

В. В. Цетлин<sup>1</sup>, Е. А. Дешева<sup>1</sup>, Н. Д. Новикова<sup>1</sup>,  
Н. А. Поликарпов<sup>1</sup>, Е. А. Грачев<sup>2</sup>, О. Р. Григорян<sup>2</sup>,  
О. А. Заборина<sup>2</sup>, Л. Л. Лазутин<sup>2</sup>, О. Ю. Нечаев<sup>2</sup>,  
И. В. Чурило<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Ракетно-космическая корпорация «Энергия», м. Корольов МО, Российская Федерация

## Влияние низких доз радиации на микробное сообщество космических станций

---

Описаны проблемы изучения микробного сообщества внутри МКС в эксперименте «Скорпион-1».

---

Важнейшую роль в обеспечении безопасной работы экипажей играет среда обитания в отсеках орбитальных космических станций [1, 2, 5].

Помимо существования микробного компонента в воздушной среде отсеков, особую опасность для конструкционных материалов и жизненно важных систем управления станции могут представлять продукты жизнедеятельности микромицетов. Не исключено, что наблюдавшиеся на станции «Мир» повреждения электрических контактов, оплетки кабелей и трубопроводов для теплоносителя были вызваны процессами биодеструкции [2].

Среди ряда факторов среды обитания, влияющих на процесс развития микроорганизмов в космических объектах, можно выделить хроническое облучение низкими дозами космического ионизирующего излучения, при этом мощность поглощенной дозы (МПД) ионизирующего излучения в отсеках станции испытывает значительные вариации [5, 6].

Анализ данных по динамике суммарной МПД на станции МИР в течение 22 цикла солнечной активности как в слабо защищенных (непосредственно под оболочкой), так и в сильно защищенных отсеках станции показал, что МПД модулируется солнечным излучением. При этом в зависимости от защищенности мест мощность дозы по отсекам может отличаться в 2—4 раза. Во время минимума солнечной активности различие достигает 10 раз. Так, например, во время фазы минимума солнечной активности, длящейся обычно 2-3 года, МПД может достигать 1000 мкГр/сут, тогда как во время

фазы максимума мощность дозы много меньше и может составлять 150 мкГр/сут.

Указанный диапазон МПД относят к области низких доз, действие которых на биообъекты может вызывать радиационный гормезис [4]. Представляло интерес исследовать возможное влияние низких доз космического излучения на развитие микроорганизмов в отсеках станции «Мир». Дело в том, что во время многолетней эксплуатации станции, в ее отсеках происходила естественная контаминация микроорганизмами — микробами и микромицетами. И хотя микробиологическое загрязнение не превышало предельно допустимые нормативы, распространенность микроорганизмов была заметной и испытывала временные вариации не только во времени, но и по отсекам модулей орбитального комплекса [2].

На рис. 1 представлена динамика содержания микробного сообщества, грибов и бактерий (до проведения санитарно-гигиенических мероприятий), на поверхностях декоративно-отделочных и конструкционных материалов на протяжении 14 лет эксплуатации ОК «Мир». Имеющийся разрыв в данных обусловлен досадным перерывом в регулярной доставке бортовых проб в лабораторию в Москве. Видно, что динамика численности колониеобразующих единиц (КОЕ) грибов и бактерий носила волнообразный характер и отражала временную зависимость микроразвития циклов, соответствующих элементарным потокам жизни микробного сообщества в замкнутом пространстве косми-

