

УДК 61:629.78.007

**МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ГОДОВОГО ПОЛЕТА
ЭКИПАЖА 70-й И 71-й ЭКСПЕДИЦИЙ МКС
(ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ)**

О.В. Котов, А.В. Поляков, А.П. Гришин, В.И. Почуев,
О.А. Савенко, Е.Г. Хорошева, А.В. Сальников,
Н.Ю. Лысова, Т.Г. Шушунова

Канд. мед. наук О.В. Котов; канд. мед. наук А.В. Поляков; канд. мед. наук В.И. Почуев; О.А. Савенко; Е.Г. Хорошева; канд. мед. наук А.В. Сальников; канд. биол. наук Н.Ю. Лысова; Т.Г. Шушунова (ГНЦ РФ – ИМБП РАН) А.П. Гришин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлены результаты медицинского обеспечения годового полета экипажа 70-й и 71-й экспедиций МКС. Дается краткая характеристика системы медицинского обеспечения, приводятся основные итоги выполнения программы контроля состояния здоровья космонавтов и среды обитания РС МКС во время полета, РТО, а также использования бортовых средств профилактики для поддержания работоспособности и здоровья космонавтов в полете.

Ключевые слова: медицинское обеспечение, медицинский контроль, система профилактики, среда обитания, РТО

Medical Aspects of Ensuring the Safety of the Flight of the ISS Crew for Expeditions 70 and 71 (Express Analysis). O.V. Kotov, A.V. Polyakov, A.P. Grishin, V.I. Pochuev, O.A. Savenko, E.G. Khorosheva, A.V. Salnikov, N.Yu. Lysova, T.G. Shushunova

The paper presents the results of medical support of the ISS crew for Expeditions 70 and 71. It gives a brief description of the medical support system, shows the main results of the implementation of the monitoring program for the state of cosmonauts' health and environment on the ISS RS, work-rest schedule and the use of onboard preventive means for maintaining cosmonauts' performance and health during their mission.

Keywords: medical support, medical monitoring, preventive system, human environment, work-rest schedule

К настоящему времени накоплен значительный опыт медицинского сопровождения пилотируемых космических полетов, средняя продолжительность которых составляет шесть месяцев. Однако в последнее время наблюдается тенденция к увеличению длительности орбитальных миссий. За период эксплуатации МКС было выполнено несколько годовых космических полетов. Несмотря на то, что годовые полеты составляют лишь малую часть от общего числа экспедиций, получено достаточное количество данных для

проведения сравнительного анализа особенностей медицинского обеспечения экипажей годовых и полугодовых экспедиций на МКС. Наиболее интересной и важной является оценка влияния основных факторов космического полета на организм космонавта, которые могут рассматриваться в качестве лимитирующих или ограничивающих время пребывания человека в космосе.

Эти данные представляют научно-практический интерес с точки зрения перспективы освоения дальнего космоса и, как следствие, увеличения продолжительности пребывания человека в условиях воздействия всех факторов космического полета.

Таким образом, целью данной статьи является рассмотрение мероприятий, направленных на медицинское обеспечение членов годовой экспедиции МКС-70/71, а также проведение краткого сравнительного анализа медицинского обеспечения полугодовых и годовых космических полетов, в том числе с использованием материалов из литературных источников. Для реализации этой цели были поставлены задачи оценить:

- рабочую нагрузку и РТО членов экипажа годовой экспедиции МКС-70/71;

- влияние некоторых факторов космического полета на организм космонавтов в течение годовых миссий на МКС в сравнении с полугодовыми;

- достаточность и эффективность медицинских мероприятий, направленных на обеспечение работоспособности и здоровья экипажа в течение годовой миссии, а также на этапе возвращения на Землю;

- возможность увеличения сроков пребывания космонавтов на низкой околоземной орбите в течение одного полета с точки зрения сохранения здоровья и работоспособности экипажа.

Выполнение программы полета

Полет в составе экспедиций:

- МКС-69 – с 15.09.2023 – 27.09.2023 – в составе 10 человек (из них 5 космонавтов Роскосмоса);

- МКС-70 – с 27.09.2023 – 05.03.2024 – в составе 7 человек (из них 3 космонавта Роскосмоса);

- МКС-70 – с 05.03. – 11.03.2024 – в составе 11 человек (из них 4 космонавта Роскосмоса);

- МКС-70 – с 11.03.2024 – 25.03.2024 – в составе 7 человек (из них 3 космонавта Роскосмоса);

- МКС-70 – с 25.03.2024 – 06.04.2024 – в составе 10 человек (из них 4 космонавта Роскосмоса и 1 УКП РБ Беларусь);

- МКС-71 – с 06.04.2024 – 06.06.2024 – в составе 7 человек (из них 3 космонавта Роскосмоса);

- МКС-71 – с 06.06.2024 – 11.09.2024 – в составе 9 человек (из них 3 космонавта Роскосмоса);

– МКС-71 – с 11.09.2024 – 23.09.2024 – в составе 12 человек (из них 5 космонавтов Роскосмоса).

Длительность полета российских членов экипажа МКС-70/71, прибывших на «Союзе МС-24» и вернувшихся на «Союзе МС-25», составила 375 сут.

Этапы полета экспедиции:

15.09.2023 – выведение «Союза МС-24» – 15:44 GMT.

Стыковка к модулю «Рассвет» МКС – 18:53 GMT.

27.09.2023 – расстыковка «Союза МС-23» – 07:54 GMT.

Время посадки – 11:17 GMT.

04.03.2024 – выведение SpaceX Dragon Crew-8 – 03:53 GMT.

Стыковка к Node2 АС МКС 05.03.2024 в 07:28 GMT.

11.03.2024 – расстыковка SpaceX Dragon Crew-7 – 15:20 GMT.

Время приводнения – 12.03.2024 в 09:47 GMT.

23.03.2024 – выведение «Союза МС-25» – 12:36 GMT.

Стыковка к УМ МКС – 25.03.2024 в 15:02 GMT.

06.04.2024 – расстыковка «Союза МС-24» – 03:57 GMT.

Время посадки – 07:19 GMT.

05.06.2024 – выведение Boeing CFT – 14:52 GMT.

Стыковка к АС МКС (Node2 Forward) 06.06.2024 в 17:34 GMT.

11.09.2024 – выведение «Союза МС-26» – 16:23 GMT.

Стыковка к МИМ1 – 19:32 GMT.

23.09.2024 – расстыковка «Союза МС-25» – 08:36 GMT.

Время посадки – 11:59 GMT.

ВКД в СК «Орлан-МКС»:

25.10.2023 ВКД-61 – БИ-4, БИ-5.

ОВЛ – 17:49 GMT, ЗВЛ 26.10.2023 в 01:30 GMT.

Продолжительность – 7 ч 41 мин.

25.04.2024 ВКД-62 – КЭ, БИ-2.

ОВЛ – 15:00 GMT, ЗВЛ – 19:33 GMT.

Продолжительность – 4 ч 33 мин.

Организация РТО экипажа

Старт ТПК «Союз МС-24» с двумя космонавтами Роскосмоса и астронавтом NASA состоялся 15.09.2023 в 15:44 GMT. Полет выполнен по двухвитковой схеме сближения. Стыковка к МИМ1 проведена штатно, в автоматическом режиме в 19:53 GMT. ОПЛ состоялось в 21:16 GMT, после чего экипаж ТПК приступил к выполнению служебных обязанностей.

