М И К О Л О Г И Я И Ф И Т О П А Т О Л О Г И Я

Том 43 2009 Вып. 5

БИОРАЗНООБРАЗИЕ, СИСТЕМАТИКА ЭКОЛОГИЯ

УДК 582.28:613.693+620.193.82

© Т. А. Алехова, А. В. Александрова, Н. А. Загустина, Т. Ю. Новожилова, С. Ю. Романов

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

ALEKHOVA T. A., ALEXANDROVA A. V., ZAGUSTINA N. A., NOVOZHILOVA T. Yu., ROMANOV S. Yu. MICROFUNGI IN THE RUSSIAN SEGMENT OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION (ISS RS)

На орбитальных станциях при длительных полетах неизбежно формируются и развиваются сообщества самых различных микроорганизмов (Викторов и др., 1998; Klintworth et al., 1999; Скуратов и др., 2002), что может оказывать значительное влияние на безопасность полетов. В связи с этим необходим постоянный контроль не только физико-химических параметров внутренней среды, но и микробного сообщества станции. Особенно важны исследования состава микроскопических грибов, которые оказывают влияние на здоровье людей (Samson, 1985; Davies et al., 1995; De Lucca, 2007), а также способны повреждать различные материалы (Андреюк и др., 1980; Лугаускас и др., 1987; Gu et al., 1988; Руденко и др., 2003; Кураков и др., 2008), в том числе и металлы (Албитская, Шапошникова, 1960; Costello, 1969; Смирнов и др., 2008).

Цель настоящего исследования — изучение видового состава и динамики микроорганизмов, заселяющих российский сегмент Международной космической станции (РС МКС), а также оценка их биокоррозионной способности.

Материал и методы

Для постоянного контроля за составом микроорганизмов на различных поверхностях и материалах конструкций РС МКС был разработан эксперимент, названный «Начальные этапы биодеградации и биоповреждений в условиях космоса» (КЭ «Биодеградация»). Работа проводилась в рамках сформированной в 1999 г. в России «Долгосрочной программы научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС». Она рассчитана на весь период эксплуатации станции с отбором проб 2 раза в год.

Для проведения эксперимента на борту орбитального комплекса была создана специальная укладка «Биопробы», предназначенная для отбора проб с различных внутренних поверхностей станции, их хранения и доставки на Землю с целью проведения микробиологического анализа (Алехова и др., 2005б, 2007а, 2008). Места, из которых отбирали пробы (20 точек), находились в различных зонах возможного скопления и развития микроорганизмов и были согласованны с подразделениями ОАО РКК «Энергия» (материаловедами, проектантами, службой обеспечения жизнедея-

Таблица 1

Этапы мониторинга состава микроорганизмов на РС МКС

Время получения материала	Обозначение РС	Этап КЭ «Биодеградация»	Этап анализа пыли
Ноябрь 2002 г.	МКС-5	I	
Май 2003 г.	МКС-6	II	I
Октябрь 2003 г.	МКС-7	III	
Апрель 2004 г.	МКС-8	IV	II
Октябрь 2004 г.	МКС-9	V	III
Май 2005 г.	МКС-10	VI	IV
Октябрь 2005 г.	МКС-11	VII	V
Апрель 2006 г.	МКС-12	VIII	
Сентябрь 2006 г.	МКС-13	IX	
Апрель 2007 г.	МКС-14	X	
Октябрь 2007 г.	МКС-15	XI	
Апрель 2008 г.	МКС-16	XII	VI
Октябрь 2008 г.	МКС-17	XIII	

тельности). К настоящему времени с 2002 по 2008 г. в рамках КЭ «Биодеградация» проведено 13 циклов исследований (табл. 1).

Дополнительно на РС МКС проводился анализ микроорганизмов в пробах пыли, собираемой пылесосом, и на воздушных фильтрах. Этот субстрат является местом концентрации спор и клеток микроорганизмов и оптимально подходит для оценки всего разнообразия видов в жилых и рабочих помещениях. При регулярных исследованиях прослеживаются динамика общей численности и изменения видового состава (Samson, 1985; Davies et al., 1995; Петрова-Никитина и др., 2000; Мокеева и др., 2002). Пробы пыли отобрали 6 раз в период с мая 2003 по май 2008 г. с пылесборника от пылесоса, которым производили уборку в жилой части отсека РС МКС в течение одной недели, и воздушного матерчатого фильтра, используемого в течение 30 суток. Таким образом, нами проведен мониторинг микроорганизмов, влияющих как на конкретные материалы конструкций, так и на среду обитания космонавтов — воздух и пыль в помещениях.

