

## НАУКА И ОБЩЕСТВО

DOI: 10.7868/S0869587315040040

18 марта 2015 года исполнилось 50 лет со дня первого в мире выхода человека в открытый космос. Этим человеком стал советский космонавт Алексей Архипович Леонов, участвовавший в полёте космического корабля “Восход-2”. В июне того же года в открытый космос вышел американский астронавт Эдвард Уайт, пилот корабля “Джемени-4”. В последующие годы, по мере технического совершенствования систем индивидуального снаряжения (скафандров) космонавтов для выполнения внекорабельной деятельности и повышения их надёжности работа человека в открытом космосе постепенно превращалась из кратковременных эпизодов в планомерную, многочасовую деятельность. Настоящая статья посвящена истории этого вопроса.

### МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ

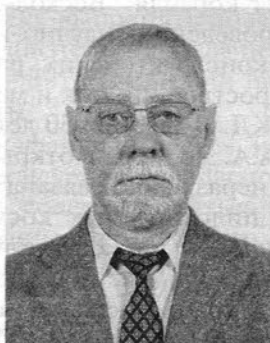
А.И. Григорьев, Ю.Ю. Осипов, Г.И. Самарин

Выход А.А. Леонова в открытый космос по праву можно считать следующим после полёта Ю.А. Гагарина выдающимся событием в истории пилотируемой космонавтики. Полёт “Восхода-2” вошёл в историю дважды. В соответствии с первой, официальной и открытой версией всё прошло блестяще. Вторая версия обнародовалась постепенно и в полном виде была опубликована много позже, и тогда стало известно, что в ходе эксперимента произошло по крайней мере семь сложнейших нештатных ситуаций. О них, конечно, не упоминалось в сообщениях ТАСС, что естественно для времени жёсткой цензуры. Впоследствии в воспоминаниях А.А. Леонова, специалистов в области ракетно-космической техники и врачей, сопровождавших этот полёт, было рассказано о проблемах, которые тогда возникли. Достаточно подробно они описаны в книге лётчика-космонавта Ю.М. Батурина [1]. Приведём выдержку из этой книги.

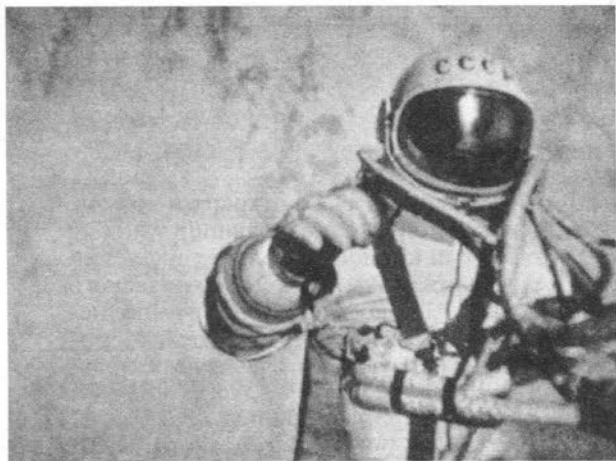
*«А.А. Леонов находился в условиях космического пространства 23 мин. 41 сек., а вне шлюза в открытом космосе — 12 мин. 09 сек. В это время он удалялся от корабля на расстояние до 5.35 м. Во время выхода его скафандр был связан с бортом корабля специальным электрическим кабелем, так как не был полностью автономным.*

*На самом деле в полёте был ряд серьёзных нештатных ситуаций, неоднократно угрожавших жизни космонавтов. Вот как об этом рассказал Алексей Архипович: “Серьёзных нештатных ситуаций в моём полёте на “Восходе-2” было семь, из них три или четыре были смертельными...*

*Когда создавали корабль для выхода в открытый космос, то приходилось решать множество проблем, одна из которых была связана с размером люка. Чтобы крышка открывалась внутрь полностью, пришлось бы урезать ложемент. Тогда бы я в него не поместился в плечах. И я дал согласие на уменьшение диаметра люка. Таким образом, между скафандром и обрезом люка оставался зазор по 20 мм с каждого плеча.*



ГРИГОРЬЕВ Анатолий Иванович — академик, вице-президент РАН, научный руководитель ГНЦ РФ “Институт медико-биологических проблем РАН”. ОСИПОВ Юрий Юрьевич — кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией ГНЦ РФ ИМБП РАН. САМАРИН Георгий Иванович — кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией ГНЦ РФ ИМБП РАН.  
samarin@imbp.ru; osipov@imbp.ru;  
grigoriev@pran.ru



