

**MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ENVIRONMENT
OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION**

Natalia D. Novikova, Svetlana V. Poddubko, Elena A. Deshevaya

State Scientific Center of Russian Federation – Institute for Biomedical Problems of
the Russian Academy of Sciences, 76A, Khoroshevskoye shosse, Moscow, 123007, Russia

Abstract

Microorganisms, the automicrobiota in humans, and also the residents of soil, water, and air, all isolated from the biosphere existing within the boundaries of a hermetically-sealed space, are the constant ecological partners of humans during manned space flight. As a result of their metabolic processes, they are capable of causing biodeterioration of polymers and biocorrosion of metals. In our opinion, all the above gives enough evidence of the necessity to develop a system which can enable regulation (prediction) of technical risks consequent to development of microorganisms on board long-orbiting space vehicle.

Key words: orbital, space station, microorganisms, monitoring, biodeterioration of polymers and biocorrosion of metals, antimicrobial protection,

1. ВВЕДЕНИЕ

По мере возрастания продолжительности работы экипажа на борту орбитальных комплексов и общих сроков их непрерывной эксплуатации существенно возрастает значение эколого - гигиенических проблем обитаемости космических объектов, среди которых важнейшее место занимает микробиологический фактор.

Как известно, микроорганизмы обладают целым рядом свойств, которые существенно их отличают от других форм жизни на Земле. Их отличает беспрецедентная многочисленность и разнообразие видов, исключительная жизнеспособность и пластичность, повсеместность распространения, обширность сфер взаимодействия с абиогенными и биогенными компонентами среды обитания, а также масштабность влияния на последнюю, включая геологическую деятельность и кардинальную роль в биологически важных круговоротах материи на Земле [1, 2].

Поразительна жизнеспособность микроорганизмов и их устойчивость к воздействию экстремальных факторов окружающей среды. Многие из них способны выживать в условиях, приспособиться к которым не могут другие организмы [3,4].

Микроорганизмы способны вступать с организмом человека в разнообразное взаимодействие - от таких форм симбиоза, как мутуализм, до таких проявлений паразитизма, как генерализованные инфекции с летальным исходом [5].

Знаменательно, что микроорганизмы ведут себя так, как будто у них есть определенная цель. Такое поведение характерно для всех живых организмов и его называют целесообразным или телеономическим поведением. Совокупность протекающих в них процессов кажется направленной на выполнение предначертанного плана. Применительно к миру микробов, цель этого плана - организовать доступные для клетки в настоящий момент питательные вещества

для образования двух клеток из одной с максимально возможной скоростью. В этой связи следует подчеркнуть еще одну важнейшую особенность, присущую микроорганизмам. Это способность расщеплять разнообразные химически соединения, так называемая "микробная всеядность". Имеется в виду принципиальная возможность существования некоего микроорганизма, способного при подходящих условиях окислять любое вещество, теоретически способное к окислению.

В контексте рассматриваемой проблемы большое значение имеет такая особенность, присущая микроорганизмам, как пластичность метаболизма. Если у высших растений и животных изменения обмена веществ относительно жестко ограничены имеющимся набором ферментов, то микроорганизмы в этом отношении отличаются несравненно большей гибкостью. В результате этого они приобретают исключительную способность адаптации (приспособления) к изменяющимся условиям внешней среды. При этом, что очень важно, необходимые им ферменты (например, служащие для переработки питательных веществ) синтезируются только тогда, когда соответствующее вещество появляется вблизи клетки.

Рассматривая взаимоотношения мира микроорганизмов с факторами техногенного воздействия, наряду с исключительной способностью бактерий и грибов к фенотипической адаптации (приспособлению к измененным условиям среды), следует учитывать также их подверженность генотипическим изменениям.

На основе вышеизложенного становится совершенно очевидной необходимость иметь представление о возможных сценариях реакций со стороны мира микроорганизмов, вступающих во взаимодействие с искусственными модификациями условий их обитания, возникающими в результате появления новых технологий в наш век, характеризующийся фантастическим научно-техническим прогрессом.

Принимая во внимание повсеместную распространенность микроорганизмов в окружающей среде, следует ожидать присутствия самых разнообразных видов бактерий и грибов в кабинах пилотируемых космических объектов.