Выделение микроорганизмов из пробоотборников проводили общепринятыми методами с рассевом на плотные питательные среды: Чапека—Докса с содержанием 0.3—3% сахарозы, сусло-агар, глюкозо-пептонно-дрожжевую среду (Метод.., 1991; Мокеева и др., 2002). Степень представленности видов в исследуемом материале определяли по показателю обилия и встречаемости — частоте выявления. Для определения видовой принадлежности грибов использовали общепринятые руководства (Hoog, Guarro, 1995; Klich, 2002; Samson, Frisvard, 2004; Domsch et al., 2007, и др.).

В результате создана коллекция микромицетов-биодеструкторов с РС МКС, насчитывающая более 300 штаммов. В связи с подготовкой патентной процедуры проведено депонирование во Всесоюзной коллекции микроорганизмов (ВКМ ИБФМ им. Г. К. Скрябина РАН) 10 наиболее типичных видов грибов, способных вызывать биоповреждения.

В ходе мониторинга были выделены штаммы, хранящиеся в рабочей коллекции: 14 — с РС МКС, 13 — с орбитальной станции «Мир» и 3 — из почвы. Испытана их способность вызывать коррозию сплава АМг 6, используемого в изделиях космической техники. Повреждения поверхности материала исследовали на цилиндрических заготовках 16 мм диам. и 5 мм выс. Биокоррозионная нагрузка была смоделирована в соответствии с условиями и сроками, рекомендованными действующими ГОСТами 9.913–90, 9.048–89 и 9.049–91 и международными стандартами ИСО в области корро-

зии сплавов. Протестированы наиболее часто встречающиеся виды, обнаруженные на ОС «Мир» и РС МКС. Для исследования было отобрано 30 культур, относящихся к 23 видам.

Перед началом исследований образцы были промыты в этаноле, затем в стерильной дистиллированной воде и высушены на воздухе в боксе. На подготовленную поверхность наносили суспензию спор или клеток испытуемых видов микроорганизмов плотностью 1—2 $\times$ 10^6/мл с помощью распылителя, рекомендованного в ГОСТах 9.048–89 и 9.049–91. После нанесения суспензии образцы высушивали на воздухе и по одному помещали в чашки Петри на поверхность агаризованой среды Чапека—Докса. Чашки помещали в эксикаторы с водой для создания влажности более 90 %, закрывали и инкубировали в термостате при 29 °С в течение 90 суток. Через каждые 7 суток эксикаторы на короткое время открывали для доступа воздуха. Контрольные образцы обрабатывали и инкубировали так же, как и опытные, но без нанесения суспензии. Испытание биокоррозионной активности каждого вида микроорганизмов было проведено в пяти повторностях. После окончания инкубации мицелий и продукты коррозии удаляли с поверхности материала в соответствии со стандартом ИСО 8407. Контрольный образец подвергали такой же обработке. Материалы просматривали через 30, 60 и 90 суток.

Повреждения поверхности образцов микроорганизмами изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Этот способ является наиболее наглядным для контроля коррозионных процессов на ранних стадиях, поскольку позволяет непосредственно оценивать изменения, происходящие на поверхности материала.

Изучение образцов было проведено на сканирующим электронном микроскопе CAM SCAN фирмы CAMBRIG. Наиболее поврежденные материалы были исследованы с применением атомно-силового микроскопа (АСМ) Nanoscope IIIa Digital Instruments USA (Алехова и др., 2005а, 2007б), а также с использованием растровой микроскопии (Алехова и др., 2007б).

Результаты и обсуждение

В результате проделанной работы из отобранных образцов и проб пыли на РС МКС был выделен 41 вид мицелиальных и обнаружены 2 вида дрожжевых грибов (табл. 2). Наиболее обильными и часто выделяемыми были *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. sydowii*, *A. versicolor* и *Rhodotorula glutinis*.