На Земле мы проводили испытания в барокамере при вакууме, соответствующем высоте 60 км... В реальности, когда я вышел в открытый космос, получилось немного по-другому. Давление в скафандре — около 600 мм, а снаружи —  $10^{-9}$ ; такие условия на Земле смоделировать было невозможно. В космическом вакууме скафандр раздулся, не выдержали ни рёбра жёсткости, ни плотная ткань. Я, конечно, предполагал, что это случится, но не думал, что настолько сильно. Я затянул все ремни, но скафандр так раздулся, что руки вышли из перчаток, когда я брался за поручни, а ноги — из сапог. В таком состоянии я, разумеется, не мог втиснуться в люк шлюза. Возникла критическая ситуация, а советоваться с Землёй было некогда. Пока бы я им доложил... пока бы они совещались... И кто бы взял на себя ответственность? Только Паша Беляев это видел, но ничем не мог помочь. И тут я, нарушая все инструкции и не сообщая на Землю, перехожу на давление 0,27 атмосфер. Это второй режим работы скафандра. Если бы к этому времени у меня не произошло вымывание азота из крови, то закипел бы азот — и всё... гибель. Я прикинул, что уже час нахожусь под чистым кислородом и кипения быть не должно. После того как я перешёл на второй режим, всё «село» на свои места. На нервах сунул в шлюз кинокамеру и сам, нарушая инструкцию, пошёл в шлюз не ногами, а головой вперёд. Взявшись за леера, я протиснул себя вперёд. Потом я закрыл внешний люк и начал разворачиваться, так как входить в корабль всё равно нужно ногами. Иначе я бы не смог, ведь крышка, открывающаяся внутрь, съедала 30% объёма кабины. Поэтому мне пришлось разворачиваться (внутренний диаметр шлюза — 1 метр, ширина скафандра в плечах — 68 см). Вот здесь была самая большая нагрузка, у меня пульс дошёл до 190. Мне всё же удалось перевернуться и войти в корабль ногами, как положено, но у меня был такой тепловой удар, что я, нарушая инструкции и не проверив герметичность, открыл шлюз, не закрыв за собой люк. Вытираю перчаткой глаза, а вытереть не удаётся, как будто на голову

кто-то лёт. Тогда у меня было всего 60 литров кислорода на дыхание и вентиляцию, а сейчас у «Орлана» — 360 литров... Я первый в истории вышел и отошёл сразу на 5 метров. Больше этого никто не делал. А ведь с этим фалом надо было работать, собрать на крючки, чтобы не болтался. Была громадная физическая нагрузка. Единственное, что я не сделал на выходе, — не смог сфотографировать корабль со стороны. У меня была миниатюрная камера «Аякс», способная снимать через пуговицу. Её нам дали с личного разрешения председателя КГБ. Управлялась эта камера дистанционно тросиком; из-за деформации скафандра я не смог до него дотянуться. А вот киносъёмку я сделал (3 минуты камерой С-97), и за мной с корабля постоянно следили две телевизионные камеры, но у них была невысокая разрешающая способность. По этим материалам потом сделали очень интересный фильм.

Но самое страшное было, когда я вернулся в корабль, — начало расти парциальное давление кислорода (в кабине), которое дошло до 460 мм и продолжало расти. Это при норме 160 мм! Но ведь 460 мм — это гремучий газ, ведь Бондаренко сгорел на этом... Вначале мы в оцепенении сидели. Всё понимали, но сделать почти ничего не могли: до конца убрали влажность, убрали температуру (стало  $10-12^{\circ}$ ). А давление растёт... Малейшая искра — и всё превратилось бы в молекулярное состояние, и мы это понимали. Семь часов в таком состоянии, а потом заснуло... видимо, от стресса. Потом мы разобрались, что я шлангом от скафандра задел за тумблер наддува... Что произошло фактически? Поскольку корабль был долгое время стабилизирован относительно Солнца, то, естественно, возникла деформация; ведь, с одной стороны, охлаждение до  $-140^{\circ}\text{C}$ , с другой — нагрев до  $+150^{\circ}\text{C}$ ... Датчики закрытия люка сработали, но осталась щель. Система регенерации начала нагнетать давление, и кислород стал расти, мы его не успевали потреблять... Общее давление достигло 920 мм. Эти несколько тонн давления придавили люк, и рост давления прекратился. Потом давление стало падать на глазах».