Так, в ряде работ российских и американских ученых [6, 7], опубликованных еще в прошлом веке, приводятся данные об обнаружении различных микроорганизмов в воздухе, на поверхностях интерьера и оборудования и в регенерированной воде при эксплуатации космических объектов и в стендовых экспериментах. Специалистами НАСА – космического центра им.Л. Джонсона [8] среди микроорганизмов, выделенных из среды обитания пилотируемых космических аппаратов, обнаружены представители аутомикрофлоры человека. Этими же авторами в воздухе и на внутренних поверхностях выявлены условно патогенные виды бактерий – *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*. Другими работами [9,10] показан значительный удельный вес в формировании микрофлоры кабин космических объектов плесневых грибов – микромицетов.

Вместе с тем, необходимо отметить, что опубликованные данные касаются структуры и характера формирования микроорганизмов в среде обитания пилотируемых космических объектов основаны на фрагментарных исследованиях, не охватывающих длительные периоды функционирования космических объектов, таких как орбитальная станция «Мир» или Международная космическая станция (МКС).

2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В СРЕДЕ МКС

Важно понимать, что микроэкосфера кабин космических объектов, т.е. вся совокупность бактерий и грибов с присущими им трофическими связями, местообитанием которых является рассматриваемый замкнутый объем, формируется за счет четырех основных источников.

Прежде всего, следует обратить внимание на такой мощный резервуар и постоянный источник выделения микроорганизмов в среду космического объекта, как аутомикрофлора членов экипажа. Аутомикрофлора человека довольно хорошо изучена, она включает, в первую очередь, комменсалов - постоянных обитателей основных биотопов его организма: слизистых оболочек полости носа, полости рта и зева, верхних дыхательных путей, кожных покровов, кишечника. Как правило, эти микроорганизмы обладают хорошо выраженной тропностью по отношению к соответствующему биотопу и, в большинстве случаев, не обладают способностью к независимому сапрофитическому существованию в окружающей человека среде. Эта микрофлора выполняет в организме человека целый ряд полезных и необходимых функций, а именно - защитную, иммуностимулирующую, витаминообразующую, пищеварительную и т. п., и ее астенизация, подавление, вызывающее нарушение микроэкологического баланса, являются крайне нежелательными.

В составе аутомикрофлоры здорового человека, как правило, представлен и условно патогенный компонент. Его патогенность определяется потенциальной способностью вызывать, так называемые, оппортунистические инфекции, обязательным условием возникновения которых является снижение локального или общего иммунитета макроорганизма. В первую очередь, речь идет о таких представителях условно патогенного компонента, как стафилококки (например, *Staphylococcus aureus*), стрептококки, ряд энтеробактерий, клостридии и т. п. В этом отношении следует указать на такую группу риска, как здоровые носители (постоянные или транзиторные) патогенных стафилококков (*Staphylococcus aureus*) на слизистых оболочках полости носа, полости рта или кожных покровах. По имеющимся данным [11], по крайней мере, транзиторными носителями патогенных стафилококков могут являться до 72% членов экипажей космических объектов. Появление же в составе членов экипажа носителей возбудителей острозаразных инфекций должно быть полностью исключено в процессе отбора космонавтов и их предполетной подготовки.

Вторая составляющая, из которой складывается микробное сообщество кабины космического объекта, - это исходная микробиота декоративно-отделочных и конструкционных материалов его интерьера, оснащения и оборудования. В этом отношении основная роль принадлежит синтетическим полимерным материалам различных классов (до 500 наименований), которые широко используются в обитаемых гермокабинах. Это полиамиды и полиимиды, фторопласты, поливинилхлориды, полиэфиры, полистиролы, полиэтилентерефталаты, поликарбонаты, лаки и лако-красочные покрытия, клеи, компаунды, резины, стеклопластики, композиционные материалы и др. Как известно [12], многие из этих материалов подвержены заселению бактериально-грибными ассоциациями в процессе их производства и применения в составе конкретных изделий.

Микробная контаминация интерьера и оборудования космических объектов имеет место на этапах их сборки, а также при проведении монтажных работ и комплектации в ходе предполетной подготовки. Занос микроорганизмов в замкнутый объем космического объекта может происходить при осуществлении грузопотоков с Земли транспортными кораблями, при строительстве и эксплуатации космического объекта на околоземной орбите.

Для удобства анализа состава микрофлоры, формирующейся за счет перечисленных выше источников, могут быть условно выделены четыре группы микроорганизмов:

- 1) облигатные возбудители инфекционных заболеваний;
- 2) потенциально патогенные бактерии;
- 3) бактерии и грибы, так называемые "патогенные сапрофиты";
- 4) бактерии и грибы – биодеструкторы (технофилы).