В целом видовой состав микроскопических грибов на станции не был богатым. Он включал широко распространенные космополитные виды, способные существовать в условиях минимальной влажности и доступности питания. Большинство из этих видов характерно для жилых и рабочих помещений и относится к группе биодеструкторов, например *Aspergillus niger*, *A. sydowii*, *A. versicolor*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium chrysogenum*, *P. purpurogenum*, *Ulocladium botrytis*. Ряд видов относится к группе условнопатогенных (*Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. sydowii*, *A. versicolor*, *Paecilomyces variotii*, *Scopulariopsis brevicaulis*, *Exophiala* sp.) и образует токсины (*Stachybotrys chartarum*) (Лугаускас и др., 1987; Петрова-Никитина и др., 2000; Samson et al., 2000; De Lucca, 2007; Domsch et al., 2007). На РС МКС преобладал *Penicillium chrysogenum*, постоянно выделяемый с поверхностей. Он доминировал в пыли из пылесборника и обильно был представлен на фильтре. Этот гриб также доминировал на ОК «Мир» (Викторов и др., 1998; Новикова, 2001; Алехова и др., 2002).

Одним из самых богатых по видовому разнообразию оказался род *Penicillium*, который включал 16 видов. Род *Aspergillus* был представлен 9 видами. Эти грибы оказались устойчивы к неблагоприятным факторам (сухость, соленость, повышенная температура и др.). Они способны усваивать широкий спектр соединений. Остальные 12 родов были представлены 1—2 видами.

В течение 13 этапов исследования на различных поверхностях конструкций с использованием укладки «Биопробы» было выявлено 35 видов грибов, принадлежащих

Микроскопические организмы, выделенные на станции в разные сроки исследования и воздушными

Виды	Пробы с поверхности материалов												
	2002 г.	2003 г.		2004 г.		2005 г.		2006 г.		2007 г.		2008 г.	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
													Мицелиальные
Aspergillus chevalieri L. Mangin						+	+						
A. flavus Link		+					+	+	+				
A. foetidus Thom et Raper													
A. nidulans (Eidam) Winters													
A. niger Tiegh.		+				+		+	+	+	+		
A. ochraceus Wilhelm												+	
A. sydowii (Bainier et Sartory) Thom et Church	+	+				+	+	+			+		
A. ustus (Bainier) Thom et Church						+							
A. versicolor (Vuill.) Tiraboschi				+	+	+	+	+	+				+
Aureobasidium pullulans (de Bary) Arnaud													+
Chaetomium globosum Kunze: Fr.						+					+		
Cladosporium herbarum (Pers.: Fr.) Link		+											
C. cladosporioides (Fresen.) de Vries													+
Exophiala sp.													+
Fusarium oxysporum Schltdl.: Fr.													
Geomyces pannorum (Link) Sigler et Carmichael													+
Geotrichum candidum Link: Fr.									+			+	
Mucor circinelloides Tiegh.													
M. plumbeus Bonorden										+			
Paecilomyces variotii Bainier									+	+			
Penicillium aurantiogriseum Dierckx	+	+				+	+	+					+
P. brevicompactum Dierckx													+
P. charlesii G. Smith										+			
P. chrysogenum Thom	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
P. corylophilum Dierckx													
P. crustosum Thom		+					+	+					
P. decumbens Thom							+						
P. expansum Link											+		
P. lanosum Westling													
P. olsonii Bainier et Sartory									+				
P. purpurogenum Stoll				+				+	+				+
P. rubrum Stoll													
P. rugulosum Thom										+		+	+
P. spinulosum Thom				+					+	+		+	
P. variabile Sopp				+	+								
P. verrucosum Dierckx											+		
Scopulariopsis brumptii Salvanet-Duval		+											
S. brevicaulis (Sacc.) Bainier							+						

Таблица 2

с использованием укладки «Биопробы» и в пыли, собранной пылесосом (П) фильтрами (Ф)