Предложенная вниманию читателя выдержка из книги говорит о том, что внекорабельная деятельность (ВКД) сопряжена с большим риском для жизни и здоровья человека. Следует сказать, что полёт корабля «Восход-2» дал сильный импульс проведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ как в области скафандростроения, так и медицинского обеспечения ВКД. В течение 50 лет, прошедших со дня выхода А.А. Леонова в открытый космос, космонавтика неразрывно связана с выполнением экипажами пилотируемых космических аппаратов сложнейшей и рискованной работы за бортом. К настоящему времени состоялось более 300 выходов в открытый космос, американские астронавты в рамках программы «Аполлон» работали

на Луне. Важность таких операций, связанных с проведением ремонтных и наладочных работ, заменой вышедших из строя узлов и агрегатов, обслуживанием спутников, монтажом новых орбитальных станций, осуществлением научных экспериментов, наконец, с пребыванием на других планетах (Луна, Марс, метеориты), не подлежит сомнению.

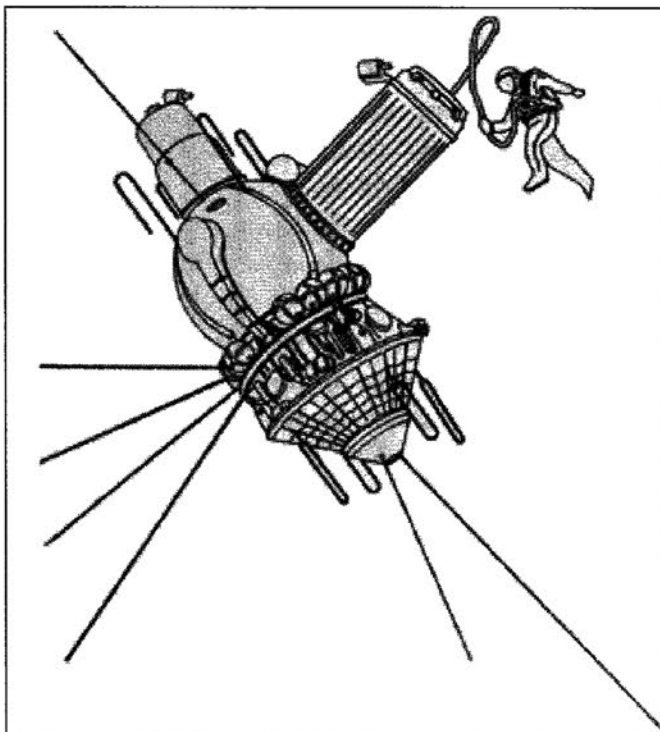
Необходимость внекорабельной деятельности космонавтов как эффективного средства решения ряда задач во время пилотируемых космических полётов предвидел ещё К.Э. Циолковский. В начале прошлого века он приступил к обоснованию принципов создания скафандра, системы шлюзования и страховки для обеспечения работы человека в открытом космосе [2].

В настоящее время предложена терминология, определяющая *космический скафандр* как одну подсистему (то есть антропоморфную оболочку) индивидуальной системы обеспечения жизнедеятельности [3]. Термин “индивидуальная система обеспечения жизнедеятельности” целиком относится к системе, необходимой для человека в условиях среды, в которой иначе он не смог бы существовать. Слово “индивидуальная” указывает на отличие этой системы от оборудования космического корабля, которое поддерживает жизнедеятельность всех членов экипажа одновременно. *Индивидуальная система обеспечения жизнедеятельности* подразумевает два основных класса систем в зависимости от главной цели их применения. Первый — это индивидуальная система обеспечения жизнедеятельности экипажа на борту летательного аппарата (спасательный скафандр), или внутрикорабельная система, второй — индивидуальная система обеспечения жизнедеятельности за бортом летательного аппарата, или внекорабельная система.

Как в советской, так и в американской космических программах индивидуальные системы жизнеобеспечения разрабатывались с целью

- применения внутри корабля для обеспечения жизнедеятельности экипажа и выполнения им работ в случае разгерметизации кабины или загрязнения атмосферы;
- обеспечения внекорабельной деятельности, позволяющей человеку выполнять полезную работу и решать исследовательские задачи в космическом вакууме на орбите Земли или на поверхности другой планеты.

Спасательный скафандр является необходимым элементом обеспечения безопасности экипажа. Он позволяет людям находиться в разгерметизированной кабине космического аппарата при любом вакууме практически неограниченное время, пока сохраняются запасы систем жизнеобеспечения. Скафандр “Беркут”, в котором ра-



“Восход-2” в открытом космосе

ботал А.А. Леонов во время выхода в открытый космос, относится к этому типу. Первый выход в открытый космос продемонстрировал принципиальную возможность пребывания и работы человека вне кабины космического корабля. Ввиду кратковременности ВКД применялся вентиляционный вариант скафандра с автономной системой обеспечения жизнедеятельности открытого типа. Небольшая по продолжительности программа ВКД потребовала от космонавта значительного психофизического напряжения.

