

# СТЕРИЛИЗУЮЩИЙ СВЕТ

---

Член-корреспондент РАН, академик РАМН  
Игорь УШАКОВ,

директор Института медико-биологических проблем РАН,  
доктор биологических наук Наталия НОВИКОВА,  
заведующая лабораторией «Микробиология среды обитания  
и противомикробная защита» того же института,  
кандидат технических наук Сергей ШАШКОВСКИЙ,  
заведующий сектором НИИ энергетического машиностроения  
Московского государственного технического университета  
им. Н.Э. Баумана

---

**В современном мире степень биологической опасности,  
к сожалению, постоянно растет.**

**Причина не только в изменчивости существующих форм микробов,  
но в появлении новых бактерий, вирусов, грибов,  
устойчивых к средствам обеззараживания и антибиотикам.**

**И происходит это на фоне тенденции ослабления иммунитета человека.**

**Сложившаяся ситуация требует принципиально новых  
универсальных методов борьбы с инфекциями.**

**К**онечно, угрозу для людей представляют далеко не все микроорганизмы. С одной стороны, ряд бактерий и грибов мирно сосуществуют с человеком и даже активно участвуют в его биологическом цикле, а с другой – именно микробы регулярно вызывают вспышки холеры, чумы, желтой лихорадки, малярии и др. В последние десятилетия этот перечень пополнили ВИЧ, атипичная пневмония, птичий и свиной грипп, лекарственно-устойчивые формы туберкулеза и т.д. И если в середине XX в. было извест-

но около 1000 возбудителей инфекционных заболеваний, то в настоящее время их насчитывается уже более 1200.

Эти факторы приходится учитывать и специалистам лечебных учреждений. По данным Всемирной организации здравоохранения в развитых странах собственно больничные инфекции возникают по меньшей мере у 5% больных. Например, в США ежегодно регистрируют до 2 млн такого рода заболеваний в стационарах (при этом до 98 тыс. пациентов



**Биовредения на космической станции:**  
 а – обрастание иллюминатора плесневыми грибами,  
 б – рост плесневых грибов на изоляции проводов прибора связи,  
 с, d – биокоррозия иглы детектора дыма.

погибают), в ФРГ – 500–700 тыс., в Венгрии – 100 тыс., что составляет примерно 1% населения этих стран.

Одна из основных причин столь высокого уровня заражения – формирование неизвестных ранее внутригоспитальных штаммов микроорганизмов, характеризующихся множественной лекарственной устойчивостью и обладающих высокой приобретенной резистентностью по отношению к ряду традиционных средств дезинфекции. Эти факторы действуют на фоне уже упоминавшейся тенденции снижения неспецифических защитных сил организма у населения планеты в целом в связи с загрязнением окружающей среды, изменением условий жизни (гиподинамия, стресс, неблагоприятное влияние на организм шума, вибрации, электромагнитных полей и т.д.).

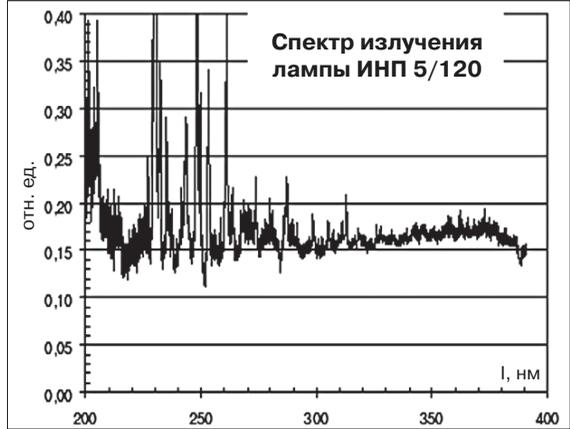
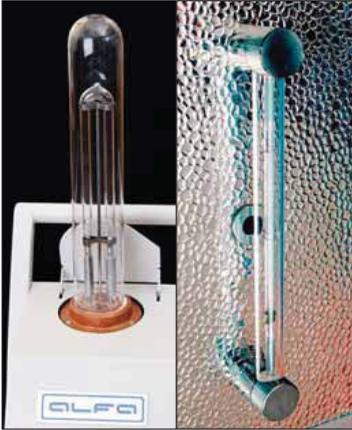
Огромный экономический и социальный ущерб, наносимый такого рода заболеваниями обществу (например, ежегодно лишь в США он составляет от 5 до 10 млрд дол.), актуализировал появление нового направления в современной медицине – эпидемиологии и профилактики внутрибольничных инфекций; оно получило признание и мировое распространение в 1970-е годы.