Что касается первой из выделенных групп микроорганизмов (например, *Legionella pneumophila*, *Shigella-Salmonella* sp.), то появление их в среде обитания космического объекта маловероятно и является "чрезвычайным происшествием", служащим основанием для проведения экстраординарных противоэпидемических и дезинфекционных мероприятий. При этом с высокой вероятностью может возникнуть такая ситуация, когда дальнейшая эксплуатация данного космического объекта станет невозможной. Однако, углубленный медицинский контроль членов экипажа, включающий микробиологические обследования и ограничительно-наблюдательный режим в предстартовый период, практически исключает возможность заноса микроорганизмов первой группы в среду космического объекта.

В отличие от этого, микроорганизмы, относящиеся ко второй, третьей и четвертой группам, в силу своей широкой распространенности в различных природных резервуарах (воздух, вода, почва), а также высокой встречаемости в составе аутомикрофлоры здоровых людей, практически постоянно присутствуют в составе микрофлоры кабин действующих космических объектов и, следовательно, могут рассматриваться в качестве обязательного компонента формирующейся в этих условиях микроэкосферы.

Основным местообитанием второй группы микроорганизмов – потенциально патогенных бактерий являются основные биотопы человеческого организма (пищеварительный тракт, слизистые оболочки верхних дыхательных путей, кожные покровы). Вместе с тем, они легко распространяются в окружающей среде и обладают комплексом агрессивных факторов, детерминирующих их способность вызывать при определенных условиях патологические процессы у человека. К таким условиям, в первую очередь, относятся иммунодефицитные состояния организма, возникающие в результате общей астенизации или локальных повреждений за счет каких-либо неспецифических травмирующих факторов. К данной группе микроорганизмов относятся представители родов *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Klebsiella*, *Bacteroides* и другие.

В отличие от этого, основным местообитанием третьей группы микроорганизмов, так называемых "патогенных сапрофитов", является окружающая среда. Для природных условий – это вода, почва, а для условий герметично замкнутых объектов – различные влагосодержащие субстраты, материалы, подвергнутые биогенному загрязнению, системы регенерации продуктов жизнедеятельности человека и т.п. Вместе с тем, при попадании из этих внешних резервуаров в организм человека представители этой группы микроорганизмов также способны вызывать у него при определенных условиях (высокая доза заражения, иммунодефицитное состояние) патологические процессы, в том числе в тяжелых формах. В качестве примера могут быть приведены такие виды патологии как: синегнойная инфекция (возбудитель *Pseudomonas aeruginosa*), аспергиллезы, фузариозы и другие микоинтоксикации.

Четвертая группа микроорганизмов – биодеструкторы, технофилы, имеет прямое отношение к такой важной характеристике космической техники, как безопасность и надежность. Известно, что микроорганизмы способны заражать материалы, приборы и оборудование в процессе

изготовления, хранения и транспортировки, а также в условиях эксплуатации. В результате жизнедеятельности микроорганизмов может изменяться цвет полимеров, снижаться механическая прочность, диэлектрические и другие характеристики [13]. Имеются многочисленные сведения о микробиологических повреждениях резиновых уплотнителей, оптических стекол, бумаги, кино- и фотопленки, топлива и даже металлов [14, 15].

Следует подчеркнуть, что разделение микроорганизмов, участвующих в формировании микрокосферы замкнутого объема космического объекта, на отдельные группы является весьма условным и использовано в данном случае для того, чтобы получить общее представление о факторах микробиологического риска, присущих длительному космическому полету.

В связи с вышеизложенным, очевидна актуальность исследований особенностей формирования и поведения микрофлоры в пилотируемом космическом объекте и, в частности, на МКС, с оценкой рисков, сопутствующих жизнедеятельности микроорганизмов в среде обитания. Получение таких данных является необходимым условием для создания научно-обоснованной системы экологического мониторинга и противомикробной защиты применительно к будущим космическим полетам. В данной работе представлены результаты, полученные в процессе работы на борту МКС первых двадцати основных экспедиций.

3. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В течение многолетней непрерывной эксплуатации МКС регулярно проводится микробиологический контроль состояния воздушной среды и поверхностей интерьера и оборудования обитаемых отсеков.

Изучение аэрозольной фазы обитаемых отсеков МКС проводится в рамках бортовой штатной методики "Контроль микрокосферы среды обитания" (МО-21).

Отбор микрофлоры воздуха проводится обычно не реже чем 1 раз в 3 месяца.

Российский комплект "Экосфера" включает в себя воздушный пробоотборник SAS фирмы PBI International, адаптированный к условиям полета, осуществляющий забор воздушных проб аспирационно-седиментационным методом, наборы чашек Петри с питательными средами: среда №1 триптиказо-соевый агар – для выделения бактерий и среда № 2 среда Чапека – для выделения плесневых форм грибов, холодильник - термостат «Криогем-03» и вкладыш с перечнем зон, в которых проводится отбор проб (рис.1).