В нашей стране огромный вклад в создание космических скафандров внесли учёные НПП “Звезда” во главе с выдающимся отечественным конструктором индивидуальных средств защиты академиком Г.И. Севериным. Концепция применения скафандра полужёсткого типа в связи с подготовкой лунной экспедиции и переходом к регулярным работам в открытом космосе была разработана ещё в 1960-х годах. Он создавался коллективом конструкторов НПП “Звезда”, в числе которых И.Р. Абрамов, В.И. Сверщек, А.С. Барер и другие. Над проблемами медицинского обеспечения внекорабельной деятельности успешно работали учёные других учреждений Минобороны СССР и Минздрава СССР — М.И. Вакар, В.В. Щиголев, Е.А. Коваленко, И.И. Касьян, В.П. Зинченко, Л.Г. Головкин, П.М. Граменицкий, Н.А. Агаджанян, В.П. Катунцев и многие другие.

Для осуществления внекорабельной деятельности как в России, так и в США используется антропоморфная форма космического скафандра с ранцевой системой жизнеобеспечения, устанавливаемой на спине, и с органами управления, расположенными спереди. И советскими, и американскими специалистами разработаны полужёсткие конструкции скафандра: верхняя часть корпуса и шлем — жёсткие, а нижняя часть корпуса (штанины, рукава и перчатки) — мягкие. Вместе с тем конструкторы СССР и США создали разные схемы входа в скафандр.

Как показал опыт работы на орбитальных станциях типа “Салют”, “Мир” и МКС, полужёсткий тип конструкции наиболее полно отвечает требованиям, предъявляемым к скафандру для внекорабельной деятельности. Этот тип скафандра, впервые применённый космонавтами Г.М. Гречко и Ю.В. Романенко в 1977 г., представляет единый комплекс, включающий в себя как собственно скафандр (гермооболочку), так и автономную систему обеспечения жизнедеятельности. Конструкция полужёсткого скафандра позволяет поддерживать в нём сравнительно высокое давление (около 40 кПа), благодаря чему сокращается время десатурации (выведение из организма азота, растворённого в жидких средах, путём выдыхания кислорода) при подготовке к деятельности вне корабля.

Необходимый микроклимат внутри скафандра создаётся автономной системой жизнеобеспечения замкнутого регенерационного типа. Она представляет собой комплекс технических устройств, включающий систему кислородного питания с аппаратурой для поддержания давления в скафандре, систему вентиляции и регулирования газового состава, систему терморегулирования, электрооборудование, агрегаты управления и приборы контроля.

Чётко наметившаяся перспектива существенного увеличения объёмов работ в открытом космосе, их сложности обуславливает необходимость постоянного совершенствования систем обеспечения внекорабельной деятельности, которые должны отвечать всё возрастающим требованиям безопасности, надёжности и эффективности. Важной составной частью таких систем является адекватный медицинский мониторинг с целью сохранения здоровья и поддержания высокого уровня работоспособности участников ВКД. Результаты медицинского обеспечения ВКД с борта российских космических кораблей и орбитальных станций представлены в ряде опубликованных работ [4, 5, 6].

За период эксплуатации МКС осуществлён 41 выход в открытый космос с использованием российских скафандров “Орлан-М”. Космонавтами реализован значительный объём работ, связанных с постановкой в открытом космосе уни-

кальных научных экспериментов, транспортировкой и монтажом на внешней поверхности МКС крупногабаритных конструкций, проведением ремонтных и наладочных операций, заменой вышедших из строя технических узлов и агрегатов, подготовкой станции к приёму европейского грузового корабля и т.д.

Для выполнения работ в открытом космосе на борту МКС имеются два вида скафандров: уже упоминавшийся российский “Орлан-М” и американский “ЕМУ”. Несмотря на одинаковое их целевое назначение и внешнее сходство, скафандры существенно отличаются друг от друга по технической конструкции, эксплуатации и процедурам подготовки к ВКД. С учётом этих различий для обеспечения безопасности пребывания в открытом космосе определены принципы организации работ по подготовке и выполнению ВКД на борту МКС, обеспечение внекорабельной деятельности российского космонавта и американского астронавта осуществляется по разным протоколам.

При использовании российского скафандра “Орлан-М” ответственными за подготовку, техническое и медицинское сопровождение ВКД являются российские специалисты, и функции ведущего Центра управления полётом (ЦУП) выполняет российский ЦУП-М. Когда используется американский скафандр “ЕМУ”, ответственными за подготовку, техническое и медицинское сопровождение ВКД являются американские специалисты, а функции ведущего ЦУПа выполняет американский ЦУП-Х, расположенный в г. Хьюстоне (США, штат Техас). Как в первом, так и во втором случае общими регламентирующими документами при проведении ВКД с борта МКС являются “Полётные правила по медицинским операциям и оценке состояния здоровья”, согласованные с партнёрами по МКС.