Частота выявления, %	Пробы пыли											Частота выявления, %
	2003 г.		2004 г.				2005 г.			2008 г.		
	ПI	ФI	ПII	ФII	ПIII	ФIII	ФIV	ПV	ФV	ПVI	ФVI	
грибы												
15.4				+	+	+			+			36.4
30.8	+	+	+	+		+	+	+	+			72.7
0				+								9.1
0					+							9.1
53.8	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	90.9
7.7									+		+	18.2
46.2	+				+	+	+	+	+	+	+	72.7
7.7		+	+	+	+	+						45.5
53.8		+			+	+	+	+	+	+	+	72.7
7.7												0
15.4		+		+		+	+	+	+			54.4
7.7								+	+			18.2
7.7												0
7.7												0
0						+						9.1
7.7												0
15.4												0
0								+	+			18.2
7.7												0
15.4				+		+	+			+	+	45.5
46.2								+	+			18.2
7.7							+	+	+			27.3
7.7												0
100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
0										+		9.1
23.1					+		+		+			27.3
7.7							+	+	+			27.3
7.7												0
0								+				9.1
7.7												0
30.8								+	+	+	+	36.4
0			+									9.1
23.1												0
30.8			+	+		+				+	+	45.5
15.4												0
7.7												0
7.7												0
7.7								+	+			18.2

Виды	Пробы с поверхности материалов												
	2002 г.	2003 г.		2004 г.		2005 г.		2006 г.		2007 г.		2008 г.	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Stachybotrys chartarum (Ehrenb.) S. Hughes													
Ulocladium botrytis Preuss									+		+	+	
U. chartarum (Preuss) Simmons													
Всего	2	8	0	6	3	8	9	8	10	7	7	6	10
Дрож													
Debaryomyces hansenii (Zopf) Lodder et Kreger-van Rij											+		
Rhodotorula glutinis (Fresen.) F. C. Harrison	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. I—XII — этапы работы; «+» — вид обнаружен, отсутствие знака — вид не выявлен.

к 12 родам, из которых наиболее часто встречались *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus niger*, *A. sydowii*, *A. versicolor* и *Rhodotorula glutinis*.

Всего в пробах пыли за 6 этапов исследований обнаружено 30 видов грибов, принадлежащих к 10 родам, среди которых преобладали *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. sydowii*, *A. versicolor*, *Chaetomium globosum*, *Penicillium chrysogenum*, *Ulocladium botrytis* и *Rhodotorula glutinis*.

Видовой состав микроорганизмов на поверхности материалов конструкций и техники лишь частично совпадает с обнаруженными в пробах пыли. Так, например, только с использованием укладки «Биопробы» были обнаружены следующие виды грибов: *Geotrichum candidum*, *Mucor plumbeus*, *Penicillium charlesii*, *P. expansum*, *P. olsonii*, *P. rugulosum*, *P. variabile*, *P. verrucosum*, *Scopulariopsis brumptii*, *Geomyces pannorum*, *Exophiala* sp., *Cladosporium cladosporioides* и *Aureobasidium pullulans*. Только в пробах пыли найдены *Aspergillus foetidus*, *A. nidulans*, *Fusarium oxysporum*, *Mucor circinelloides*, *Penicillium corylophilum*, *P. lanosum*, *P. rubrum*, *Stachybotrys chartarum*, *Ulocladium chartarum*. Данные, полученные при анализе различных материалов, совпадают не полностью, что указывает на необходимость их совместного использования для детальной характеристики состава микобиоты на борту РС МКС.

Суммарное количество видов, выявленных на поверхности материалов конструкций с помощью укладки «Биопробы», несколько больше, чем обнаружено в пробах пыли. Это связано с тем, что эксперимент «Биодеградация» был начат раньше и отбор проб проходил регулярно, а исследование пыли проводилось реже (см. табл. 1). Тем не менее на каждом этапе количество видов в пыли, особенно собранной фильтром, больше, чем из укладки.

При анализе пыли получены более полные данные о видовом составе микроскопических грибов на станции. Однако эти исследования не позволяют установить места развития микроорганизмов и проследить за ситуацией в конкретных точках.