Согласно требованиям «Основных правил и ограничений» [1] для БИ-4 и БИ-5 с 16.09.2023 выделялся один час для адаптации и ознакомления со станцией. Рабочая нагрузка в этот период у БИ-5 и БИ-4 составляла в среднем 5 ч 30 мин в сут.

На протяжении всего полета членов экипажа БИ-4/КЭ и БИ-5/БИ-2 в составе экспедиций МКС-70/71 РТО был нормированным с периодическими сдвигами часов сна и бодрствования [1], по своей структуре и рабочей нагрузке соответствовал требованиям нормативных документов [2] и оценивался как нормальный, штатный и способствовал выполнению программы полета в полном объеме.

В отдельные периоды полета в силу ряда объективных причин РТО был напряженным. Периоды напряженности РТО отмечались во время выполнения космонавтами ответственных операций, таких как стыковки и расстыковки ТПК и ТГК в ночное время, ВКД и других работ. Всего таких недель отмечалось 15. Несмотря на напряженный режим работы в отдельные периоды и дни полета, КЭ и БИ-2 успешно справлялись с полетным заданием.

По сообщениям с борта и данным специалистов ГОГУ, на дополнительные работы (внеплановые работы по указанию Земли, по программе Task List, по собственной инициативе, увеличение времени на выполнение отдельных плановых работ и др.), выполняемые в рабочие и выходные дни, КЭ затратил 208,5 ч, что равноценно 32 рабочим дням при плановой рабочей нагрузке 6,5 ч в день; БИ-2 затратил 245 ч 41 мин., что равноценно 38 рабочим дням при плановой рабочей нагрузке 6,5 ч в день.

Успешному выполнению программы полета во многом способствовали большой опыт КЭ и высокий профессионализм членов экипажа, оптимальная организация работ на станции, эффективное взаимодействие и взаимопомощь российских космонавтов, работающих на станции, а также настрой на своевременное выполнение в полном объеме программы полета.

Медицинский контроль

Медицинское обеспечение осуществлялось в соответствии с требованиями по медицинским операциям на МКС – SSP 50260 [3]. В ходе полета оперативно передавались методические указания по проведению медицинских обследований и по другим вопросам, касающимся медицинского обеспечения экипажа.

БИ-4/КЭ и БИ-5/БИ-2 выполнили весь объем запланированных штатных операций периодического медицинского контроля состояния здоровья и среды обитания.

Оперативный медицинский контроль проводился во время:

- выведения и стыковки с МКС «Союза МС-24» – 15.09.2023;
- проверки медицинских параметров через СК – 17.10.2023;
- тренировки в СК – 20.10.2023;
- подготовки и проведения ВКД-61 – 25.10.2023;
- проверки медицинских параметров через СК – 19.04.2024;
- тренировки в СК – 22.04.2024;
- подготовки и проведения ВКД-62 – 25.04.2024;
- ОДНТ-тренировок – 06, 09, 13, 16, 18, 20, 21 сентября 2024 г.;

– расстыковки и спуска с МКС «Союза МС-25» – 23.09.2024.

Результаты динамического медицинского контроля свидетельствовали об адекватных физиологических реакциях, достаточных функциональных резервах и отсутствии каких-либо существенных отклонений в функциональном состоянии организма космонавтов, что обеспечило сохранение высокого уровня работоспособности на всех этапах экспедиции.

Психологический климат в экипаже и взаимодействие с наземными службами сохранялись на всем протяжении полета на достаточно высоком уровне и носили благоприятный характер.

Физиолого-гигиеническая характеристика среды обитания

Параметры микроклимата колебались в нормальных пределах за исключением температуры воздуха (в районе тренажеров и рабочего стола) и пониженной относительной влажности.

Общее давление в СМ по данным мановакуумметра колебалось в пределах 730–769 мм рт. ст.

Повышение температуры воздуха в основном отмечалось в периоды «солнечной» орбиты станции. Для снижения температуры воздуха в СМ СОТР переводилась в максимальный режим работы: включались в параллельную работу КОХ1 и КОХ2; РРЖ перенастраивались с 14 на 10 °С.

Функционировали постоянно действующие системы российского сегмента: БМП; СРВ-К2М; СКВ1/СКВ2; СОА «Воздух»; СКО «Электрон-ВМ»; УОВ «Поток 150МК» в СМ и ФГБ включались ежедневно на 6 ч.

Периодически проводились наддувы станции воздухом, кислородом и азотом из ТГК, а также средствами АС.

Замечания по работе СОЖ, СОГС и СОТР

Периодически от экипажа поступали сообщения о нештатной работе некоторых систем. Совместно со специалистами ЦУПа возникшие ситуации анализировались и предпринимались меры по их исправлению. Своевременное проведение РВР не приводило к существенным изменениям нормативных показателей систем жизнеобеспечения и теплового режима, а также не влияло на выполнение программы полета.

РО на МКС

За время полета РО внутри станции в основном оставалась спокойной. Накопленная поглощенная доза к 375 сут КП составила у КЭ – 98,09 мГр, у БИ-2 – 87,51 мГр, что не превышает допустимые значения доз согласно Flight Rules В 14.2.2-12 [2] и ГОСТ 25645.215-85 [4].

Ежемесячно проводился дозиметрический контроль радиационной обстановки в РС МКС с использованием аппаратуры дозиметр «Пилле-МКС».

Во время выполнения ВКД проводился контроль радиационной безопасности экипажа с использованием датчиков дозиметра «Пилле-МКС».

Согласно пп. 4.1–4.3 МР ФМБА от 17.01.2021 [5] предел дозы облучения кроветворной системы космонавта на 375-е сут полета должен составлять не более 304,48 мЗв. На основании РД 50.25645-220 [6] произведена оценка воздействия эквивалентной дозы на кроветворную систему космонавта: КЭ – 206,00 мЗв или 67,7 % от предела дозы облучения; БИ-2 – 183,47 мЗв или 60,4 % от предела дозы облучения, что не превышает нормативных значений допустимых доз облучения в течение одного космического полета.

Санитарно-гигиеническое состояние МКС

На протяжении всего полета санитарно-гигиеническую обстановку на станции экипаж оценивал в основном как комфортную. Санитарно-гигиенические условия в СМ, а также в каютах экипажа были комфортными. Ежедневно проводилась плановая уборка станции.

При плановом контроле качества атмосферы в СМ РС МКС пробоотборниками ИПД-СО (ежемесячно) монооксида углерода не обнаружено, пробоотборниками ИПД-NH₃ (каждые 3 мес.) аммиака не обнаружено.

Исследование акустической обстановки

Определение индивидуальной акустической нагрузки проводилось на 18–20-е сут полета за дневной и ночной период времени с использованием АМ hardware в режиме акустической дозиметрии.

Места сна российских членов экипажа на момент проведения исследований:

- БИ-4 – левая каюта СМ;
- БИ-5 – правая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал, что у российских членов экипажа на 18–20-е сут полета шумовая нагрузка превышала ПДУ за дневной период на 9,7–13,5 дБА, а за ночной период – на 3,8–17,3 дБА. Анализ полученных данных показал, что:

– шумовая нагрузка у российских членов экипажа на 18–20-е сут полета превышала предельно допустимый уровень как за дневной, так и за ночной период;

– в центре модулей МИМ1 и МИМ2 эквивалентные уровни звука превышали допустимые значения как для периода работы, так и для периода сна, а в УМ соответствовали допустимым значениям.

На 111–113-е сут полета исследование акустической обстановки проводилось в модулях JPM, US Lab AC МКС и МЛМ РС МКС с использованием акустического монитора в SLM.