Но проблема эта актуальна не только для медицинских учреждений на Земле. В пилотируемых космических полетах также требуется обеспечить инфекционную безопасность экипажей и надежную работу космической техники (она может выходить из строя из-за разрушительного действия микроорганизмов). Ситуация обостряется тем, что с увеличением продолжительности экспедиций, а также перспективами

межпланетных перелетов (Земля–Марс–Земля и т.д.)\* и создания лунных модулей вероятность ухудшения санитарно-гигиенического состояния внутренних объемов обитаемых аппаратов возрастает. Так, при длительном пребывании космонавтов на орбитальных комплексах возникает риск заноса микрофлоры при смене экипажей, а также в процессе доставки на станцию грузов. Использование же в герметично-замкнутых помещениях большинства известных химических дезинфицирующих средств и физических методов обеззараживания чревато токсикологической и экологической опасностью (чуть ниже мы поясним их причины).

Многолетние наблюдения показали: важнейший фактор риска на орбитальных станциях – микробиологический. Он способен негативно влиять как на состояние здоровья людей, так и на надежность работы используемой техники. Например, в среде обитания Международной космической станции (МКС) обнаружено значительное число видов бактерий и грибов, многие из которых потенциально патогенны для человека либо относятся к возбудителям биодеградации полимеров и биокоррозии металлов, а их количественный уровень может достигать в отдельные периоды критических величин –  $10^5$ – $10^6$  колониеобразующих единиц в 1 м<sup>3</sup> воздуха или на 100 см<sup>2</sup> поверхности. Исследования микрофлоры интерьера и оборудования орбитальных комплексов «Салют»,

\*См.: Э. Галимов. Перспективы планетоведения. – Наука в России, 2004, № 6; А. Григорьев, Б. Моруков. Марс все ближе. – Наука в России, 2011, № 1 (прим. ред.).



Импульсные ксеноновые лампы и спектр их излучения.

«Мир» и МКС показали наличие в общей сложности около 300 видов бактерий и микроскопических грибов. В процессе эксплуатации «Мира» и МКС выявлены повреждения и отказы в работе различных приборов и блоков, обусловленные ростом и развитием на них микроорганизмов – технофилов. В том числе было установлено, что причиной преждевременного отказа одного из блоков прибора связи стал рост плесневых грибов, а высокопрочный кварцевый иллюминатор и противопожарный датчик вышли из строя из-за атак плесневых грибов и спорообразующих бактерий.

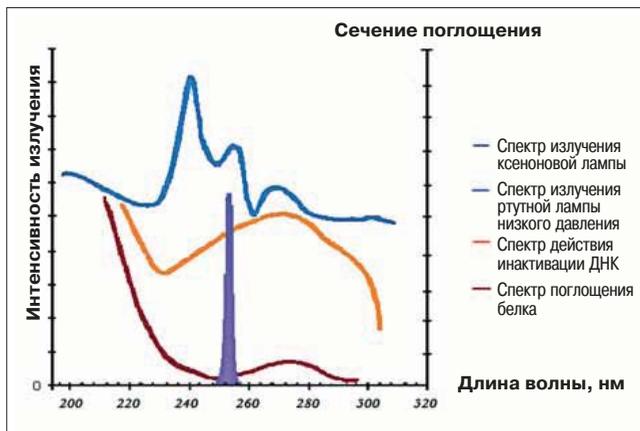
Выходит, и в космической отрасли, и в практической медицине актуально создание новых технических средств дезинфекции помещений, повышающих эффективность обеззараживания при одновременном снижении токсичности, длительности и трудоемкости самого процесса. Но прежде чем рассказать о них, поясним принцип действия на микробную клетку традиционных дезинфектантов. Скажем, хлорсодержащие препараты или перекись водорода вступают во взаимодействие с ее белками, провоцируя реакцию окисления. Минеральные кислоты и щелочи при содействии водородных и гидроксильных ионов вызывают гидролиз. Фенольные препараты – реакцию коагуляции белков. Иначе говоря, клетка инактивируется путем введения высококонцентрированных, токсичных для нее веществ. А поскольку метаболизм у микробов и высших животных, включая человека, принципиально сходны, то все химические дезинфектанты токсичны для людей, что затрудняет их широкое применение прежде всего в герметично замкнутых помещениях.