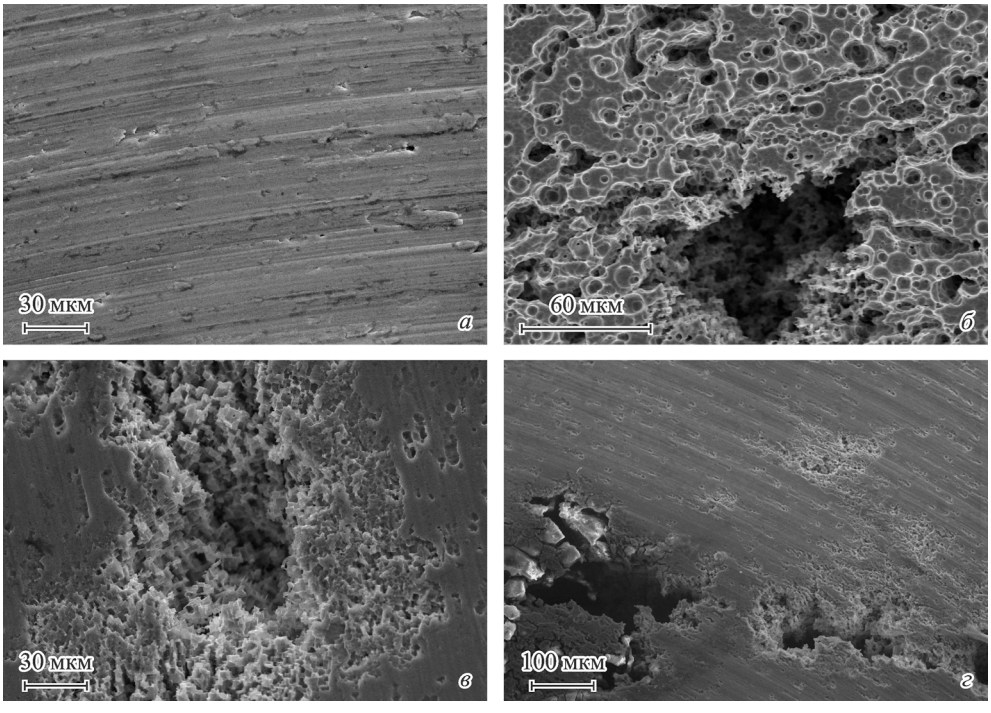
Для оценки биокоррозионной способности микробиологической составляющей станции был проведен модельный эксперимент на образцах сплава АМг 6, используемого в авиакосмической технике. В результате испытания 30 штаммов (14 выделены на РС МКС, 13 — ОС «Мир» и 3 — из почвы) показано, что они практически все оказывают влияние на структуру поверхности сплава АМг 6, однако степень и внешнее проявление повреждений сильно отличались в зависимости от вида, вызывающего коррозию (табл. 3). Существенных изменений на поверхности контрольных образцов отмечено не было (см. рисунок, *а*).

Таблица 2 (*продолжение*)

Частота выявления, %	Пробы пыли											Частота выявления, %
	2003 г.		2004 г.				2005 г.			2008 г.		
	ПI	ФI	ПII	ФII	ПIII	ФIII	ФIV	ПV	ФV	ПVI	ФVI	
0		+										9.1
23.1	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	90.9
0						+						9.1
33	5	7	6	10	10	13	11	15	18	9	9	28
жи												
7.7										+		9.1
100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

Наиболее агрессивными, вызывающими коррозию с глубокими повреждениями поверхности металла и образованием каверн являлись пять видов мицелиальных грибов: *Aspergillus flavus*, *A. niger* (см. рисунок, *б*), *Cladosporium herbarum*, *Paecilomyces variotii* (см. рисунок, *в*) и *Ulocladium botrytis* (см. рисунок, *г*).

Бóльшая часть протестированных видов (*Aspergillus versicolor*, *Aureobasidium pullulans*, *Chaetomium homopilatum*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium aurantiog-*



Внешний вид поверхности металла через 90 суток испытания.

а — контрольный образец, *б* — образец, пораженный *Aspergillus niger*, *в* — *Paecilomyces variotii*, *г* — *Ulocladium botrytis*.

Таблица 3

Штаммы грибов, использованных в эксперименте по изучению биокоррозии сплава АМг 6, и их коррозионная активность