Акустические замеры проводились по общему уровню (L_a, дБА) и уровням звукового давления (L, дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 63–8000 Гц в КТ вдоль продольной оси указанных модулей.

Полученные результаты оценивались на соответствие ГОСТ Р 50804-95 [7] и SSP 50094 [8]. Анализ полученных данных показал:

1. В МЛМ РС МКС по сравнению с предыдущими замерами от 06.10.2022 уровни звука на рабочих местах повысились на 1,1–3,1 дБА, за исключением центра модуля, где отмечено снижение на 2,3 дБА.

2. В каюте МЛМ РС МКС повышение уровня звука определялось скоростью вращения каютного вентилятора.

3. В US Lab AC МКС уровни звука на рабочих местах не превышали допустимые значения в большинстве исследованных КТ и имели тенденцию к снижению, в то время как JPM превышали допустимые значения и имели тенденцию к повышению.

На 207-е сут полета исследование акустической обстановки проводилось в модулях Cupola, Node3, PMM, Node1, ФГБ AC МКС, в СМ и МЛМ РС МКС с использованием AM hardware в SLM.

Акустические замеры проводились по общему уровню (L_a , дБА) и уровням звукового давления (L , дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 63–8000 Гц в КТ вдоль продольной оси указанных модулей.

Полученные результаты оценивались на соответствие ГОСТ Р 50804-95 и SSP 50094.

Результаты анализа полученных данных показали:

1. В СМ РС МКС в районе СКВ и в ПрК уровни звука превышали допустимые значения при отсутствии выраженной динамики в районе СКВ.

2. В районе ПрК СМ РС МКС повышение уровней звука, как по общему уровню, так и по уровням звукового давления в октавных полосах частот, требует дальнейших исследований для выявления источника возникновения повышенного шума.

3. В МЛМ РС МКС снижение уровней звукового давления в октавных полосах частот 0,25, 0,5, и 2,0 кГц в КТ6 (пп. 224–226 ПГО1) по сравнению с предыдущими замерами от 03.01.2024 связано с заменой СПН на ЗИП.

4. В ФГБ снижение уровней звука в районе расположения пп. 204–205 (КТ6), пп. 224–227 (КТ8) и пп. 217–220 (КТ9) может быть связано с заменой вентиляторов в транзитных воздуховодах на малошумные и переходом работы ВГК-1 на другую СПН, а повышение уровней звука в районе люка ФГБ-СМ со стороны СМ (КТ2) обусловлено работой вентиляторов ГЖТ, которые не менялись с начала эксплуатации модуля и израсходовали свой ресурс.

5. В PMM, Cupola, Node1 и Node3 AC МКС уровни звука не превышали допустимые значения и имели тенденцию к снижению.

Статические измерения эквивалентных уровней звука в РС МКС проводились на 307-е сут полета за дневной и ночной периоды в МЛМ (напротив УОВ «Поток 150МК»), в СМ (район СКВ1) и в коридоре ПрК около люка с использованием AM hardware в режиме акустической дозиметрии.

Анализ полученных данных показал:

1. Эквивалентный уровень шума во всех исследованных стационарных точках РС МКС был ниже опасного (85 дБА), за исключением одного случая превышения на 86,3 дБА в районе ПрК в 7:54 утра.

2. Работа СКВ1 в районе пп. 204–404 СМ РС МКС способствует повышению эквивалентных уровней звука за дневной и ночной периоды на 5,8 дБА и 4,3 дБА соответственно.

3. Работа УОВ «Поток 150МК», расположенного в МЛМ, не оказывает существенного влияния на акустическую обстановку в модуле.

Рекомендации КЭ и БИ-2 по снижению акустической нагрузки: использовать СИЗ от шума (беруши/наушники с активным шумоподавлением) при работе в коридоре ПрК и ПрК (СМ), в районе СКВ1, а также в местах расположения других «шумящих» агрегатов СОЖ и СОТР в модулях РС МКС.

Определение индивидуальной акустической нагрузки проводилось на 292–293-е сут полета за дневной и ночной период времени с использованием АМ hardware в режиме акустической дозиметрии.

Места сна российских членов экипажа на момент проведения исследований:

- КЭ – левая каюта СМ;
- БИ-2 – правая каюта СМ.

Анализ полученных данных показал, что у российских членов экипажа на 292–293-е сут полета шумовая нагрузка превышала предельно допустимый уровень за дневной период на 7,7–10,0 дБА, а за ночной период – на 2,9–16,4 дБА.

В течение ночного периода уровень шумовой нагрузки у всех членов экипажа РС МКС превышал допустимый уровень нарушения сна (50 дБА). У БИ-2 отмечено также превышение уровня, необходимого для адекватного отдыха слухового анализатора (62 дБА), при этом на графиках акустической нагрузки за ночной период у БИ-2 отсутствуют изменения показаний акустического дозиметра.

Рекомендации КЭ и БИ-2 по снижению акустической нагрузки:

1. Продолжать использовать СИЗ от шума (беруши/наушники с активным шумоподавлением) в период работы с шумящим оборудованием и при открытых панелях, а также во время занятий на спортивных тренажерах.
2. Контролировать положение каютной двери на период сна и устанавливать комфортный режим работы каютного вентилятора как по воздушному потоку, так и по уровню шума.

Контроль микрокосферы среды обитания

27.12.2023 проведены микробиологические отборы проб газовой среды в 16 зонах с последующим инкубированием проб, фотосъемкой выросших колоний микроорганизмов членами экипажа на борту МКС и передачей изображений на Землю.

Представленные данные свидетельствуют о том, что бактерии были обнаружены в 13 из 16 исследованных зонах. Количественный уровень обсемененности воздушной среды представителями бактериальной флоры колебался от 20 до 200 КОЕ в 1 м³, что не превышало регламентируемый SSP 50260 уровень для бактерий, равный 1000 КОЕ в 1 м³.

Фрагменты плесневых грибов были обнаружены в 11 из 16 исследованных зонах. Содержание микромицетов в воздушной среде колебалось в пределах от 10 до 80 КОЕ в 1 м³, что не превышало регламентируемый SSP 50260 уровень для грибов – 100 КОЕ в 1 м³.

Вывод: на 104-е сут работы экипажа МКС-70 содержание бактерий и плесневых форм грибов в воздушной среде не превышало регламентируемый SSP 50260 нормативный показатель.

Питание и водопотребление

В сеансах радиосвязи на всем протяжении полета замечаний по питанию и водопотреблению не поступало. У БИ-4/КЭ и БИ-5/БИ-2 аппетит оставался хорошим.

Вкус воды удовлетворял. Преимущественно экипаж отдавал предпочтение российским рационам питания. От БИ-4/КЭ и БИ-5/БИ-2 получены сведения о сниженных вкусовых качествах чая, находящегося в поставляемых рационах. Дополнительно от экипажа были получены индивидуальные пожелания по питанию, включающему каши, кофе, свежие овощи и фрукты, для поставки на МКС. При разгрузке грузового корабля БИ-4/КЭ обратил внимание, что среди доставленных продуктов отсутствовали лепешки, представленные на дегустации. По сообщению специалистов СОЖ, данный вид продукции не прошел необходимую сертификацию.

Использование средств профилактики

По ежедневным докладам экипажа и данным объективного контроля ФТ выполнялись в полном объеме. По данным частных медицинских конференций врача российского экипажа, на протяжении всего полета БИ-4/КЭ и БИ-5/БИ-2 выполняли ФТ согласно форме 24 и рекомендациям специалистов ИМБП.