Физические методы обеззараживания (бактерицидное УФ-излучение, сильные электрические поля и ряд других) не подразумевают использование хи-

мических реагентов, не накапливают вредные вещества в воздухе или в воде и являются вследствие этого экологически чистыми дезинфекционными технологиями. Наиболее прост первый из перечисленных методов. Каков же принцип его действия?

Бактерицидное излучение – часть ультрафиолетового спектра, оно располагается между видимым и рентгеновским участками, занимая диапазон длин волн от 400 до 9 нм. В фотобиологии (раздел науки, исследующий закономерности и механизм действия света на различные системы) и медицине рассматривается действие на биологические объекты УФ-излучения, которое свободно проходит через атмосферу (от 190 до 400 нм). В зависимости от биоэффектов, им вызываемых, указанный диапазон разделяется на три основные части: длинноволновой (315–400 нм), средневолновой (эритемное излучение – 280–315 нм) и коротковолновой (бактерицидное излучение – менее 280 нм).

Напомним, основной закон фотохимии и фотобиологии гласит: действует только поглощаемый свет. А главные компоненты всех живых существ – белки, нуклеиновые кислоты и липиды – оказываются мишенями для квантов коротковолнового УФ-света. Причем в живых клетках он поглощается в основном нуклеиновыми кислотами, содержащимися в ДНК, и белками. В результате многочисленных экспериментов установлено, что возможны четыре вида фотохимического повреждения ДНК коротковолновым УФ-излучением, вызывающие гибель микроорганизмов. Это, во-первых, фотодимеризация, т.е. соединение двух одинаковых молекул под действием света. Во-вторых, фотогидратация – процесс присоединения молекулы воды или гидроксильных оснований (ОН) с разрывом двойных связей (кстаги, в отличие от димеризации данная реакция не является фотообрати-



Спектры поглощения белка, инактивации ДНК с наложенными на них спектрами излучения ртутной бактерицидной и импульсной ксеноновой ламп.

мой). Третий вид – фотосшивки с белками, т.е. образование химических связей нуклеиновых кислот ДНК с белком. И, наконец, четвертый – фоторазрыв цепей ДНК.

В настоящее время практически все УФ-обеззараживающие устройства оснащены ртутными или амальгамными лампами непрерывного горения, которые излучают преимущественно одну линию – 254 нм в бактерицидной области спектра (около 80% от всего генерируемого лампой света). Механизм действия такого монохроматического излучения хорошо изучен: под его влиянием в ДНК образуются димеры тимина\*, что и ведет к гибели микроорганизмов.

Отметим, каждый вид фотохимического повреждения зависит от энергии поглощенного фотона. А спектр излучения ртутной лампы (254 нм) почти совпадает с максимумом поглощения нуклеиновых кислот ДНК (265 нм). Следовательно, для интенсификации процессов разрушения микробной клетки необходимо расширить спектральный диапазон светового потока, прежде всего в коротковолновой области, и одновременно увеличить его интенсивность для дополнительной активации протекающих фотохимических реакций.

Эти требования реализуются в предложенной нами новой импульсной плазменно-оптической технологии обеззараживания различных объектов. В ее основе – импульсное излучение сплошного спектра (близкого по составу к солнечному), включая его инфракрасную, видимую и ультрафиолетовую части. Обработка контаминированных (инфицированных) объектов осуществляется несколькими короткими по длительности (от десятков до сотен микросекунд) световыми импульсами очень высокой интенсивности