На период работы экипажа в российских скафандрах приоритет управления медицинским обеспечением космического полёта передаётся подгруппе медицинского обеспечения операции “Выход” (МОВ) Группы медицинского обеспечения Главной оперативной группы управления полётом (ГМО ГОУ). В состав подгруппы МОВ входят специалисты ГНЦ РФ ИМБП РАН, АО НПП “Звезда” и Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина. В случае ВКД с участием иностранных членов экипажа к работе подгруппы МОВ могут привлекаться медицинские представители соответствующего космического агентства.

В зависимости от целей и задач конкретных экспедиций частота выходов в открытый космос с борта МКС варьировалась от двух до пяти в год. Большинство (60%) ВКД выполнено в период от 60-х до 120-х суток космического полёта. Самый ранний выход был осуществлён на 40-е сутки.



Экипаж корабля “Восход-2” – космонавты  
А.А. Леонов и П.И. Беляев



Почтовый блок “СССР Восход-2. Триумф страны советов”, 1965 г. (изображение корабля не соответствует действительности)

В полётах продолжительностью более четырёх месяцев ВКД предпринималась в шести случаях, причём в двух из них работа в открытом космосе проводилась в период с 158-х по 168-е сутки пребывания экипажа на орбите.

Медицинское обеспечение ВКД направлено на создание безопасных условий работы космонавтов в открытом космосе, сохранение их здоровья, поддержание высокого уровня умственной и физической работоспособности. Важность и необходимость медицинского обеспечения показал полёт А.А. Леонова на “Восходе-2”, когда возникли некоторые трудности при демонтаже киноаппаратуры и возвращении в шлюзовую камеру, что отразилось на физическом состоянии космонавта: температура тела увеличилась до 37,6°C, частота дыхания – до 26 в минуту, частота сердечных сокращений – до 162 в минуту. Средние значения потребления кислорода при этом соответствовали уровню 0,8 л/мин. Только после закрытия люка и снижения физической активности физиологические параметры у космонавта стали возвращаться к исходному уровню. Определение энерготрат во время ВКД не производилось, но было очевидно, что уровень теплопродукции превышает возможности вентиляционной системы скафандра. Кроме того, первый выход человека в открытый космос показал, что при движениях вне кабины космического корабля основную роль в ориентации в пространстве играет зрительный анализатор, несколько меньшую – тактильная чувствительность, ещё меньшую – мышечно-суставная рецепция.

При подготовке к космическому полёту медицинское обеспечение внекорабельной деятельности включает динамический медицинский контроль в процессе специальных тренировок с использованием скафандра в лаборатории гидронеомности, в вакуумных камерах и на других стендах. В ходе полёта медицинское и психологическое обследование экипажа осуществляется за 1–2 недели до предстоящей операции с целью определить его исходное функциональное состояние и уровень работоспособности. В сутки вы-

полнения ВКД проводится утренний медицинский контроль, оперативный (в течение всего времени выхода) медицинский контроль и обследование космонавтов после завершения операции.

Цель комплексного медицинского и психологического обследования – оценить состояние здоровья и определить уровень работоспособности экипажа на конкретном этапе длительного космического полёта перед работой в открытом космосе. Помимо общепринятых медицинских обследований предусмотрено проведение двух специальных тестов с физической нагрузкой на велоэргометре: велоэргометрия ногами – для оценки физической работоспособности участников ВКД и велоэргометрия руками – для оценки тренированности мышечного аппарата верхних конечностей. По итогам обследования делается медицинское заключение о состоянии здоровья экипажа и его готовности к выполнению запланированной ВКД.

Утренний медицинский контроль в сутки выполнения ВКД включает доклад экипажа о самочувствии, регистрацию и анализ ЭКГ в отведении D-S, расчёт по интервалам “R-R” частоты сердечных сокращений, измерение кровяного давления и температуры тела, проведение биохимического анализа мочи.

Оперативный контроль за состоянием здоровья космонавтов во время ВКД осуществляется по результатам анализа поступающей в ЦУП медицинской телеметрической информации (ЭКГ, частота сердечных сокращений, температура тела) и телеметрической информации, отражающей основные параметры функционирования системы жизнеобеспечения скафандра. При оперативном контроле используются также доклады о самочувствии участников ВКД, данные радиосообщения и телевизионного наблюдения за поведением и деятельностью экипажа. В отличие от программы “Мир”, при медицинском сопровождении ВКД с борта МКС параметр “частота дыхания” не регистрируется.