Комплекты аппаратуры имеются на борту МКС, а наборы чашек Петри с питательными средами доставляются на орбитальный комплекс по мере их расходования с грузовыми транспортными кораблями. Исследование микрофлоры воздуха МКС (инкубирование посевов, учет результатов) производится экипажем непосредственно на борту с передачей полученной информации на Землю по радиоканалам.

Для получения более полного представления о видовой структуре микроорганизмов, а также для выделения тест-культур микроорганизмов с целью их изучения, формирования коллекций штаммов для дальнейшего исследования также проводится забор проб воздуха за 1-2 дня до расстыковки транспортного корабля с орбитальным комплексом. После этого производится доставка чашек Петри с посевами микроорганизмов на Землю для дальнейших исследований.



а) холодильник – термостат «Криогем – 03»

б) Комплект «Экосфера»

Рис.1. Оборудование, используемое для отбора микробиологических проб воздуха МКС

Для санитарно-микробиологической оценки поверхностей МКС на борту станции проводится отбор проб с интерьера и оборудования в рамках бортовой штатной методики «Контроль санитарно-эпидемиологического состояния» (МО-22). Отбор проб проводится за 1-2 дня до окончания работы каждой экспедиции. Отбор проб микрофлоры поверхностей интерьера, оснащения и оборудования осуществляется с помощью "Укладок с пробирками для взятия микробиологических проб", которые доставляются на МКС на грузовых транспортных кораблях перед началом или в процессе экспедиции. Комплект "Укладки с пробирками" представляет собой чехол с закрепленными в нем фторопластовыми пробирками с тампонами, пропитанными консервантом, и вкладышем с перечнем зон для отбора проб (рис.2).

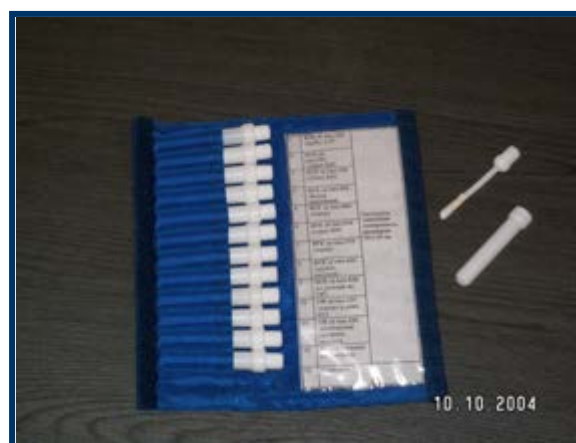


Рис.2. Оборудование, используемое для отбора микробиологических проб поверхностей интерьера и оборудования МКС

Отбор проб проводится методом смыва с поверхности площадью 10см x 10см. Доставка использованных "Укладок с пробирками" с уже отобранными пробами на Землю для проведения лабораторных исследований осуществляется при возвращении сменяемого экипажа.

В лаборатории проводится посев проб, отобранных с помощью "Укладки с пробирками", на поверхности питательных сред, разлитых в чашки Петри. Для каждой пробы используется набор элективных и дифференциально-диагностических сред.

После инкубирования посевов в термостате для бактерий - при 37°C в течение 48 часов, а для грибов - при 28°C в течение 5-7 суток производится учет выросших на чашках колоний. Из колоний бактерий каждого морфологического типа осуществляется забор материала для окрашивания их по Граму. Идентификация бактерий проводится с помощью автоматизированной системы Vitek-60 производства Bio Merieux (Франция).

После учета колоний грибов и маркирования отдельных видов и штаммов производится их пересев на специальные среды для проведения идентификации. Для идентификации выделенных штаммов микромицетов используются отечественные и зарубежные определители грибов, идентификация дрожжей и дрожжеподобных грибов проводится с помощью автоматизированного микробиологического анализатора Vitek-60.

По результатам мониторинга микрофлоры среды МКС российская сторона готовит заключения, которые передаются членам рабочей группы по среде обитания. В том случае, если в какой-либо зоне имеет место превышение нормативного показателя содержания микроорганизмов, регламентируемого документом International Space Station Medical Operations Requirements Documents, на борт посылается радиограмма с рекомендациями по санитарной обработке этой зоны.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В начальный период эксплуатации МКС был принят и введен в действие документ-International Space Station Medical Operations Requirements Documents [16], включающий нормативные требования и регламенты контроля микробиологической обстановки на этапах предполетной подготовки и в процессе полета.

