Т. 42: Санитарно-гигиенические и физиологические аспекты обитаемых космических кораблей. С. 214 – 264.

14. **Агуреев А.Н.** Система обеспечения космических экипажей питанием // Космическая медицина и биология. Воронеж: Научная книга, 2013. С. 94 – 110.

15. **Агуреев А.Н., Бычков В.П., Каландаров С.** Физиолого-гигиеническая оценка рационов питания экипажей орбитальной станции «Мир» // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1994. № 5. С. 8 – 12.

16. **Агуреев А.Н., Каландаров С., Сегаль Д.Э.** Гигиеническая оценка рационов питания в экспериментах с длительной изоляцией // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1997. № 4. С. 7 – 11.

17. **Агуреев А.Н., Каландаров С., Васильева В.Ф. и др.** Питание экипажей длительных экспедиций на Международной космической станции // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2004. № 5. С. 19 – 23.

18. **Агуреев А.Н.** Медико-технические аспекты питания в космическом полете // Совершенствование техники, технологии и организации производства продуктов, пайков и рационов. М., 1989. Вып. IV. С. 290 – 294.

19. **Агуреев А.Н., Каландаров С.** Пути создания системы обеспечения питанием экипажа марсианской экспедиции // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2003. № 5. С. 60 – 63.

20. **Смирнов К.В., Уголев А.М.** Космическая гастроэнтерология. М.: Наука, 1981. 277 с.

21. **Григорьев А.И., Егоров А.Д., Потапов А.Н.** Некоторые медицинские проблемы пилотируемых марианских экспедиций // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2000. № 3. С. 6 – 12.

22. **Бычков В.А., Каландаров С., Агуреев А.Н. и др.** Питание экипажей орбитальной станции «Салют-7» // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1989. № 4. С. 9 – 14.

23. **Агуреев А.Н., Каландаров С., Сегаль Д.Э.** Оптимизация питания космонавтов в период острой адаптации и на заключительном этапе полета // Авиакосмическая

и экологическая медицина. 1997. № 6. С. 47 – 51.

24. **Добровольский В.Ф., Агуреев А.Н.** Медико-технические требования к базовому рациону питания экипажа пилотируемого транспортного корабля нового поколения и продуктам, обладающим радиопротекторными свойствами // Индустрия питания. 2018. Т. 3. № 2. С. 4 – 8.

25. **Агуреев А.Н., Бычков В.П., Каландаров С. и др.** Возможность использования алиментарных средств для коррекции метаболизма у человека при нервно-эмоциональных нагрузках // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1996. № 1. С. 26 – 32.

26. **Агуреев А.Н., Бычков В.П., Каландаров С.** Питание космонавтов в длительных полетах // Актуальные вопросы медицинского обеспечения полетов. М.: РИО РМАПО, 1994. С. 19 – 20.

27. **Беркетова Л.В.** Биологически активные добавки – источники пищевых волокон // Пищевая промышленность. 2003. № 6. С. 80 – 82.

28. **Брехман И.** Биологически активные вещества в пищевых продуктах. М.: Наука, 1980. 134 с.

29. **Доценко В.А.** Овощи и плоды в питании и лечении. СПб.: Лениздат, 1993. 333 с.

30. **Пашенко Л.Л., Жаркова И.М. и др.** Биологически активные добавки в питании человека // Пищевая промышленность. 2002. № 8. С. 72 – 73.

31. **Балаховский И.С., Наточин Ю.В.** Обмен веществ в экстремальных условиях космического полета и при его имитации. Т. 22. М., 1973. 212 с.

32. **Крючков Б.И., Усов В.М., Попова Е.В.** Биотехнические системы жизнеобеспечения для экипажей пилотируемых космических комплексов // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 3. С. 82 – 89.

References

1. **Ushakov A.S., Bychkov V.P.** Voprosy pitaniya v usloviyakh kosmicheskikh poletov. Problemy kosmicheskoy biologii. Moscow, 1962, vol. 2, pp. 48 – 53.