Микромицеты	Происхождение культуры	Номер в коллекции	Коррозионная активность
	Мицелиальные грибы		
Aspergillus flavus	ОС «Мир»	М-2	4
	МКС	М-120	4
	Почва	Ар39	4
A. niger	МКС	М-119	4
A. sydowii	ОС «Мир»	М-8	2
	МКС	М-123	2
	Почва	17.9	2
A. ustus	МКС	М-125	2
A. versicolor	То же	М-122	3
	ОС «Мир»	М-9	3
Aureobasidium pullulans	То же	М-46	3
Chaetomium homopilatum	МКС	М-134	3
Cladosporium herbarum	То же	М-69	4
C. sphaerospermum	ОС «Мир»	М-12	3
Fusarium oxysporum	МКС	М-131	2
Paecilomyces variotii	То же	М-129	4
Penicillium aurantiogriseum	ОС «Мир»	М-16	3
P. brevicompactum	То же	М-17	3
P. chrysogenum	» »	М-30	2
	МКС	М-117	3
	Почва	Fa35	3
P. commune	ОС «Мир»	М-40	2
P. crustosum	МКС	М-118	3
P. glandicola	ОС «Мир»	М-41	3
P. purpurogenum	МКС	М-109	3
P. verrucosum	ОС «Мир»	М-42	3
P. viridicatum	То же	М-44	3
P. waksmanii	» »	М-45	3
Ulocladium botrytis	МКС	М-54	4
	Дрожжевые грибы		
Rhodotorula glutinis	МКС	М-121	1

Примечание. 1 — на поверхности не остается видимых нарушений, а только следы присутствия микроорганизма; 2 — видны слабые повреждения, образуются корочки окислов; 3 — наблюдается неглубокое изъязвление; 4 — поверхность металла с глубокими повреждениями (питтинговая коррозия).

riseum, *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum*, *P. crustosum*, *P. glandicola*, *P. purpurogenum*, *P. verrucosum*, *P. viridicatum*, *P. waksmanii*) вызывала умеренные изменения поверхности — неглубокое изъязвление или появление пятен и корок. Слабые повреждения с образованием на поверхности окислов отмечены в результате воздействия *Aspergillus sydowii*, *A. ustus*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium commune*. Только дрожжевой гриб *Rhodotorula glutinis* практически не изменял поверхности металла.

Отмечено, что штаммы одного вида, выделенные на РС МКС, ОС «Мир» и из почвы, вызывали однотипные повреждения, которые незначительно отличались по степени проявления. В ходе работы было проведено сравнение коррозионной активности опытных штаммов с представителями тех же видов из коллекции. Отличий по культурально-морфологическим признакам и активности отмечено не было.

Видовой состав грибов на РС МКС сходен с таковым в жилых и рабочих помещениях на Земле (Samson, 1985; Davies et al., 1995; Богомолова и др., 1999; Петрова-Никитина и др., 2000; Мокеева и др., 2002), а также довольно близок к составу грибов на ОС «Мир» (Викторов и др., 1998; Новикова, 2001; Алехова и др., 2002; Скуратов и др., 2002; Руденко и др., 2003). Микроорганизмы, регулярно выделяемые на станции, скорее всего, являются постоянными ее обитателями, нашедшими там подходящие для себя условия. Они заносятся с грузами или при смене экипажей. Видовое разнообразие грибов на станции постепенно возрастает. Преимущественно это биодеструкторы, способные заселять и разрушать различные материалы при невысокой влажности (Лугаускас и др., 1987; Samson et al., 2000).

Исследование пыли, собираемой пылесосом, а также воздушными фильтрами, являющимися местом концентрации спор грибов и клеток микроорганизмов, позволяет оценивать в целом микробное разнообразие на РС МКС. Однако этот метод не дает представления о месте развития микроорганизмов, поэтому он должен обязательно сочетаться с анализом микробиоты в конкретных точках и на определенных материалах. Таким образом, исследование пыли на РС МКС дополняет эксперимент «Начальные этапы биодеградации и биоповреждений в условиях космоса» с использованием укладки «Биопробы».

Исследование выполнено при финансовой поддержке программы Роскосмос «МКС — Эксперименты» и гранта НШ № 5189.2008.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Албитская О. Н., Шапошникова Н. А. Влияние плесеней на коррозию металлов // Микробиология. 1960. Т. 29. С. 725—730.

Алехова Т. А., Александрова А. В., Загустина Н. А., Лысак Л. В., Новожилова Т. Ю., Борисов В. А., Плотников А. Д. Космический эксперимент «Начальные этапы биодеградации в условиях космоса» с использованием укладки «Биопробы» на РС МКС // Космонавтика и ракетостроение. 2007а. Т. 49, № 4. С. 108—117.

Алехова Т. А., Александрова А. В., Новожилова Т. Ю., Голутвин И. А., Насикан Н. С., Загустина Н. А., Плотников А. Д., Борисов В. А. Применение атомно-силовой микроскопии для мониторинга микробиологической коррозии алюминий-магниевых сплавов // Поверхность. 2005а. № 1. С. 54—59.