Согласно этому документу, который узаконил ранее разработанные проектные требования и инструктивно-методическую документацию, микробиологическая безопасность газовой среды в обитаемых отсеках МКС должна обеспечиваться поддержанием уровня ее микробной обсемененности не выше допустимых показателей:

- бактерии - 1000 колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 м³;
- грибы - 100 КОЕ в 1 м³;

Для поверхностей интерьера и оборудования эти показатели следующие:

- бактерии - 10000 КОЕ на 100 см²;
- грибы – 100 КОЕ на 100 см².

При этом в составе микрофлоры должны отсутствовать патогенные бактерии и грибы - микромицеты.

В процессе многолетней эксплуатации Международной космической станции регулярно проводились исследования количественного содержания и видового состава микроорганизмов,

формирующихся в обитаемых отсеках. Всего в среде обитания орбитального комплекса в процессе работы 20 основных экспедиций было обнаружено 80 видов микроорганизмов, из них 45 видов бактерий и 35 видов грибов.

4.1. Характеристика бактерий, обнаруженных в среде обитания МКС

За период с 1 по 20 экспедиции была отобрана 291 проба воздуха. В 199 пробах были обнаружены бактерии (68,4% от общего числа отобранных проб). За этот же период были отобраны 273 пробы с поверхностей интерьера и оборудования. Из них в 232 пробе были обнаружены бактерии. (85% от общего числа отобранных проб). В 49 пробах отмечено содержание бактерий до 10×10^4 колониеобразующих единиц (КОЕ) на 100 см^2 , в 5 пробах - до $1,0 \times 10^5$ КОЕ и в 3 пробах - до $1,0 \times 10^6$ КОЕ.

В период эксплуатации МКС бактериальная обсемененность воздушной среды оставалась относительно стабильной и во всех отобранных пробах не превышала рекомендуемый нормативный показатель, что, по-видимому, было связано с эффективной работой установки «Поток 150МК», предназначенной для очистки воздуха от аэрозольных частиц и микроорганизмов.

В свою очередь динамика содержания бактерий на поверхностях интерьера и оборудования носила волнообразный характер. В разные периоды отбора проб колебания численности микроорганизмов по частоте возникновения и диапазону изменений существенно отличались.

Для систематизации бактерий, выделенных из среды обитания МКС, использовали классификацию, изложенную в определителе бактерий - Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, Ninth Edition, 1994. Видовой состав бактерий отличался значительным разнообразием. Было определено 18 родов и 45 видов бактерий.

В составе бактериальной флоры доминировали постоянные обитатели слизистых оболочек и кожных покровов человека - представители родов *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Micrococcus*. Источниками контаминации среды обитания этими микроорганизмами являлись сменяющиеся члены экипажей. Помимо типичных представителей аутомикрофлоры человека, в среде обитания МКС часто обнаруживали спорообразующие бактерии рода *Bacillus* - обитатели природных резервуаров, а также периодически определяли условно - патогенные виды - возбудители оппортунистических инфекций (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* sp.).

Среди бактерий, выделенных из среды обитания МКС, также встречались микроорганизмы, известные по литературным данным [17], в качестве активных биодеструкторов материалов различного химического строения.

Частота обнаружения различных видов бактерий в среде обитания МКС представлена в таблице 1.

Из полученных данных следует, что наиболее часто встречаемыми видами были *Staphylococcus auricularis* (25,6%) и *Staphylococcus epidermidis* (24,1%). На втором месте после стафилококков по частоте встречаемости находились грамположительные спорообразующие палочки и прежде всего *Bacillus subtilis* (12,8%) и *Bacillus sphaericus* (11,0%).

Таблица 1. Частота обнаружения бактерий в среде обитания МКС (в % от числа проб)