После завершения ВКД обследование её участников включает доклады об их самочувствии, данные радиопереговоров, ТВ-изображения и биохимический анализ мочи. В отличие от программы “Мир”, на этом этапе обследования участников ВКД измерение массы тела производилось только в начальный период реализации пилотируемых полётов на МКС у космонавтов, выполнявших первые семь выходов в открытый космос. Эксплуатационные и физиологические неудобства ректальной, подкожной и оральной термометрии привели к разработке метода регистрации температуры тела в заушной области.

По концентрации углекислого газа и расходу вентилирующего скафандр газа, а также по падению давления в кислородных баллонах оцениваются выделение углекислого газа, потребление кислорода и энерготраты космонавта методом непрямой калориметрии. По расходу хладагента, разности температуры воды на входе и выходе костюма водяного охлаждения (КВО) и температуре газа методом прямой калориметрии определяется теплосъём с тела космонавта. В качестве оперативной информации используются также данные ТВ-изображений, радиообмена, в том числе доклады космонавтов о своём самочувствии, и телевизионное наблюдение за их поведением и деятельностью.

В своих отчётах, особенно после напряжённых и длительных работ, космонавты, помимо общей усталости, нередко указывали на утомление мышц рук, отмечали появление болей и потёртостей кожи на кистях и пальцах. В целях профилактики утомления и поддержания высокого уровня работоспособности космонавтов во время ВКД планирование и подготовка к ней базируются на объективной информации о характере предстоящих операций, времени, трудоёмкости и условиях их выполнения в открытом космосе.

Результаты медицинского обеспечения ВКД свидетельствуют также о том, что работа в открытом космосе является весьма напряжённой не только в физическом, но и в психоэмоциональном отношении. Как правило, основной причиной развития у космонавтов психоэмоционального напряжения являются ситуации, возникновение которых обусловлено нештатным функционированием технических средств обеспечения ВКД и (или) отклонениями от запланированной циклограммы ВКД. Степень психоэмоционального напряжения связана, кроме того, с индивидуальными особенностями космонавта, а также наличием у него предшествующего опыта работы в открытом космосе.

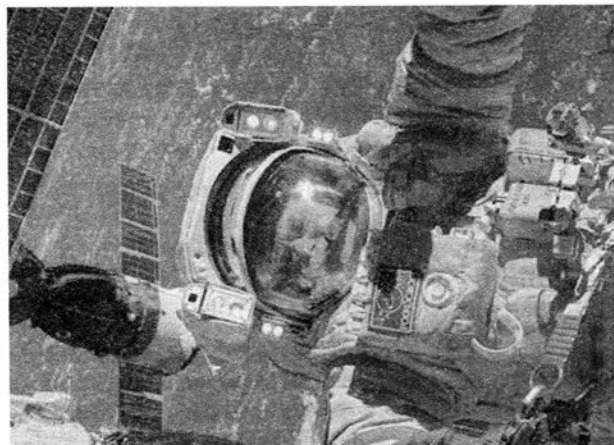
Высокая профессиональная подготовка и опыт участия ВКД позволяют сократить время на выполнение типовых операций, снижают уровень энерготрат, а также частоту сердечных сокращений. Для обеспечения безопасной и про-

дуктивной работы космонавтов в открытом космосе существенное значение имеет поддержание температурного гомеостаза организма. У космонавта, облачённого в современный скафандр для ВКД, баланс между величинами теплопродукции и теплоотдачи достигается путём регулирования уровня теплосъёма с поверхности тела преимущественно за счёт изменения температуры охлаждающей жидкости на входе в КВО и в меньшей степени за счёт объёма вентиляции подскафандрового пространства.

Случаев перегрева и переохлаждения организма не возникало. Однако в переходных ситуациях, когда теплосъём кратковременно становился ниже теплопродукции, у космонавтов появлялись транзиторные ощущения умеренного теплового дискомфорта. В те же моменты, когда теплосъём превышал уровень теплопродукции, космонавты описывали свои ощущения как “прохладно”. Это особенно характерно для первых минут отдыха после интенсивной работы, а также по возвращении на станцию и выходе из скафандра. Переодевание в сухое бельё и приём горячей пищи вызывали нормализацию теплоощущений. При выполнении работ на внешней поверхности МКС при продолжительном контакте с охлаждёнными металлическими предметами и оборудованием станции некоторые участники ВКД обращали внимание на появление у них умеренного холодового дискомфорта в области кистей.