Алехова Т. А., Александрова А. В., Новожилова Т. Ю., Лысак Л. В., Загустина Н. А., Безбородов А. М. Мониторинг микроорганизмов-деструкторов на пилотируемых орбитальных комплексах // Прикл. биохимия и микробиология. 2005б. Т. 41, № 4. С. 435—443.

Алехова Т. А., Александрова А. В., Новожилова Т.Ю., Лысак Л. В., Загустина Н. А. Эксперимент «Начальные этапы биодеградации и биоповреждений в условиях космоса» // Вест. МГУ. Сер. 16. Биология. 2008. № 4. С. 27—33.

Алехова Т. А., Загустина Н. А., Александрова А. В., Новожилова Т. Ю., Борисов В. А., Плотников А. Д. Мониторинг начальных этапов биоповреждений конструкционных материалов, применяемых в авиакосмической технике, методами электронной микроскопии // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007б. № 7. С. 53—59.

Алехова Т. А., Новожилова Т. Ю., Александрова А. В., Борисова В. А., Самосадная Т. Е., Ермак А. Л. Выделение микрофлоры с конструкционных поверхностей ОС «Мир», способность к биоповреждению материалов // Биотехнология, состояние и перспективы развития / Матер. Междунар. конгр. М., 2002. С. 315.

Андреюк Е. И., Билай В. И., Коваль Э. З., Козлова И. А. Микробная коррозия и ее возбудители. Киев: Наук. думка, 1980. 287 с.

Богомолова Т. С., Васильева Н. В., Горшкова Г. И. Микобиота некоторых жилых помещений в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Пробл. медицинской микологии. 1999. № 3. С. 41—43.

Викторов А. Н., Новикова Н. Д., Дешевая Е. А., Поликарпова Н. А., Поддубко С. В., Брагина М. П. Сравнительная оценка биологических свойств микроорганизмов, выделенных в орбитальном комплексе «Мир» в различные сроки эксплуатации // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1998. Т. 32, № 2. С. 61—68.

Кураков А. В., Геворкян С. А., Гогинян В. Б., Озерская С. М. Разнообразие и особенности состава микроскопических грибов на синтетических полимерных материалах // Прикл. биохимия и микробиология. 2008. Т. 44, № 2. С. 232—235.

Лугаускас А. Ю., Микульскене А. И., Шляужене Д. Ю. Каталог микромицетов-биодеструкторов полимерных материалов. М.: Наука, 1987. 340 с.

Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.

Мокеева В. Л., Чекунова Л. Н., Биланенко Е. Н. Акарологическое и микологическое обследование помещений как основа профилактики аллергических заболеваний (задачи и принципы). Метод. пособие. М.: Ойкос, 2002. 31 с.

Новикова Н. Д. Основные закономерности формирования микрофлоры среды обитания орбитального комплекса «Мир» // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2001. Т. 34, № 4. С. 32—40.

Петрова-Никитина А. Д., Мокеева Л. В., Желтикова Т. М., Чекунова Л. Н., Антропова А. Б., Мокроносова М. А., Биланенко Е. Н., Сизова Т. П. Микобиота домашней пыли г. Москвы // Микология и фитопатология. 2000. Т. 34, вып. 3. С. 25—33.

Руденко А. В., Коваль Э. З., Савельев Ю. В., Алехова Т. А., Новожилова Т. Ю., Загустина Н. А., Безбородов А. М. Микодеструкция полимерных материалов в условиях земли и космоса // Космическая наука и технология. 2003. Т. 9. С. 20—23.

Скуратов В. М., Загибалова Л. Б., Пушкин В. П. Родовой состав и микробная контаминация конденсата атмосферной влаги и питьевой воды систем водообеспечения орбитального комплекса «Мир» в период ЭО-4–27 // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2002. Т. 36, № 2. С. 28—32.

Смирнов В. Ф., Белов Д. В., Соколова Т. Н., Кузина О. В., Карташов В. Р. Микробиологическая коррозия материалов на основе алюминия // Прикл. биохимия и микробиология. 2008. Т. 44, № 2. С. 213—218.

Costello J. A. The corrosion of metals by microorganisms // Int. Biodent. Bull. 1969. Vol. 5. P. 101.