№/№ п/п	Видовой состав	Поверхности	Воздух
1	Acinetobacter lwoffii,	3,6	0,3
2	Acinetobacter species		0,3
3	Alcaligenes xylosoxidans		0,3
4	Flavimonas oryzihabitans	0,7	
5	Flavobacterium indologenes	1,0	
6	Pseudomonas stutzeri	2,9	
7	Xanthomonas maltophilia		0,3
8	Enterobacter cloacae	0,7	
9	Enterobacter aerogenes		0,3
10	Pantoea agglomerans	2,1	
11	Providencia rettgeri	0,4	
12	Actinobacillus ureae	1,0	0,3
13	Eikenella corrodens	2,9	
14	Gemella morbillorum	0,4	
15	Micrococcus luteus	3,6	
16	Micrococcus roseus	1,0	0,3
17	Micrococcus species	8,7	1,3
18	Staphylococcus aureus	2,9	2,4
19	Staphylococcus auricularis	25,6	9,2
20	Staphylococcus capitis	6,9	2,7
21	Staphylococcus cohnii	2,5	1,7
22	Staphylococcus epidermidis	24,1	12,3
23	Staphylococcus haemolyticus	2,2	2,7
24	Staphylococcus hominis	13,5	9,6
25	Staphylococcus lentus	0,7	
26	Staphylococcus saprophyticus	1,8	0,3
27	Staphylococcus sciuri	1,0	
28	Staphylococcus simulans	7,0	1,3
29	Staphylococcus warneri	5,1	1,3
30	Staphylococcus xylosus	2,2	
31	Staphylococcus species	1,4	4,8

32	Streptococcus agalactiae	0,4	
33	Streptococcus salivarius	0,7	
34	Streptococcus species		1,0
35	Streptococcus constellatus	0,4	
36	Bacillus cereus	1,0	
37	Bacillus licheniformis	4,0	
38	Bacillus megaterium	0,7	0,3
39	Bacillus pumilus	6,2	0,3
40	Bacillus sphaericus	11,0	2,4
41	Bacillus subtilis	12,8	0,3
42	Bacillus thuringiensis	1,4	0,6
43	Bacillus species	0,3	
44	Corynebacterium xerosis	0,3	0,3
45	Corynebacterium species	5,4	0,3

4.2. Характеристика грибов, обнаруженных в среде обитания МКС

Из 476 проб, взятых для изучения микромицетов среды МКС (воздух, поверхности), грибы обнаружены в 121 пробе, что составляет 25,4 % от общего числа проб.

Содержание в воздушной среде представителей грибной флоры колебалось от $1,1 \times 10^1$ КОЕ до $3,0 \times 10^3$ КОЕ в 1 м^3 . Наибольшая численность спор грибов в воздухе была выявлена в период работы экспедиций МКС-15 и МКС-16 в Служебном модуле. Положительное влияние на показатели обсемененности воздушной среды микромицетами оказывала работа установки "Поток 150МК", предназначенной для очистки воздуха от аэрозольных частиц и микроорганизмов.

Численность микромицетов на поверхностях интерьера и оборудования МКС в разные периоды отбора проб колебалась от $2,5 \times 10^1$ -до $3,0 \times 10^5$ КОЕ на 100 см^2 .

Как показали проведенные исследования, наибольшая численность жизнеспособных фрагментов грибов отмечалась в период работы на МКС 7-9 основных экспедиций и имела место на вентиляционной решетке, размещенной в Служебном модуле и на панелях в Функциональном грузовом блоке. Эффективное использование дезинфекционных средств позволило снизить уровень грибной загрязненности поверхностей МКС.

Вместе с тем, периодически регистрируемые возрастания уровней обсемененности конструкционных материалов интерьера и оборудования МКС плесневыми грибами не носили линейно-прогрессирующего характера и поддавались коррекции в результате осушки, механического удаления избытка влаги с поверхностей и применения средств санитарной обработки.

Для систематизации видов грибов, обнаруженных в среде обитания МКС, использовали классификацию грибов, принятую в Микологическом словаре (8-е издание) [18].

В соответствии с этой классификацией, грибной комплекс космической станции формировали представители 2 отделов и 6 классов грибов: Eurotiomycetes, Saccharomycetes, Dothideomycetes, Sordariomycetes, Tremellomycetes и Microbotryomycetes, объединяющих 12 родов. Среди грибов,

выявленных в среде обитания МКС, наибольшим видовым разнообразием характеризовались представители несовершенных грибов (табл.2).

Таблица 2. Количество видов грибов, обнаруженных в среде обитания МКС

№	Родовой состав	Количество видов		
		Всего	Поверхности	Воздух
1	Aspergillus	15	9	5
2	Penicillium	7	5	4
3	Cladosporium	3	3	1
4	Candida	2	2	-
5	Cryptococcus	1	1	-
6	Geotrichum	1	1	1
7	Saccharomyces	1	1	1
8	Lipomyces	1	1	1
9	Phoma	1	1	-
10	Rhodotorula	1	1	1
11	Scopulariopsis	1	1	-
12	Ulocladium	1	1	1

Как видно из представленных в таблице 2 данных, видовой состав микромицетов включал 35 видов, среди которых доминировали аспергиллы и пенициллы. Наибольшее число видов грибов было изолировано с поверхностей интерьера и оборудования станции - 27 видов, тогда как в воздухе выявлено лишь 15 видов. Как в воздухе, так и на поверхностях конструкционных материалов помимо грибов периодически обнаруживали дрожжи –*Lipomyces*, *Rhodotorula*.