Одной из важных задач медицинской поддержки ВКД является разработка мероприятий по надёжной защите экипажа от развития высотной декомпрессионной болезни (ВДБ). Актуальность этой задачи обусловлена тем обстоятельством, что для обеспечения удовлетворительной подвижности космонавта, облачённого в скафандр для ВКД, в скафандре поддерживается более низкое давление, чем давление в кабине пилотируемого космического объекта. Поэтому процедура перехода космонавта из атмосферы космического корабля или станции на режим рабочего давления скафандра неизбежно связана с декомпрессией и, следовательно, созданием условий для появления в крови и тканях газовых пузырьков, являющихся причиной возникновения ВДБ. Как известно, самыми частыми симптомами ВДБ являются боли в конечностях различной интенсивности [7], возникновение которых может стать причиной невыполнения программы ВКД. Однако в ряде случаев при ВДБ возможно развитие тяжёлых системных нарушений с поражением центральной нервной системы, расстройством дыхания и кровообращения [8, 9], которые могут приводить к стойкому нарушению здоровья и даже летальному исходу [10].

Один из возможных путей решения этой проблемы — использование скафандра с более низким уровнем рабочего давления, как, например,



Члены экипажа 37-й экспедиции на МКС космонавты О.В. Котов и С.М. Рязанский в открытом космосе

это имело место при реализации серии лунных экспедиций по программе “Аполлон”. Однако поддержание в скафандре более низкого давления приведёт к значительному повышению риска возникновения ВДБ при переходе экипажа из нормобарической атмосферы космического корабля. Таким образом, дальнейшая разработка данного направления сохраняет свою актуальность, в частности, при обосновании декомпрессионной безопасности при пилотируемых полётах на Марс.

Все выполненные к настоящему времени выходы в открытый космос из российских космических кораблей и орбитальных станций, включая 45 выходов с борта МКС, завершились успешно, без развития симптомов ВДБ. По расчётам на основе общего числа реально проведённых ВКД и наземных экспериментов, выполненных по моделированию ВКД с использованием скафандра в вакуумной камере, было установлено, что российский протокол предотвращает возникновение ВДБ у космонавтов с надёжностью не ниже 0.995 при доверительном уровне вероятности 0.95 [11]. Необходимо особо подчеркнуть, что такой результат достигнут на фоне весьма непродолжительной подготовки к ВКД — лишь 30 минут целенаправленной денитрогенации организма. При этом начальная величина коэффициента перенасыщения тканей организма азотом составляла от 1.64 до 1.93 в зависимости от конкретного газового состава и давления в жилых отсеках космического объекта в день ВКД и давления в скафандре.

Однако отсутствие случаев возникновения ВДБ при выходах в открытый космос в скафандрах как “Орлан”, так и “ЕМУ” ещё не означает, что проведение этих операций по принятым в России и США протоколам безопасно. Имитация ВКД в скафандре с уровнем рабочего давления 320 мм рт.ст. не исключает возможности форми-

рования в организме “немых” газовых пузырьков, которые в ряде случаев удаётся обнаружить в венозном кровотоке ультразвуковой доплеровской аппаратурой. Ещё более вероятным представляется возникновение ВДБ у космонавтов и астронавтов в случае нарушения по каким-либо причинам штатного протокола проведения ВКД, как, например, при сокращении длительности десатурации организма или при нештатном снижении давления в скафандре.

При диагностировании симптомов декомпрессионной болезни во время ВКД принимается решение о прекращении работ, срочном возвращении в шлюзовую отсек орбитальной станции, обратном шлюзовании и переходе к давлению жилого отсека. Как показывают результаты исследований, выполненных в барокамере, в большинстве случаев такого повышения давления (в сочетании с дыханием чистым кислородом) оказывается вполне достаточно для быстрой ликвидации симптомов ВДБ и достижения полного терапевтического эффекта.

Рациональная структура режима труда и отдыха (РТО) является важным средством поддержания оптимального уровня работоспособности экипажа в космических полётах большой продолжительности. Для организации РТО на этапе подготовки и выполнения ВКД с российского сегмента МКС использовался опыт, накопленный при выполнении ВКД в длительных полётах на орбитальном комплексе “Мир”. В сутки проведения ВКД режим космонавтов строится с учётом продолжительности сеансов связи экипажа с ЦУПом и условий освещённости на орбите. Весь рабочий день подчинён целям предстоящего выхода в открытый космос. Деятельность космонавтов можно условно разделить на следующие этапы:

- проведение подготовительных операций (осмотр МКС, утренний медицинский контроль,

подготовка рабочего отсека и транспортного корабля, закрытие люков МКС, надевание снаряжения, проверка герметичности скафандров, преоксигенация, прямое шлюзование);

- работа в открытом космосе;

- проведение заключительных операций (обратное шлюзование, выход из скафандров, медицинский контроль, приведение рабочего отсека и транспортного корабля в исходное состояние, сушка и замена сменных элементов скафандров).