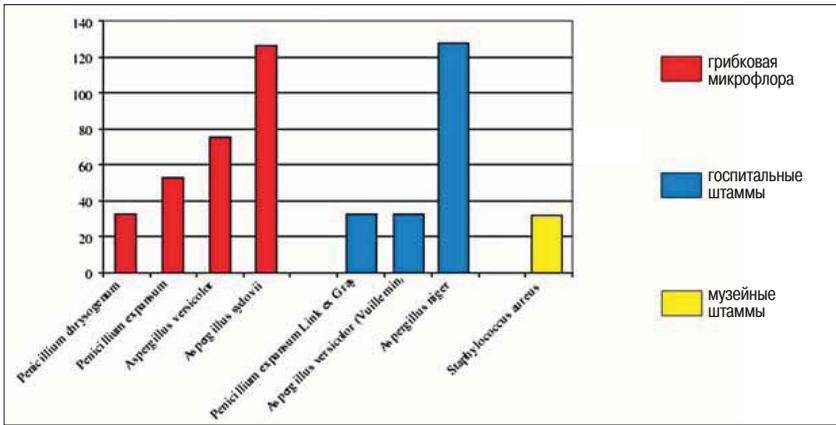
\*Тимин – 5-метилурацил, природное органическое соединение, содержится во всех организмах в составе ДНК (прим. ред.).

(более 10 кВт/см<sup>2</sup>), в десятки тысяч раз превышающей интенсивность наиболее мощных ртутных бактерицидных ламп. Причем частота следования импульсов регулируется от одиночных экспозиций на объекте до сотен вспышек в секунду при работе в непрерывном режиме.

Генератором такого излучения служит импульсная ксеноновая лампа, представляющая собой кварцевую трубку с вольфрамовыми электродами. При подаче на них высокого напряжения межэлектродный промежуток пробивается и происходит мощный дуговой электрический разряд. Образующаяся в нем плотная ксеноновая плазма с температурой 10 000–20 000 К и концентрацией электронов  $10^{18}$ – $10^{19}$  см<sup>-3</sup> является источником мощного теплового излучения видимого и УФ-диапазонов, характеризующегося сплошным спектром. Для реализации импульсной плазменно-оптической технологии нами были разработаны конструкции ламп и режимы их функционирования в воздушной среде без принудительного охлаждения.

Новый способ обеззараживания destructively воздействует на все жизненно важные структуры клеток микроорганизмов (нуклеиновые кислоты, белки, биомембраны и др.), что снижает возможности их адаптации и значительно повышает биоцидный эффект. Расширение диапазона спектра излучения (200–350 нм) позволяет вызывать фотохимические повреждения ДНК, сопровождаемые фотодимеризацией, фотодегидратацией, сшивками с белками и даже разрывами ее цепей. При длине волны короче 240 нм денатурируется белок, при этом подавляется активность ферментов, процессы световой и темновой реактивации (способности клеток исправлять химические повреждения и разрывы в молекулах ДНК).

Благодаря высокой интенсивности излучения ксеноновых ламп многократно усиливается роль цеп-



Активность импульсного УФ-излучения по отношению к грибковой микрофлоре.

ных реакций фотодеструкции с участием радикальных частиц. А при уровнях радиационных потоков от 1 до 5 кВт/см<sup>2</sup> запускаются фототермические процессы разрушения клеток. В интервалах длительностью в десятки микросекунд скачки температуры могут достигать сотен градусов, что усиливает эффективность обеззараживания объектов, находящихся вблизи от источника света. Меняя частоту его работы, можно дозировать поток поступающей на объект УФ-энергии, регулировать температурный режим дезинфекции.

Новая технология полностью отвечает критериям экологической чистоты и безопасности — она не требует дезинфицирующих препаратов, не имеет отрицательных побочных эффектов (не нарабатываются озон и окислы азота, отсутствует ионизирующая компонента электромагнитного излучения). Используемые лампы не содержат ртути и других токсичных химических веществ.

Сравнительные эксперименты показали: импульсное УФ-излучение ксенонových ламп эффективнее действует на устойчивые формы микроорганизмов (бактерии, споры грибов), чем непрерывное излучение ртутных. В частности, пороговые поверхностные энергетические дозы (бактерицидный поток на 1 см<sup>2</sup> облучаемой поверхности) импульсного УФ-излучения в 7–10 раз ниже соответствующих доз непрерывного излучения ртутных ламп. При этом предельные значения эффективности обеззараживания поверхностей и воздуха импульсной лампой на один-два порядка выше получаемых при работе ртутной даже более 1 ч.