Тренировки на БД-2 БИ-4/КЭ выполнял в полном соответствии с бортовой документацией, при этом БИ-4/КЭ не выполнял четвертый день тренировочного микроцикла – день отдыха, а начинал выполнять микроцикл заново. Среднее расстояние, пройденное за тренировку в течение полета, увеличивалось за счет объема, выполненного в пассивном режиме работы полотна беговой дорожки (рис. 1).

При этом TRIMP [9] имел тенденцию к снижению, что может свидетельствовать о снижении эффективности тренировочной нагрузки в процессе полета (рис. 2).

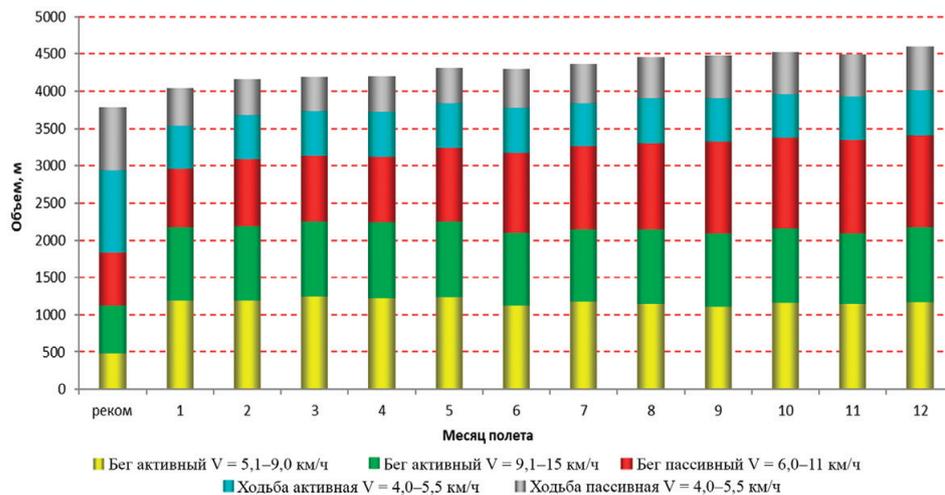


Рис. 1. Относительное распределение режимов локомоций за одну тренировку БИ-4/КЭ:

реком. – рекомендованный объем согласно бортовой документации; V – скорость локомоций

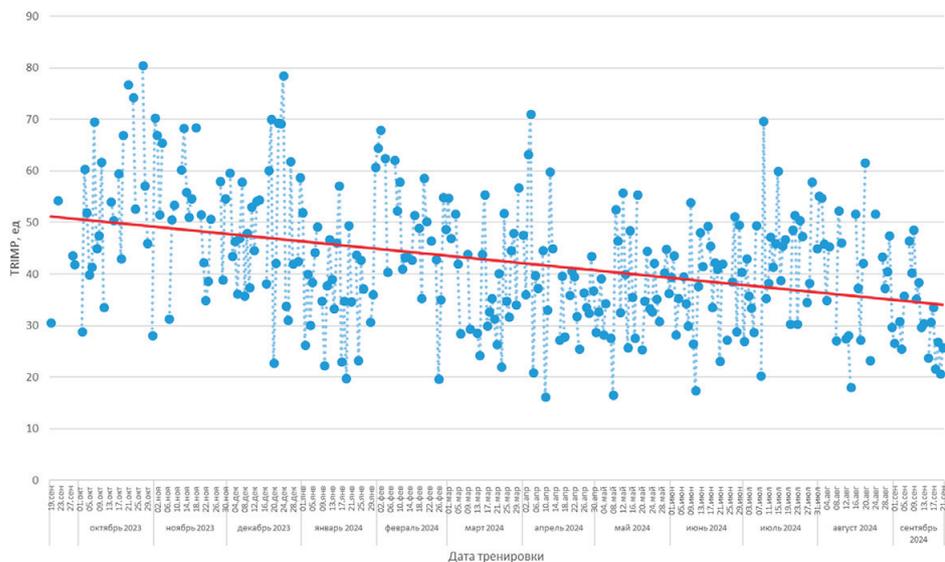


Рис. 2. Показатель оценки тренировочной нагрузки БИ-4/КЭ на протяжении КП

БИ-5/БИ-2 выполнял ФТ на БД-2 согласно требованиям бортовой документации в четырехдневном микроцикле. При этом в четвертый день БИ-5/БИ-2 выполнял или день отдыха, или тренировку по второму дню тренировочного микроцикла. Среднее расстояние, пройденное за тренировку, не имело тенденцию к увеличению (рис. 3).

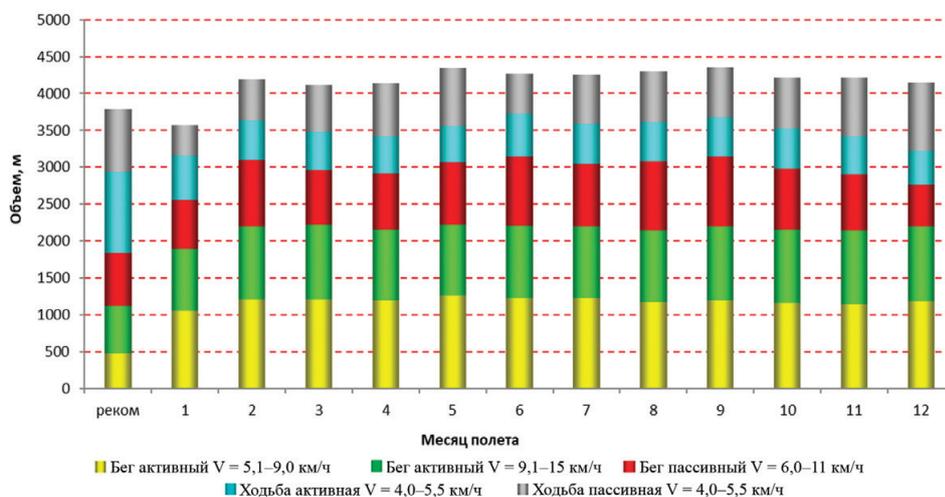


Рис. 3. Относительное распределение режимов локомоций за одну тренировку БИ-5/БИ-2:

реком. – рекомендованный объем согласно бортовой документации; *V* – скорость локомоций

TRIMP у БИ-5/БИ-2 имел тенденцию к снижению на протяжении всего КП (рис. 4).

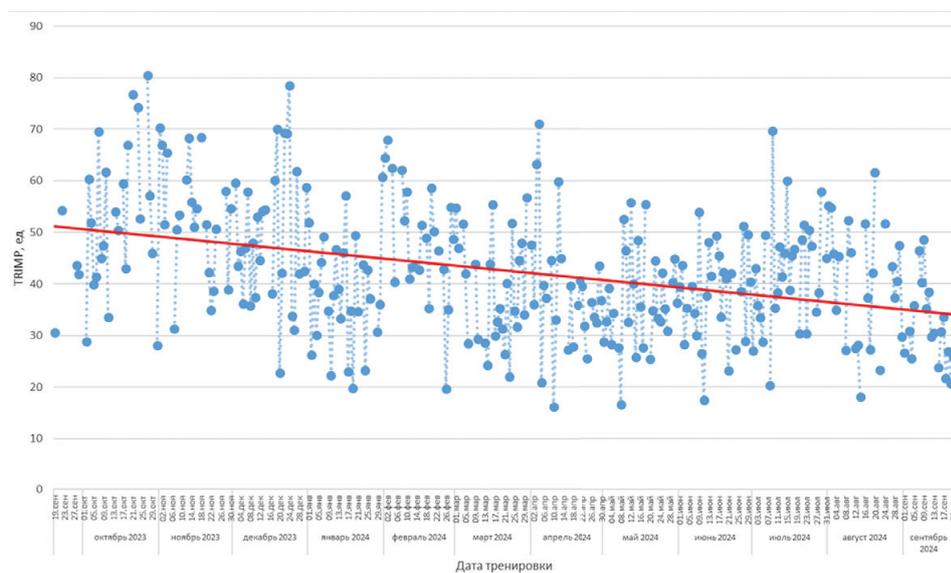


Рис. 4. TRIMP БИ-5/БИ-2 на протяжении КП

ФТ на ARED у БИ-4/КЭ и БИ-5/БИ-2 различались по параметрам нагрузки и набору упражнений.