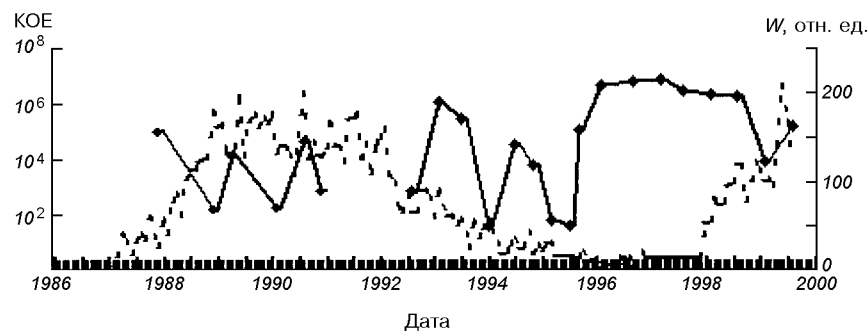
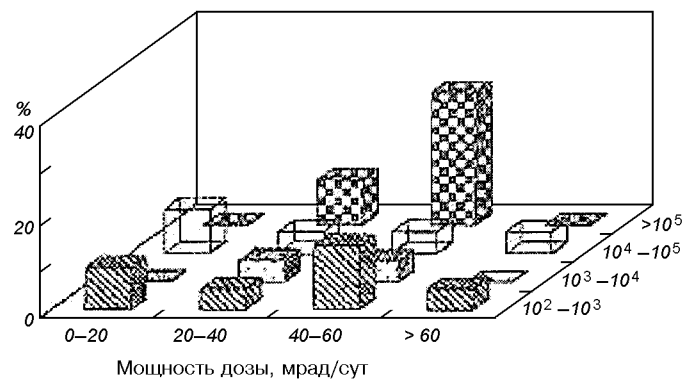


Рис. 1. Динамика развития в отсеках ОК МИР микробного сообщества в зависимости от показателя солнечной активности  $W$

Рис. 2. Распределение проб с величиной КОЕ от средне-суточной мощности поглощенной дозы



ческого комплекса. Так, например, при полете станции в период минимума солнечной активности отмечалось увеличение численности жизнеспособных фрагментов микроорганизмов до  $10^6$  КОЕ на  $100 \text{ см}^2$  поверхности (при средней величине 1000 КОЕ на  $100 \text{ см}^2$ ). Несмотря на то, что поддержание в космическом объекте среды обитания, адекватной потребностям человека, неминуемо обеспечивало благоприятные условия для жизнедеятельности многочисленных бактерий и грибов-сапрофитов, условия жизни микробного сообщества в отсеках ОК «Мир» отличались от земных рядом особенностей. Кроме того, взаимодействия микроорганизмов с искусственными субстратами — материалами силовых конструкций, поверхностей интерьера оснащения и оборудования, осуществляемые в среде, отличались исключительным своеобразием. Эти обстоятельства не могли не отразиться на протекании жизнедеятельности микроорганизмов.

Как показали длительные наблюдения, проводимые в течение всего периода эксплуатации ОК «Мир», активность микромицетов может не только сильно изменяться в различные отрезки времени полета (вплоть до пяти порядков величины), но и быть неодинаково распространенной по объему станции. Например, особенно активными являются колонии некоторых видов плесневых микромицетов вблизи оболочки за декоративными панелями, т. е.

в местах, труднодоступных для применения санитарных и профилактических антикоррозионных и защитных мероприятий.

Отличие радиационных условий обитания микрофлоры в различных точках станции может приводить к различию в заселенности отсеков станции и, как следствие, — к различию в интенсивности биодеструкционных процессов. Следовательно, можно ожидать, что различие дозовых нагрузок в отсеках модулей, особенно в запанельном пространстве, где мощность дозы наибольшая при любом цикле солнечной активности, должно сказываться на заселенности биообъектами, например микромицетами, отсеков станции. Установлено, что наибольшее количество проб, взятых с поверхностей интерьера и оборудования, имеющих высокое содержание КОЕ на  $100 \text{ см}^2$  ( $> 100\,000$ ), приходится на период минимума солнечной активности ( $W < 50$ ). Именно в это время мощность поглощенной дозы на станции «Мир» была максимальной. Для установления картины взаимосвязи между вариациями численности КОЕ грибов в пробах и мощностью дозы построена двухмерная гистограмма распределения количественного уровня микроорганизмов на поверхностях интерьера и оборудования от мощности дозы (рис. 2).