Для объективной оценки предложенного нами метода стерилизации на базе профильных институтов РАН, РАМН, Роспотребнадзора, Федерального медико-биологического агентства РФ были проведены исследования биоцидной активности импульсного

УФ-излучения. В результате сформирована база данных пороговых доз для более чем 100 видов микроорганизмов, среди которых 43 изолированы из среды обитания орбитальных космических станций и свыше 20 высокорезистентных (госпитальных штаммов) видов выделены из больничных помещений. Для всех видов микрофлоры доказаны значения эффективности обеззараживания от 99,9% до 100%.

Новый метод стерилизации уже реализован на практике: научно-производственным предприятием «Мелитта» (Москва) разработан и освоен с 2009 г. выпуск переносных, передвижных и стационарных импульсных УФ-установок серии «Альфа» для экспресс-обеззараживания помещений в лечебно-профилактических учреждениях. С их помощью можно оперативно проводить дезинфекцию в перерывах между операциями, не снижая потока больных, и поддерживать минимальный микробный фон на протяжении всего рабочего дня. Например, для стерилизации 100 м<sup>3</sup> воздуха с эффективностью 99% «Альфе-1» требуется всего 3,5 мин.

Высокая фунгицидная активность этих аппаратов позволяет производить не только дезинфекцию воздуха, зараженного спорами бактерий и плесневых грибов, но и проводить оперативную деконтаминацию открытых поверхностей. Эффективны они и против возбудителей туберкулеза. Так, при воздействии на каждый из 10 лекарственно устойчивых штаммов, выделенных от больных с различными формами этого инфекционного заболевания, отмечена 100%-ная гибель облученных культур.

Важно и наличие в установках дистанционного управления — оно обеспечивает более высокий уровень биологической безопасности персонала при чрезвычайных ситуациях, связанных с высоким содержанием патогенных и условно-патогенных микроорганизмов в помещениях.



**Передвижные аппараты «Альфа-01», переносные «Альфа-05» и стационарные «Альфа-02» для экспресс-обеззараживания помещений.**

Установки серии «Альфа» уже эксплуатируются в 39 регионах России, а также в США, Израиле и ЮАР. Более 500 передвижных и переносных аппаратов используются в клиниках, родильных домах и других лечебно-профилактических учреждениях Минздрава-соцразвития РФ, что значительно понизило уровень внутрибольничных инфекций. Например, проведенный еще в 2007-2008 гг. мониторинг лечебных учреждений Алтайского края, имеющих импульсные УФ-установки, показал снижение гнойно-септических инфекций среди новорожденных и рожениц на 25-27%. Учитывая то обстоятельство, что примерно 10% из числа умирающих в стационарах погибают не от основной болезни, а от гнойно-септических осложнений, очевидно: спасение жизни каждого четвертого пациента в этой зоне риска является важным вкладом в практическое здравоохранение.

И в заключение пример из космической области. Использование импульсного УФ-оборудования при стерилизации помещений на космодроме Байконур существенно снизило вероятность передачи возбудителей инфекционных заболеваний аэрогенным путем во время общения космонавтов с аккредитованными представителями средств массовой информации, членами Государственной комиссии и сотрудниками Центра подготовки космонавтов, а обработка на установках «Альфа» личных вещей членов эки-

пажей и грузов перед их отправкой на МКС повысила эффективность санитарно-гигиенического и противоэпидемического обеспечения полетов.

*За разработку и внедрение импульсных плазменно-оптических технологий и установку в космическую медицину и практическое здравоохранение удостоены премии Правительства РФ в области науки и техники за 2010 г. директор Института медико-биологических проблем РАН Игорь Ушаков (руководитель работы), сотрудники того же института Наталья Новикова и Николай Поликарпов, ученые МГТУ им. Н.Э. Баумана Александр Камруков и Сергей Шашковский, директор НПП «Мелитта» Яков Гольдштейн, директор НИИ дезинфектологии Михаил Шандала и сотрудник того же учреждения Виктор Юзбашев, заместитель руководителя Федерального медико-биологического агентства Вячеслав Рогожников.*

*Иллюстрации предоставлены авторами*