Частота встречаемости почти всех родов грибов на поверхностях декоративно-отделочных и конструкционных материалов была выше, чем в воздухе станции, исключение составляли *Penicillium*, *Ulocladium* и *Geotrichum*., частота обнаружения которых была выше в воздушной среде.

Частота обнаружения некоторых видов грибов представлена в таблице 3.

Как следует из этих данных, по частоте обнаружения на поверхностях орбитального комплекса доминировали виды *Aspergillus phoenicis* (7,8%) *Penicillium aurantiogriseum* (2,6%), *Aspergillus sydowi* (2,6%) и *Penicillium expansum* (2,6%) . Из воздушной среды наиболее часто выделяли представителей вида грибов *Aspergillus versicolor* (5,4%), *Penicillium crustosum* (5,4%), *Ulocladium botrytis* (4,7%) и *Asregillus flavus* (4,0%).

Среди грибов, выделенных из среды обитания МКС, встречались виды микромицетов, относящиеся к условно патогенным, способным при определенных условиях и, прежде всего, на фоне снижения иммунитета, вызывать различные патологические процессы у человека (токсико-аллергические заболевания, микозы и др.).

Таблица 3. Частота обнаружения отдельных представителей микрофлоры в среде МКС
(в % от числа проб)

№	Вид гриба	На поверхностях	В воздухе
1	<i>Aspergillus phoenicis</i>	7,8	-
2	<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	2,6	1,3
3	<i>Aspergillus sydowii</i>	2,6	-
4	<i>Penicillium expansum</i>	2,6	1,3
5	<i>Aspergillus niger</i>	1,9	0,6
6	<i>Ulocladium botrytis</i>	1,9	4,7
7	<i>Aspergillus versicolor</i>	1,3	5,4
8	<i>Sacharomyces species</i>	1,3	0,6
9	<i>Aspergillus flavus</i>	0,9	4,0
10	<i>Aspergillus ustus</i>	0,9	0,6
11	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	0,9	-
12	<i>Rhodotorula glutinis</i>	0,9	0,6
13	<i>Candida species</i>	0,9	-
14	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	0,6	-
15	<i>Aspergillus ustus</i>	0,6	-
16	<i>Geotrichum candidum</i>	0,6	1,3
17	<i>Penicillium crustosum</i>	0,6	5,4
18	<i>Penicillium italicum</i>	0,6	-
19	<i>Cryptococcus albidus</i>	0,6	-
20	<i>Aspergillus ochraceus</i>	0,3	0,6
21	<i>Cladosporium tenuissimum</i>	0,3	0,6
22	<i>Lipomyces species</i>	0,3	0,6

Из 35 видов грибов, выделенных из среды обитания МКС, к условно патогенным относятся 10 видов, что составляет 28,5% от общего числа обнаруженных видов, из которых 8 видов являются возбудителями аллергических процессов, 7 видов - потенциальные возбудители микозов, 4 вида – активные токсинообразователи. Отдельные из указанных в таблице 3 видов, согласно российской классификации, относятся к 4 группе патогенных для человека микроорганизмов. Исключение составляет *Aspergillus flavus*, являющийся представителем 3 группы, который наиболее часто выделялся из воздушной среды.

Следует отметить, что указанные грибы – космополиты; встречаются на всех континентах, развиваются на органических субстратах, в почве и на растениях, споры их постоянно попадают в воздух. Однако микозы, вызываемые условно патогенными грибами, как правило, развиваются при серьезном ослаблении защитных сил организма. Наиболее часто в качестве предрасполагающих и провоцирующих факторов выступают хронические заболевания,

длительное лечение антибиотиками широкого спектра действия, стероидная терапия, врожденные или приобретенные иммунодефицитные состояния, лейкоз, злокачественные опухоли, гормональные и обменные нарушения и др.

Среди микромицетов, выделенных из среды МКС, значительный удельный вес занимали плесневые грибы, известные как активные биодеструкторы материалов различного химического строения. Так, более 60% микромицетов обнаруженных на внутренних поверхностях станции, способны участвовать в процессах биоповреждений полимерных материалов, а такие виды, как *Aspergillus niger*, *Penicillium aurantiogriseum* и *Cladosporium herbarum* кроме того являются потенциальными агентами биокоррозии металлов, выделяющими в процессе роста "агрессивные" продукты жизнедеятельности, за счет которых на поверхности металлов создаются коррозионно-агрессивные среды.