БИ-4/КЭ выполнял тренировки в полном соответствии с рекомендациями специалистов. БИ-5/БИ-2 использовал личные протоколы, в которых вес отягощения в некоторых упражнениях превышал рекомендованный.

У БИ-4/КЭ вес отягощения при выполнении основных упражнений – «Приседания» и «Подъемы на носки», с первого месяца полета превышал вес тела в условиях нормальной гравитации (рис. 5).

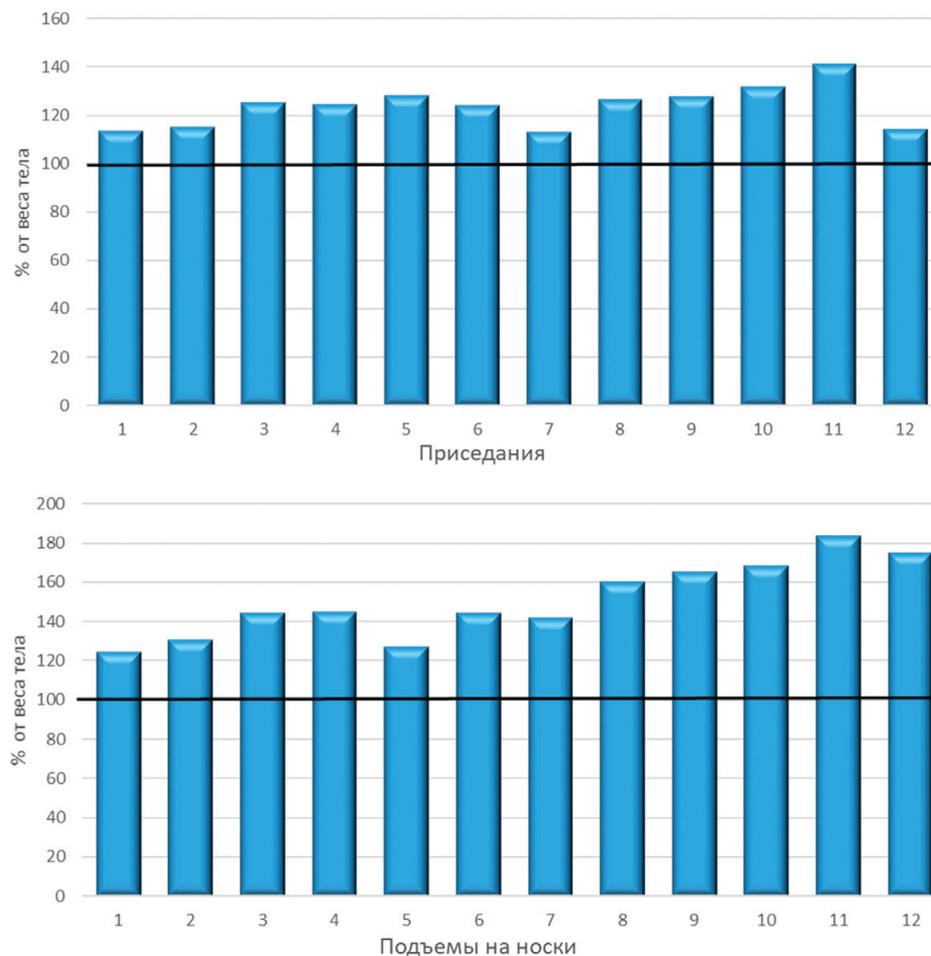


Рис. 5. Вес отягощения, используемый в тренировках БИ-4/КЭ на ARED

Максимальные значения данного показателя составили 184 % от веса тела для упражнения «Подъемы на носки» и 141 % – для упражнения «Приседания».

Вес отягощения в упражнении «Подъемы на носки» у БИ-5/БИ-2 достигал веса тела на Земле с первого месяца полета, в упражнении «Приседания» – с третьего месяца полета (рис. 6).

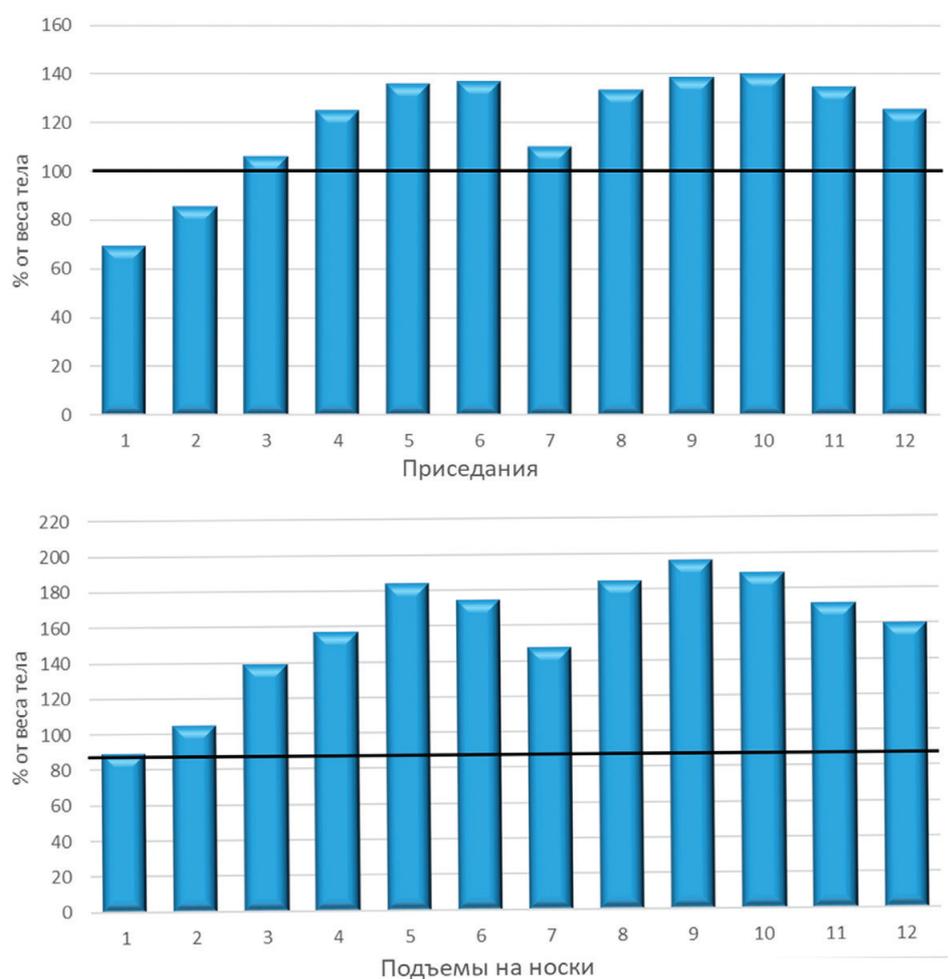


Рис. 6. Вес отягощения, используемый в тренировках БИ-5/БИ-2 на ARED

При этом максимальное значение данного показателя в приседаниях составило 140 % от веса тела, в подъемах на носки – 196 %.