В зависимости от полётной программы РТО пересматривался по усмотрению экипажа однократно или на 1–2 часа в сутки. В случае ночных сеансов ВКД экипажу после обеда предоставлялось дополнительное личное время для отдыха. Однако далеко не все космонавты могли использовать его для сна. У некоторых из них отмечалось доминирование привычного суточного стереотипа. Высказывались замечания типа “природу не обманешь”, “с трудом привыкаем”, “нет желания выполнять физические упражнения”.

В целом можно заключить, что работа экипажей на этапе подготовки и осуществления ВКД часто сочетается с нарушением привычного суточного распорядка, пролонгированным рабочим днём, ограниченностью времени для отдыха, увеличением интервалов между приёмами пищи, выполнением рабочих операций в ночные часы. При обосновании рекомендаций на перспективу необходимо иметь в виду, что любые эпизоды ночной работы, даже если она проводится на фоне самого лучшего суточного распорядка, предусматривающего достаточную продолжительность предшествующего ночного сна, оптимальный режим питания, отдых в день перед ночным сеансом ВКД, выполняются в состоянии естественного снижения функциональных возможностей организма, обусловленного суточной ритмичностью его активности. Поэтому нагрузки, которые приходится переносить в ночные часы, требуют более высокого по сравнению с дневными часами напряжения функциональных систем организма, повышают вероятность ошибочных решений и действий.

Таким образом, необходимо отметить, что выходы в открытый космос, проведённые с борта российского сегмента МКС на различных этапах длительных полётов, завершились успешно. Физиологические реакции участников ВКД были адекватны характеру выполняемой работы и степени психофизиологической напряжённости. Используемая система медицинского сопровождения ВКД позволяла оперативно оценивать состояние здоровья космонавтов, прогнозировать и предупреждать развитие неблагоприятных состо-

яний. Полученные данные могут быть использованы для разработки концепции медицинского сопровождения ВКД в предстоящих межпланетных пилотируемых полётах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Батурин Ю.М. Мировая пилотируемая космонавтика: История. Техника. Люди. М.: РТС-софт, 2005.
2. Циолковский К.Э. Труды по космонавтике: Исследование мировых пространств реактивными приборами (1926). М.: Машиностроение, 1967.
3. Мак-Барон П.Д., Витсетт Ч., Северин Г.И., Абрамов И.П. Индивидуальные системы жизнеобеспечения космонавтов: Обеспечение внекорабельной деятельности // Космическая биология и медицина: Обитаемость космических летательных аппаратов / Ред. Генин А.М., Салзман Ф. Т. 2. М.: Наука, 1994. С. 389–460.
4. Катунцев В.П., Осипов Ю.Ю., Гноевая Н.К. и др. Медицинское обеспечение внекорабельной деятельности космонавтов. Орбитальная станция “Мир” // Космическая биология и медицина. Т. 1. М.: ГНЦ РФ ИМБП РАН, 2001. С. 482–499.
5. Катунцев В.П., Осипов Ю.Ю., Гернхардт М.Л. и др. Внекорабельная деятельность // Космическая биология и медицина. Российско-американское сотрудничество в области космической биологии и медицины. Т. 5. М.: Наука, 2009. С. 283–352.
6. Катунцев В.П., Осипов Ю.Ю., Барер А.С. и др. Медицинское обеспечение внекорабельной деятельности. Международная космическая станция, российский сегмент // Космическая биология и медицина. Т. 1. М.: ГНЦ РФ ИМБП РАН, 2011. С. 196–213.
7. Граменицкий П.М. Декомпрессионные расстройства // Проблемы космической биологии / Под ред. Черниговского В.Н. Т. 25. М.: Наука, 1974.
8. Davis J.C., Sheffield P.J., Schuknecht L., et al. Altitude decompression sickness: Hyperbaric therapy results in 145 cases // Aviat. Space Environ. Med. 1977. V. 48. № 8.
9. Катунцев В.П., Щербакова М.А. Лёгочная форма декомпрессионной болезни: анализ 29 случаев возникновения у человека при подъёмах в барокамере // Космич. биол. и авиакосмич. мед. 1994. Т. 28. № 3.
10. Dixon J.P. Death from altitude-induced decompression sickness: major pathophysiological factors // The Proceedings of the 1990 hypobaric decompression sickness workshop / Ed. by A.A. Pilmanis. Air Force System Command. Brooks Air Force Base. Texas 78235-5000. 1992. P. 97–106.
11. Barer A.S. Physiological and medical aspects of the EVA. The Russian experience // SAE Technical Series. № 951591. 25<sup>th</sup> International Conference on Environmental Systems. San Diego, California. July 10–13. 1995.