2. **Agureev A.N., Kalandarov S.** Obespechenie pitaniya ekipazhey na OS "Mir". Orbital'naya stantsiya "Mir". Kosmicheskaya biologiya i meditsina. Moscow, 2001, vol. 1, pp. 455 – 481.

3. **Agureev A.N., Kloeris V., Zvart S., Smit S.** Sistema pitaniya. Kosmicheskaya biologiya i

meditsina. Moscow, Nauka, 2009, vol. 5, pp. 477 – 499.

4. **A. N. Agureev, V. Kloeris, Sara Zwart, and S. M. Smith.** Nutrition for international Space Station. Space biology and medicine, vol. 5, AIAA, Reston, Virginia, 2009, pp. 313 – 324.

5. **Agureev A.N.** Osnovnye itogi ekspluatatsii sistemy obespecheniya pitaniem (SOP) ekipazhey MKS. Mezhdunarodnaya kosmicheskaya stantsiya. Rossiyskiy segment. Moscow, Nauchnaya kniga, 2011, vol. 1, pp. 342 – 356.

6. **Morukov B.V., Suvorov A.V., Belakovskiy M.S., Demin E.P.** Programma "Mars-500" – osnova dlya razrabotki sistemy meditsinskogo obespecheniya mezplanetnykh pilotiruemykh kosmicheskikh programm. Materialy XLVII Nauchnykh chteniy pamyati K. E. Tsiolkovskogo. Kaluga, 2012, pp. 193 – 197.

7. **Belakovskiy M.S., Breus T.K., Voloshin O.V., Kuzmin R.O., Morukov B.V.** Manned Mars Exploration and Mars-500 Project. Manned Spaceflight (Chin), 2011, no. 17, pp.1 – 7.

8. **Normy pitaniya i fiziologicheskie potrebnosti. Voprosy pitaniya,** 1992, no. 2, pp. 2 – 15.

9. **Nutritional status assessment for extended duration space flight Report No.: JSC-28566, Revision 1.** Houston: Lyndon B. Johnson Space Center; 1999. 70 p.

10. **Agureev A.N., Belakovskiy M.S., Morukov B.V., Ushakov I.B.** Sposob pitaniya kosmonavtov, uchastvuyushchikh v nazemnom model'nom eksperimente, imitiruyushchem polet na Mars. Patent RF no. 2426456 (2010).

11. **Belakovskiy M.S., Voloshin O.V., Demin E.P., Morukov B.V.** Proekt "Mars-500". Etap tretyi: zavershenie 520-sutochnoy izolyatsii. Moscow, IMBP, 2011. 15 p.

12. **Belakovskiy M.S., Voloshin O.V., Suvorov A.V.** Mezhdunarodnyy nauchnyy proekt SIRIUS. Etap vtoroy: SIRIUS-19. Moscow, IMBP, 2019. 26 p.

13. **Bychkov V.P.** Printsipy sozdaniya pishchevykh zven'ev v sistemakh zhizneobespecheniya ekipazhey kosmicheskikh korablyey. Problemy kosmicheskoy biologii. Moscow, Nauka, 1980, vol. 42, pp. 214 – 264.

14. **Agureev A.N.** Sistema obespecheniya kosmicheskikh ekipazhey pitaniem. Kosmicheskaya meditsina i biologiya. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2013, pp. 94 – 110.

15. **Agureev A.N., Bychkov V.P., Kalandarov S.** Fiziologo-gigienicheskaya otsenka ratsionov pitaniya ekipazhey orbital'noy stantsii "Mir". Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 1994, no. 5, pp. 8 – 12.

16. **Agureev A.N., Kalandarov S., Segal' D.E.** Gigienicheskaya otsenka ratsionov pitaniya v eksperimentakh s dlitel'noy izolyatsiyey. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 1997, no. 4, pp. 7 – 11.

17. **Agureev A.N., Kalandarov S., Vasil'eva V.F. et al.** Pitanie ekipazhey dlitel'nykh ekspeditsiy na Mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2004, no. 5, pp. 19– 23.