Информация по работе тренажеров

14.10.2023 – выполнена работа по переустановке шатуна правой педали на ВБ-3М. Шатун закреплен, велотренажер работоспособен.

11.01.2024 – от экипажа получено сообщение о «повреждении полотна» БД-2. После анализа фотографий специалистами ПДС сделано заключение об отсутствии ограничений для использования тренажера.

10.02.2024 – БИ-4 сообщил, что при выполнении ФТ на ВБ-3М, БИ-5 обратил внимание на то, что весь пульт управления светится. Светятся все светодиоды напротив нагрузки, причем нагрузку выбрать можно, но при этом

горят все светодиоды, ничего не сбрасывается и не читается. Информация передана специалистам ПДС.

17.05.2024 – проведена замена полотна на тренажере БД-2.

17.06.2024 – проведены работы по восстановлению работоспособности тренажера ВБ-3М: заряд аккумуляторной батареи пульта управления ВБ-3М; замена аккумуляторной батареи.

22.07.2024 – неисправность пульта тренажера ВБ-3М.

25.07.2024 – произведена замена блока управления ВБ-3М. Работоспособность тренажера не восстановлена.

06.08.2024 – проведены РВР велотренажера ВБ-3М: установлены блок управления и пульт старого образца. Работоспособность велотренажера восстановлена.

Обсуждение

В период проведения годовой экспедиции МКС-70/71 были получены данные, которые позволяют проводить сравнение с результатами медицинского обеспечения полугодовых космических полетов на МКС.

Несмотря на то что перечень медицинских мероприятий, выполняемых в рамках программы российского медицинского контроля на МКС, довольно велик, тем не менее результаты некоторых исследований, которые не входили в комплекс обязательных медицинских мероприятий, имели существенное значение для здоровья космонавтов и безопасности полета. Эти данные анализировались по материалам литературных источников.

Режим труда и отдыха

Увеличение длительности космического полета до одного года по сравнению с полугодовыми экспедициями на МКС предполагает и увеличение количества рабочих задач для космонавтов. Невесомость, длительная изоляция, монотония и другие факторы космического полета могут приводить к снижению работоспособности и эффективности членов экипажа при решении сложных операторских задач или выполнении работ, связанных с возникновением нештатных ситуаций. Поэтому важным условием сохранения работоспособности экипажа является качественное планирование и соблюдение РТО.

В течение проведения экспедиции МКС-70/71 рабочая нагрузка членов экипажа оценивалась как умеренная. Периоды напряженного рабочего графика возникали преимущественно во время проведения ВКД, приема и отправки кораблей, а также при проведении дополнительных работ в случае возникновения нештатных ситуаций. Мероприятия по психологической поддержке, а также достаточное время, выделяемое экипажу на отдых, способствовали восстановлению и продолжению эффективной работы. К концу полета отмечались не резко выраженные признаки утомления, которые в целом не влияли на эффективность выполняемых рабочих задач. По сравнению

с полугодовыми космическими полетами рабочая эффективность экипажа МКС-70/71 в течение всего годового полета оставалась на хорошем уровне.

Оценка влияния некоторых факторов космического полета на организм космонавта

Радиационное воздействие на организм космонавта является одним из факторов, лимитирующих продолжительность космического полета. Постоянный мониторинг радиационной обстановки проводился как внутри МКС, так и по индивидуальным дозиметрам, которые космонавты использовали во время ВКД. Радиационная обстановка внутри станции в целом оставалась спокойной на протяжении всей годовой экспедиции. Согласно нормативной документации, предел дозы облучения кроветворной системы космонавта за 375 сут полета может достигать 304,48 мЗв. Эквивалентная доза облучения кроветворной системы членов экипажа МКС-70/71 составила примерно 200 мЗв. Полученные результаты примерно вдвое превышают средние значения доз, накопленных космонавтами во время полугодовых экспедиций. Зависимость величины эквивалентной дозы облучения от длительности полета на низкой околоземной орбите очевидна. Однако следует отметить, что предел дозы облучения за один полет является условной нормативной величиной. Например, в литературе приводятся данные о максимально допустимой дозе радиационного воздействия на организм космонавта за карьеру – 1000 мЗв [10]. Как видно из сравнения, эта величина более чем в пять раз превышает дозу (~200 мЗв), полученную членами экипажа МКС-70/71.

Исследование костной системы не входило в программу медицинского контроля и в рамках данного космического полета не проводилось, однако авторы статьи считают полезным провести анализ возможных изменений на основе сведений, опубликованных в литературе. Так, в статье В.С. Оганова и А.И. Григорьева приводятся данные о том, что за полугодовой космический полет происходит потеря 1,36 % минералов скелета. При кажущейся ничтожности этих значений восстановление 50 % потерь костной массы в разных сегментах скелета наступает в среднем через 9 мес, а достижение предполетного уровня минеральной плотности костей происходит не ранее, чем через 2,5–3 года. [11]. Несмотря на то, что в полугодовых космических полетах потеря костной ткани не достигает уровня, квалифицируемого как остеопороз, зафиксированная в ряде наблюдений остеопения может свидетельствовать о предпосылках для развития остеопороза. Высокая индивидуальная вариабельность изменений не позволяет сделать достоверный вывод о прямой связи глубины остеопении с длительностью космического полета (в пределах полугода), но в единичных наблюдениях полетов большей длительности такая тенденция прослеживается. В другой работе, посвященной изучению влияния длительной невесомости на костную ткань, авторы приходят к выводу о невозможности в настоящее время установить строгую зависимость изменений костной массы от продолжительности полета,

поэтому отсутствуют достаточные основания для расчета вероятности достижения критического уровня деминерализации при увеличении длительности космических полетов до 1,5–2 лет [12].

Медицинское обеспечение

Члены экипажа МКС-70/71 выполнили весь комплекс физических тренировок. Несмотря на снижавшийся тренд показателя эффективности тренировочной нагрузки у членов годовой миссии, в целом физическая работоспособность оставалась на достаточном уровне, что позволяло экипажу успешно выполнять рабочие задачи на протяжении всего полета. Стоит отметить, что имеет значение исходный уровень физической подготовки, а также планирование физических тренировок с учетом индивидуальных предпочтений космонавтов. При сравнительном анализе данных физической работоспособности экипажей полугодовых и годовых экспедиций на МКС выраженных различий физической тренированности не наблюдалось.

Одной из важнейших задач системы профилактики неблагоприятных эффектов невесомости является обеспечение безопасного возвращения космонавтов на Землю. Отсутствие земного притяжения и, как следствие, гидростатического давления крови в условиях невесомости вызывают ряд обратимых адаптационных изменений в организме, которые могут приводить к развитию негативных проявлений как на этапе спуска с орбиты, так и в раннем послеполетном периоде. Снижение ортостатической устойчивости и работоспособности могут стать угрозой обеспечению жизнедеятельности в случае посадки в труднодоступной местности, затрудняющей оперативное прибытие поисково-спасательных служб и своевременную эвакуацию экипажа. С целью предотвращения негативных эффектов в период реадаптации к земным условиям на заключительном этапе космического полета выполняется комплекс мероприятий по подготовке космонавтов к возвращению на Землю и обеспечению приемлемого уровня функциональных возможностей. Несмотря на заметный прогресс в этой области, следует отметить, что применяющиеся в настоящее время профилактические мероприятия уменьшают, но не предотвращают полностью негативные последствия длительного пребывания в невесомости и не гарантируют возможность автономного существования экипажа в первые часы после посадки.