Davies R., Summerbell R. C., Haldane D. Fungal contamination in public buildings: A guide to recognition and management. Ottawa: Environmental Health Directorate, 1995. 76 p.

Domsch K. H., Gams W., Anderson T. Compendium of soil fungi. 2nd ed. IHW Verlag Ehing, 2007. 672 p.

Gu J. D., Roman M., Elsseman T., Mitchel R. The role of microbial biofilm in deterioration of space station candidate materials // Int. Biodeterior. Biodegradation. 1988. Vol. 41, N 1. P. 25—33.

Hoog G. S. de, Guarro J. Atlas of clinical fungi. Baarn: Centraalbureau voor Schimmelcultures, 1995. 720 p.

Klich M. A. Identification of common Aspergillus species. Baarn: Centraalbureau voor Schimmelcultures, 2002. 116 p.

Klintworth R., Reher H. J., Viktorov A. N., Bohle D. Biological induced corrosion of materials II: new test method and experiences from MIR station // Acta Astronaut. 1999. Vol. 44. P. 569—578.

Lucca A. J. de. Harmful fungi in both agriculture and medicine // Rev. Iberoam. Micol. 2007. Vol. 24. P. 3—13.

S a m s o n R. A. Occurrence of moulds in modern living and working environments // Eur. J. Epidemiol. 1985. Vol. 1, N 1. P. 54—61.

S a m s o n R. A., H o e k s t r a E. S., F r i s v a d J. C., F i l t e n b o r g O. Introduction to Food- and Air Borne Fungi. 6th ed. Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures, 2000. 322 p.

S a m s o n R. A., F r i s v a r d J. C. Penicillium subgenus Penicillium: new taxonomic schemes, mycotoxins and other extrolites // Stud. Mycol. 2004. Vol. 49. 260 p.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
burale@yandex.ru
Институт биохимии им. А. Н. Баха РАН
Москва
Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
им. С. П. Королева

Поступила 19 V 2009

Р Е З Ю М Е

В результате семилетнего мониторинга, проводимого на российском сегменте Международной космической станции, в определенных точках, в пыли и на воздушных фильтрах, выявлено 43 вида микроскопических грибов. Наиболее обильными и постоянно выделяемыми были мицелиальные грибы: *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. sydowii*, *A. versicolor*, *Rhodotorula glutinis*. Большинство из них — виды-космополиты, представители типичной микобиоты жилых и рабочих помещений. В целом видовой состав сходен с таковым на орбитальной станции «Мир», отличия касаются в основном редких и случайных видов. Самое высокое разнообразие грибов отмечено при анализе фильтров, но для определения мест их развития и более полной характеристики микобиоты необходимо проводить комплексный анализ.

Наиболее агрессивными, вызывающими коррозию с глубоким повреждением поверхности сплава АМг 6 и образованием каверн являлись штаммы пяти видов грибов: *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Cladosporium herbarum*, *Paecilomyces variotii* и *Ulocladium botrytis*. Большинство из 30 испытанных штаммов, выделенных на РС МКС, ОС «Мир» и из почв, вызывали умеренные изменения поверхности.

Ключевые слова: микобиота помещений, биокоррозия, Международная космическая станция.

S U M M A R Y

In the course of the seven-years monitoring period fulfilled at the Russian segment of International space station 43 species of microscopic fungi were isolated. The most abundant were *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. sydowii*, *A. versicolor*, yeast *Rhodotorula glutinis.* The majority of species found are cosmopolitan and belong to usual inhabitants of living and office buildings. The composition of dominant species is similar to that found at Space station «Mir». The samples for this analysis were collected in definite points of construction surfaces of the Russian segment of the Station with the help of kit «Bioproby». Additionally samples of dust from vacuum cleaner and from air filters were analyzed. In general, the dust analysis provides more rich data in comparison with samples from surfaces. The highest abundance was fixed in analysis of air filter data. But the dust analysis does not permit to define the specific growth locations and trace the microbiological situation in definite points. Found species of fungi and bacteria were studied on the ability to cause the corrosion of Al-Mag alloy (AMg 6) in the model experiment. The most aggressive, creating corrosion with deep destruction of metal surface and cavern formation, were four species of mycelial fungi: *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Cladosporium herbarum*, *Paecilomyces variotii* and *Ulocladium botrytis*. Majority of studied species created moderate surface modifications.

Key words: indoor environment, biocorrosion, International space station.