В свою очередь, можно ожидать, что будет различной и биодеструкционная активность таких ор-

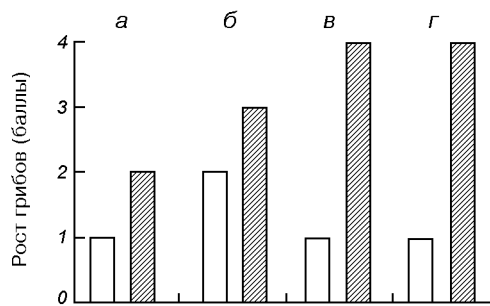


Рис. 3. Агрессивность (рост) штаммов грибов, выделенных в ОК «Мир» (заштрихованные столбики), в сравнении с эталонными (музейными) культурами (светлые столбики): а — *Penicillium chrysogenum*, б — *Aspergillus niger*, в — *Penicillium expansum*, г — *Aspergillus sp.*

ганизмов, поскольку под воздействием космической радиации агрессивность некоторых видов микромицетов может увеличиваться более чем в два раза. На рис. 3 приведены результаты оценки изменения «агрессивности» у полетных штаммов грибов по сравнению с эталонными штаммами [3].

Наземные лабораторные исследования показали зависимость развития некоторых представителей микробного сообщества от МПД. Влияние ионизирующего излучения характеризовалось усилением метаболических процессов в клетках бактерий и грибов при малых значениях доз.

В результате лабораторных исследований выявлено проявление радиационного гормезиса в развитии микромицетов полетных и коллекционных штаммов при воздействии различных компонентов корпускулярного и гамма-излучения. В диапазоне поглощенных доз, характерных для космического полета, определены морфологические, популяционные и другие изменения в колониях микроорганизмов при воздействии жесткого электромагнитного и нейтронного излучений на развитие отдельных представителей грибного компонента микробного сообщества в космических объектах.

Выявлено проявление радиационного воздействия на развитие полетных штаммов, например вида *Aspergillus niger*, под действием различных компонентов излучения: гамма- и нейтронного (рис. 4). В диапазоне поглощенных доз, присущих космическому полету, отмечены морфологические изменения полетного штамма микромицета, выделенного из среды обитания в период работы на станции «Мир» 20-й основной экспедиции, при воздействии вышеуказанного излучения. При этом показано, что на характер развития полетного штамма гриба оказывает существенное влияние вид ионизирующего излучения. Обнаружено, что действие нейт-

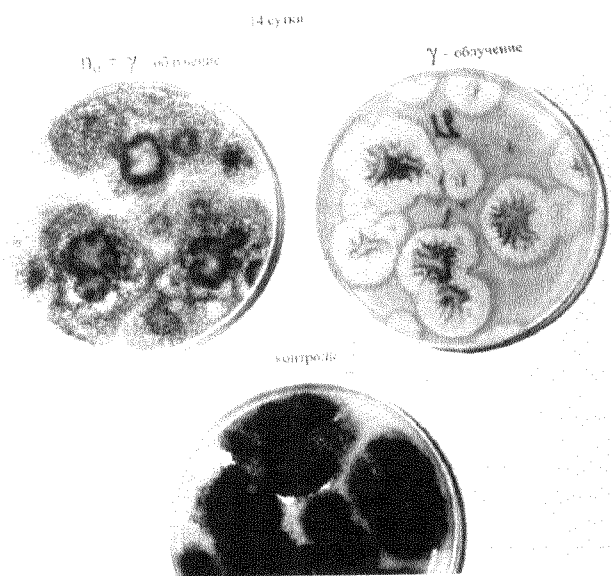


Рис. 4. Результат воздействия различных компонентов излучения на полетный штамм гриба *Aspergillus niger*

ронных потоков создает морфологические изменения в фенотипе колоний полетных штаммов, существенно отличающихся от аналогичных эффектов, вызываемых только гамма-излучением. В условиях гамма-излучения от источника  $Cs^{137}$  отмечено усиление вегетативного мицелия и некоторое снижение спорообразования, тогда как нейтронное излучение и сопутствующее ему гамма-излучение от  $Pu-Be$ -источника вызывает изменения другого рода. У контрольного штамма (штамм Всероссийской коллекции микроорганизмов — 1119) при действии низких доз различных ионизирующих излучений не отмечалось морфологических отклонений в характере развития.