Одним из таких мероприятий являются ОДНТ-тренировки в ПВК «Чибис-М». Создание с помощью специальных герметичных «штанов» отрицательного давления в нижней половине тела вызывает перемещение крови из верхней половины тела в нижнюю. Это отчасти имитирует земное ортостатическое воздействие (вертикальное положение тела) и позволяет организму «вспомнить» физиологические механизмы противодействия оттоку крови по вектору гравитации, то есть в направлении от головы к ногам.

Система ОДНТ-тренировок представляет собой комплекс мероприятий, выполняемых на заключительных этапах полета. Она состоит из нескольких

сессий, включающих 3–4 ступени разрежения величиной от 20 до 40 мм рт. ст. с шагом 5 мм рт. ст. и временем воздействия каждой ступени 5 или 10 мин. Выбор режима тренировочной сессии определяется результатами пробы с ОДНТ, которая выполняется до начала ОДНТ-тренировок.

В отличие от полугодовых экспедиций, когда на заключительном этапе полета выполняются четыре предварительные и две заключительные ОДНТ-тренировки, для членов экипажей годовых миссий – шесть предварительных и две заключительные ОДНТ-тренировки.

В целом у членов экипажа МКС-70/71 выполнен полный комплекс, состоящий из шести предварительных и двух заключительных ОДНТ-тренировок. Во время проведения тренировочных сессий как по данным объективного контроля, так и по докладам экипажа, самочувствие оставалось стабильно хорошим, клинически значимых изменений со стороны сердечно-сосудистой системы не наблюдалось. При этом стоит отметить, что независимо от длительности космического полета, у абсолютного большинства космонавтов переносимость пробы с ОДНТ, выполняемой до начала ОДНТ-тренировок, оценивается как удовлетворительная или хорошая. Устойчивость к ортостатическому воздействию у космонавтов в большей степени обусловлена высоким исходным уровнем здоровья, особенностями профессиональной подготовки и образа жизни, а также качественным отбором по медицинским критериям на этапе входа в профессию. Многолетние наблюдения, проводимые в рамках медицинского обеспечения космических полетов, показывают, что у космонавтов, неоднократно выполнивших длительные орбитальные полеты, переносимость воздействия ОДНТ в повторных полетах не снижалась. В отдельных случаях в повторных полетах даже наблюдалась тенденция к снижению выраженности физиологических реакций на воздействие ОДНТ, что свидетельствует о лучшей переносимости предъявляемых режимов по сравнению с предыдущим полетом.

Выводы

1. Несмотря на то что экспедиция экипажа МКС-70/71 продолжалась в среднем вдвое больше, чем подавляющее большинство миссий на МКС, в целом рабочая нагрузка у космонавтов в течение годового полета оценивалась как умеренная. Мероприятия по психологической поддержке, а также достаточное время, выделяемое экипажу на отдых, способствовали восстановлению и продолжению эффективной работы.

2. В статье представлены обобщенные данные о влиянии наиболее лимитирующих факторов космического полета, в частности радиационного воздействия на организм космонавта, а также изменения состояния костной ткани в космических полетах продолжительностью шесть месяцев и год. В целом увеличение срока пребывания на МКС приводит к пропорциональному увеличению эквивалентной дозы радиации, действующей на организм.

Однако даже при существующей нормативной базе по показателю радиационного воздействия возможно увеличение продолжительности пребывания на орбите до 18 месяцев. Исследования влияния факторов космического полета на минеральные свойства костной ткани показывают возникновение обратимых изменений, однако полное восстановление после шести месяцев полета происходит в течение 2,5–3 лет. В то же время отсутствуют достоверные данные о связи выраженности остеопении с увеличением длительности космического полета до года и более.

3. Данные медицинских заключений, результаты проведенных исследований во время полета, а также оценка состояния членов экипажа в послеполетном периоде свидетельствуют о достаточности (с учетом дополнительных ОДНТ-тренировок на заключительном этапе КП) и эффективности выполненных медицинских мероприятий для безопасного завершения полета и возвращения экипажа годовой экспедиции на Землю.

4. Перспектива освоения дальнего космоса, увеличение длительности космического полета и, как следствие, автономность экипажа является неизбежным следующим этапом пилотируемой космонавтики. Опыт медицинского обеспечения годовых экспедиций на МКС подтверждает эффективность мер, направленных на сохранение здоровья и работоспособности космонавтов в течение всей длительной экспедиции. Некоторые закономерности изменений физиологических систем, их динамика в течение годового космического полета, нормативная документация, а также результаты исследований, содержащиеся в доступной литературе, показывают, что увеличение сроков пребывания космонавтов на низкой околоземной орбите до полутора лет за один полет является возможным. Однако влияние некоторых факторов космического полета на организм космонавтов, например длительная изоляция, автономность, монотония и прочее, являются наиболее сложными с точки зрения прогнозирования в связи с высокой вариативностью индивидуальных психологических качеств, в том числе определяющих работоспособность членов экипажей. Таким образом, накопленные к настоящему времени данные свидетельствуют о принципиальной возможности увеличения длительности экспедиций на низкую околоземную орбиту до полутора лет при условии применения комплекса профилактических мер во время полета и предполетной подготовки членов экипажа с учетом предполагаемой длительности космической миссии.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АС – американский сегмент	ГЖТ – газожидкостной теплообменник
АСУ – ассенизационно-санитарное устройство	ГОГУ – Главная оперативная группа управления
БД-2 – бегущая дорожка РС МКС	ЗВЛ – закрытие выходного люка
БИ – бортовой инженер	ЗИП – запасные части, принадлежности
БМП – блок удаления микропримесей	ИМБП – Институт медико-биологических проблем
ВБ-3М – велоэргометр бортовой	
ВКД – внекорабельная деятельность	

ИПД – индикаторный пробоотборник Дрейгера	СОТР – система обеспечения теплового режима
КОЕ – колониобразующая единица	СРВ-К2М – система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги
КОХ – контур охлаждения	ТГК – транспортный грузовой корабль
КП – космический полет	ТПК – транспортный пилотируемый корабль
КТ – контрольная точка	УМ – узловой модуль
КЭ – командир экипажа	УОВ «Поток 150МК» – устройство очистки воздуха
МИМ1 – малый исследовательский модуль 1	ФГБ – функционально-грузовой блок
МИМ2 – малый исследовательский модуль 2	ФТ – физические тренировки
МКС – Международная космическая станция	ЦВ1 – центральный вентилятор 1
МЛМ – многоцелевой лабораторный модуль	ЦВ2 – центральный вентилятор 2
ОВЛ – открытие выходного люка	AM hardware – акустический монитор
ОДНТ – отрицательное давление на нижнюю часть тела	ARED – силовой тренажер АС МКС
ПВК – пневмовакуумный костюм	Супола – модуль «Купол» в составе АС
ПГО – приборно-грузовой отсек	DPC – ежедневная конференция по планированию
ПДС – постоянно действующие системы	GMT – время Гринвичского меридиана
ПДУ – предельно допустимый уровень	ISS MORD – документ требований к медицинским операциям на МКС
ПрК – промежуточная камера	Node1 – соединительный модуль «Юнити»
РВР – ремонтно-восстановительные работы	Node2 – соединительный модуль «Гармония»
РО – радиационная обстановка	Node3 – соединительный модуль «Транквилити»
РРЖ – регулятор расхода жидкости	PMM – постоянный многофункциональный модуль
РС МКС – российский сегмент МКС	JLP – японский логистический модуль
РТО – режим труда и отдыха	SLM – режим измерений уровня звука
СИЗ – средства индивидуальной защиты	Task List – перечень работ, подготовленный группой планирования. Содержит задачи, которые могут быть выполнены на усмотрение экипажа во время рабочего дня или в личное время вне рабочих часов экипажа
СК – скафандр	TRIMP – показатель тренировочной нагрузки
СКВ – система кондиционирования воздуха	US Lab – американский модуль «Дестини»
СКО «Электрон-ВМ» – система обеспечения кислородом	
СМ – служебный модуль	
СОА «Воздух» – система очистки атмосферы	
СОГС – система обеспечения газового состава	
СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности	
СПН ВГК – сменная панель насосов внутреннего гидравлического контура	