Таким образом, большинство видов грибов, обнаруженных на поверхностях Международной космической станции, относятся к потенциальным биодеструкторам полимерных материалов и к агентам биокоррозии металлов.

В результате бортовых экспериментов, выполненных на Международной космической станции в период работы 20 основных экспедиций и 11 экспедиций посещения, из среды обитания было выделено и идентифицировано 80 видов микроорганизмов, среди которых присутствовали как условно патогенные бактерии и грибы, так и организмы – технофилы, способные вызывать биоповреждения полимерных материалов и биокоррозию металлов.

Для повышения эффективности существующей системы обеспечения микробиологической безопасности пилотируемых космических полетов ученые ГНЦ РФ – ИМБП РАН решают ряд прикладных задач, важнейшими из которых являются следующие: разработка адекватной методики и стандарта для аттестации материалов на микробиологическую устойчивость; отработка методов модификации поверхности материалов, обеспечивающих их защиту от воздействия микроорганизмов (придание гидрофобных и биоцидных свойств); создание бортовых инструментальных методов раннего выявления и диагностики микробиологических повреждений. Решение этих задач позволит обеспечить благоприятную экологическую обстановку на Международной космической станции в течение длительного срока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жизнь микробов в экстремальных условиях (ред. Д. Кашнер). М.:Мир. 1981. 519с
2. Воробьева Л.И. Стрессоры, стрессы и выживаемость бактерий // Прикладная биохимия и микробиология. 2004. Т.40. № 3. С. 261-269.
3. Абызов С.С., Мицкевич И.Н., Поглазова М.Н., Иванов М.В. Микробиологические исследования ледниковой толщи Антарктиды // Труды института микробиологии им С.Н. Виноградского. Вып. 12. Юбилейный сборник к 70-летию института. 2004. М.: Наука. С.7-28.
4. Головлев Е.Л. Экологическая стратегия бактерий: специфика проблемы // Микробиология. 2001.Т.70. №4. С. 437-443.
5. Медицинская микробиология (гл. редактор акад. В. И. Покровский), 1998, с. 581-656.
6. Викторов А.Н., Новикова Н.Д. Особенности формирования микрофлоры на конструкционных материалах, используемых в обитаемых герметично – замкнутых помещениях. // Космическая биология и медицина. 1985. № 2. С. 66-69.

7. Koenig D.W., Bell-Robinson D.M., Valadez V.A., Pierson D.L. Microbial colonization of closed life support chambers // Appl. Environ. Microbiol. 1997. No 4. P. 1-7.
8. Taylor G. R., Graves R.C., Brocket R.M. et al. Skylab environmental and crew microbiology studies. Biomedical results from Skylab. Wash. (D.C.): US grv. Print off. 1977. P. 53-63.
9. Mishra S.K., Ajello L., Ahearn D.G. et al. Environmental mycology and its importance to public health. // Journal of Medical and Veterinary Mycology. 1992. No 1. P. 32-40.
10. Novikova N.D., Review of the Knowledge of Microbial Contamination of the Russiaan manned Spacecraft. // Microbial Ecology. 2004. Vol. 47. No. 2. P. 127-132.
11. Залогуев С.Н., Викторов А.Н., Горшков В.П. и др. К проблеме профилактики стафилококковой инфекции у людей в условиях космического полета. // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1981. № 5. С.27-29.
12. Zachare A., Taylor M., Scott F. Marine microbial colonization of materials. Berlin.1978. 174 p.
13. Злочевская И.В. Биоповреждения неметаллических материалов. // Микология и фитопатология. 1982. № 4, С. 374-375.
14. Laursen B.S., S0rensen H.P, Mortensen K.K., Sperling-Peter sen H.U. Initiation of Protein Synthesis in Bacteria// Microbiol. Molec. Biol. Rev. 2005. No. 1. P. 101-123.
15. Благник Р. Занова В. Микробиологическая коррозия. М.: Химия. 1965. 295 с.
16. International Space Station Medical Operations Requirements Documents (SSP 50260 MORD) 2000.
17. Анисимов А.А., Смирнов В.Ф. Биоповреждения в промышленности и защита от них. Горький: ГТУ. 1980. 320 с.
18. D.L. Hawksworth et al., Systematic arrangement. Dictionary of the Fungi by Ainsworth et Bisby's., International Mycological Institute. 1995. P. 541 – 616.
19. Жизнь микробов в экстремальных условиях (ред. Кашнер Д.). М., Мир, 1981, 519с.