С января 2002 г. в рамках космического эксперимента «Скорпион» проводится экспонирование образцов широко используемых материалов и покрытий с целью изучения их динамики обрастания различными микромицетами с одновременным проведением комплексных радиометрических, волновых, вибрационных и климатических измерений внутри гермоотсека российского сегмента (РС) Международной космической станции.

Поскольку одной из основных задач, решаемых в эксперименте с аппаратурой «Скорпион-1», является изучение поведения микробного сообщества внутри РС МКС, в состав оборудования включены пластины с образцами материалов, широко используемых во внутренней отделке отсеков станции и

элементах бортового оборудования. Пластины с образцами снабжены дозиметрическими сборками для детального изучения радиационных условий, воздействующих на микроорганизмы в разных местах станции. Наборы пластин размещены в трех различных точках гермоотсека РС МКС в запанельном пространстве. Для оценки динамики обрастания различных материалов ассоциациями микромицетов и бактерий пластины каждого набора экспонируются в течение определенного времени с последующим возвращением на Землю для анализа видового состава и численности микроорганизмов, контаминирующих поверхность образцов.

После завершения работы 3-й основной экспедиции на борту МКС первые пластины с образцами были возвращены на Землю для лабораторного анализа после экспозиции на борту станции с января по май 2002 года. В результате микробиологических исследований была получена информация о численности жизнеспособных колониеобразующих единиц и видовом составе микробных ассоциаций, контаминирующих поверхность образцов полимерных материалов. Первые результаты подтвердили тенденцию к увеличению численности микробных ассоциаций с увеличением мощности поглощенной дозы, что ранее было выявлено при анализе данных по радиационной и микробиологической обстановке в отсеках станции «Мир».

1. Викторов А. Н., Новикова Н. Д. и др. Актуальные проблемы микробиологической безопасности среды обитания орбитальных станций в условиях многолетней эксплуатации // *Авиакосм. и экологическая медицина*.—1995.—№ 5.—С. 51—55.
2. Викторов А. Н., Новикова Н. Д., Дешевая Е. А. Микрофлора кабин пилотируемых космических объектов и проблема биоповреждений, используемых в них конструкционных материалов // *Авиакосм. и экологическая медицина*.—1992.—№ 3, С. 41—48.
3. Викторов А. Н., Новикова Н. Д., Дешевая Е. А. и др. Результаты микробиологических исследований // *Орбитальная станция «Мир», Москва, 2001 г., Т. 1, С. 121—151.*
4. Кузин А. М. Идеи радиационного гормезиса в атомном веке // *М.: Наука., 1995.—С. 120.*
5. Митрикас В. Г., Цетлин В. В. Проблемы обеспечения радиационного контроля на ОК МИР в 22-м цикле солнечной активности // *Косм. исслед.*—2000.—№ 2.
6. Цетлин В. В., Митрикас В. Г., Бондаренко В. А. База данных о радиационной обстановке на станции «Мир» за период с 08.02.87 по 28.08.99. ГНЦ РФ ИМБП. № 2000620017. Официальная регистрация в «Роспатент» 27.01.2000 г.

---

#### EFFECT OF LOW RADIATION DOSES ON MICROBE POPULATION IN SPACE STATIONS

V. V. Tsetlin, E. A. Deshevaya, N. D. Novikova, N. A. Polikarpov, E. A. Grachev, O. R. Grigoryan, O. A. Zavorina, L. L. Lazutin, O. Yu. Nechaev, and I. V. Churilo

We describe the problems arising in the study of the microbe population inside the International Space Station.