ЛИТЕРАТУРА

1. SSP 50261-02. Ground Rules and Constraints. International Space Station Generic Groundrules, and Constraints, Part 2: Execute Planning. – 2007. – 207 p.
2. Flight Rules B 14.2.2-12. ISS Generic Operational Flight Rules. – 2003. – Volume B. – ISS Generic, Section 14. – Aeromedical, NSTS 12820.
3. SSP 50260. International Space Station Medical Operations Requirements Documents (ISS MORD). – 2000.
4. ГОСТ 25645.215-85. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Нормы безопасности при продолжительности полетов до трех лет = Space crew radiation safety during space flight. Safety norms with flight duration till three years: государственный стандарт Союза ССР: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 16 декабря 1985 г. № 4032: введен впервые:

- дата введения 1987-01-01 / разработан Госстандартом СССР. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 7 с. – Текст: непосредственный.
5. Методические рекомендации МР ФМБА 17.01-2021. Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах (ООКОКП-2021). – Издание официальное. – Москва: [б. и.], 2021. – 44 с.
 6. РД 50-25645.220-90. Методические указания. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Коэффициенты качества космического излучения на околоземных орбитах: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 27.12.90 № 3366: дата введения 1992-01-01 / разработан Министерством здравоохранения СССР. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 15 с. – Текст: непосредственный.
 7. ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования = Cosmonaut's habitable environments on board of manned spacecraft. General medicotechnical requirements: государственный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 08.08.95 № 424: дата введения: 1996-07-01 / разработан Институтом медико-биологических проблем Минздравмедпрома России с участием Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П. Королёва и АООТ «Звезда». – Москва: Издательство стандартов, 1995. – 117 с. – Текст: непосредственный.
 8. SSP 50094. Объединенный документ NASA/ПКА по спецификациям и стандартам для РС МКС (метеороидная модель NASA). – 1997.
 9. Banister, E.W. Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners / E.W. Banister, C.L. Hamilton // *European journal of applied physiology and occupational physiology*. – 1985. – Т. 54. – С. 16–23.
 10. Самойлов, А.С. Радиационное воздействие в орбитальных и межпланетных космических полетах: мониторинг и защита / А.С. Самойлов, И.Б. Ушаков, В.А. Шуршаков // *Экология человека*. – 2019. – №. 1. – С. 4–9.
 11. Оганов, В.С. О механизмах остеопении и особенностях метаболизма костной ткани человека в условиях невесомости / В.С. Оганов, А.И. Григорьев // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. – 2012. – Т. 98, № 3. – С. 395–409.
 12. Динамика состояния костной системы российских космонавтов-участников экспедиций на МКС. Глава в книге: *Международная космическая станция. Российский сегмент* / В.С. Оганов, В.Е. Новиков, А.В. Бакулин, О.Е. Кабицкая, [и др.] // *Космическая биология и медицина*. – Москва, 2011. – Том 1. – С. 149–158.

REFERENCES

1. SSP 50261-02. Ground Rules and Constraints. International Space Station Generic Ground Rules, and Constraints, Part 2: Execute Planning, 2007. – 207 p.
2. Flight Rules B 14.2.2-12. ISS Generic Operational Flight Rules. – 2003. – Volume B. – ISS Generic, Section 14. – Aeromedical, NSTS 12820.
3. SSP 50260. International Space Station Medical Operations Requirements Documents (ISS MORD). – 2000.

4. GOST 25645.215-85. Radiation safety of the spacecraft crew in space flight. Safety standards for flight duration up to three years = Space crew radiation safety during space flight. Safety standards with flight duration till three years: state standard of the USSR: official publication: approved and put into effect by Resolution of the USSR State Committee for Standards dated December 16, 1985 No 4032: introduced for the first time: date of introduction 1987-01-01/ developed by the USSR State Standard. – Moscow: Publishing House of Standards, 1987. – 7 p. – Text: direct.
5. Methodological recommendations of the Federal Medical and Biological Agency 17.01-2021. Radiation exposure limitation for cosmonauts during near-Earth space flights (LECDSF-2021). Official publication. – Moscow [s. n.], 2021. – 44 p.
6. GD 50-25645.220-90. Methodological guidelines. Radiation safety of the spacecraft crew in space flight. Cosmic radiation quality coefficients in near-Earth orbits: official publication: approved and put into effect by Resolution No 3366 of the USSR State Committee for Product Quality Management and Standards dated 12/27/90: date of introduction 1992-01-01 / developed by the USSR Ministry of Health. – Moscow: Publishing House of Standards, 1991. – 15 p. – Text: direct.
7. GOST R 50804-95. The astronaut's habitat in a manned spacecraft. General medical and technical requirements = Cosmonaut's habitable environments on board of manned spacecraft. General medicotechnical requirements: the state standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by Resolution No 424 of the State Standard of Russia dated 08.08.95: date of introduction: 1996-07-01 / developed by the Institute of Biomedical Problems of the Ministry of Health and Medical Industry of Russia with the participation of S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia and joint stock Company of open type "Zvezda". – Moscow: Publishing House of Standards, 1995. – 117 p. – Text: direct.
8. SSP 50094. Joint NASA/RSA document on specifications and standards for the ISS RS (meteoroid model NASA). – 1997.
9. Banister, E.W. Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners / E.W. Banister, C.L. Hamilton // *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. – 1985. – Vol. 54. – P. 16–23.
10. Samoilov, A.S. Radiation exposure in orbital and interplanetary space flights: monitoring and protection / A.S. Samoilov, I.B. Ushakov, V.A. Shurshakov // *Human Ecology*. – 2019. – No 1. – P. 4–9.
11. Oganov, V.S. On the mechanisms of osteopenia and the features of human bone tissue metabolism under conditions of weightlessness / V.S. Oganov, A.I. Grigoriev // *Russian Physiological Journal named after I.M. Sechenov*. – 2012. – Vol. 98, No 3. – P. 395–409.
12. Dynamics of the state of the skeletal system of Russian cosmonauts participating in expeditions to the ISS. Chapter in the book "International Space Station Russian Segment" / V.S. Oganov, V.E. Novikov, A.V. Bakulin, O.E. Kabitskaya [et al.] // *Space Biology and Medicine*. – Moscow, 2011. – Vol. 1. – P. 149–158.