18. **Agureev A.N.** Mediko-tekhicheskie aspekty pitaniya v kosmicheskome polete. Sovershenstvovanie tekhniki, tekhnologii i organizatsii proizvodstva produktov, paykov i ratsionov. Moscow, 1989, iss. IV, pp. 290 – 294.

19. **Agureev A.N., Kalandarov S.** Puti sozdaniya sistemy obespecheniya pitaniem ekipazha marsianskoy ekspeditsii. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2003, no. 5, pp. 60 – 63.

20. **Smirnov K.V., Ugolev A.M.** Kosmicheskaya gastroenterologiya. Moscow, Nauka, 1981. 277 p.

21. **Grigor'ev A.I., Egorov A.D., Potapov A.N.** Nekotorye meditsinskie problemy pilotiruemykh mapianskikh ekspeditsiy. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 2000. no. 3, pp. 6 – 12.

22. **Bychkov V.A., Kalandarov S., Agureev A.N. et al.** Pitanie ekipazhey orbital'noy stantsii "Salyut-7". Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina, 1989, no. 4, pp. 9 – 14.

23. **Agureev A.N., Kalandarov S., Segal' D.E.** Optimizatsiya pitaniya kosmonavtov v period ostroy adaptatsii i na zaklyuchitel'nom etape poleta. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 1997, no. 6, pp. 47 – 51.

24. **Dobrovolskiy V.F., Agureev A.N.** Mediko-tekhicheskie trebovaniya k bazovomu ratsionu pitaniya ekipazha pilotiruemogo transportnogo korablya novogo pokoleniya i produktam, obladayushchim radioprotekturnymi svoystvami. Industriya pitaniya, 2018, vol. 3, no. 2, pp. 4 – 8.

25. **Agureev A.N., Bychkov V.P., Kalandarov S. et al.** Vozmozhnost' ispol'zovaniya alimentarnykh sredstv dlya korrektsii metabolizma u cheloveka pri nervno-emotsional'nykh nagruzkakh. Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina, 1996, no. 1, pp. 26 – 32.

26. **Agureev A.N., Bychkov V.P., Kalandarov S.** Pitanie kosmonavtov v dlitel'nykh poletakh. Aktual'nye voprosy meditsinskogo obespecheniya poletov. Moscow, RIO RMAPO, 1994, pp. 19 – 20.

27. **Berketova L.V.** Biologicheski aktivnyye dobavki – istochniki pishchevykh volokon. Pishchevaya promyshlennost', 2003, no. 6, pp. 80 – 82.

28. **Brekhman I.** Biologicheski aktivnyye veshchestva v pishchevykh produktakh. Moscow, Nauka, 1980. 134 p.

29. **Dotsenko V.A.** Ovoshchi i plody v pitanii i lechenii. Saint Petersburg, Lenizdat, 1993. 333 p.

30. **Pashchenko L.L., Zharkova I.M. et al.** Biologicheski aktivnyye dobavki v pitanii cheloveka. Pishchevaya promyshlennost', 2002, no. 8, pp. 72 – 73.

31. **Balakhovskiy I.S., Natochin Yu.V.** Obmen veshchestv v ekstremal'nykh usloviyakh kosmicheskogo poleta i pri ego imitatsii, vol. 22. Moscow, 1973. 212 p.

32. **Kryuchkov B.I., Usov V.M., Popova E.V.** Biotekhnicheskie sistemy zhizneobespecheniya dlya ekipazhey pilotiruemykh kosmicheskikh kompleksov. Vozdushno-kosmicheskaya sfera, 2020, no. 3, pp. 82 – 89.

© Агуреев А.Н., Белаковский М.С. 2021

История статьи:
Поступила в редакцию: 02.02.2021
Принята к публикации: 27.02.2021

Модератор: Гесс Л.А.
Конфликт интересов: отсутствует

Для цитирования:
Агуреев А.Н., Белаковский М.С. Вопросы питания в межпланетных космических полетах // Воздушно-космическая сфера. 2021. №1. С. 44 – 57.

