

БИО-РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ТЕХНИКИ

*С.А. Семенов, *К.З. Гумаргалиева, *И.Г. Калинина, **Г.Е. Заиков

*Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук

**Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук

В обзоре показано развитие теоретических представлений о механизме повреждающего действия микроорганизмов на материалы в условиях эксплуатации и разработаны рекомендации по защите изделий техники.

Введение

Надежность изделий техники во многом определяется их стойкостью к воздействию внешней среды, естественной составляющей которой являются микроорганизмы (микроскопические грибы, бактерии, дрожжи и др.). Микроорганизмы деструкторы (биофактор, биодеструкторы), воздействуя на объекты техники, вызывают повреждения последних (биоповреждение, микробиологическое повреждение): изменение структурных и функциональных характеристик вплоть до разрушения.

Биодеструкторы способны быстро адаптироваться к различным материалам как к источникам питания, условиям внешней среды и к средствам защиты. Кроме того, в процессе эксплуатации при воздействии различных факторов первоначальная, заложенная при изготовлении, стойкость материалов к биофактору может значительно снижаться. В связи с этим практически все известные материалы подвержены биоповреждению. Экономический ущерб от него оценивается в 2 - 3% стоимости всего объема промышленной продукции.

Вместе с тем особенности и закономерности воздействия биофактора изучены гораздо в меньшей степени, чем влияние на объекты техники небиологических факторов таких, как температура, механические напряжения, световое излучение, агрессивные среды техногенного происхождения и др. В настоящее время большое внимание исследователей сосредоточено на экологобиологической составляющей проблемы. Изучаются видовой состав, особенности свойств, способность микроорганизмов заселять материалы, а подбор средств защиты в

большинстве случаев производится эмпирически. Несмотря на большой объем выполненных в этом направлении работ, используемые средства часто не обеспечивают достаточной стойкости изделий к воздействию микроорганизмов. В условиях эксплуатации отмечаются, обусловленные микробиологическим повреждением материалов, случаи отказов и неисправностей самолетов, кораблей, автомобилей, инженерных машин и средств, стрелкового оружия и других изделий техники.

Низкая эффективность защиты во многом связана с недостаточной изученностью материаловедческих аспектов повреждающего воздействия микроорганизмов. Отсутствуют количественные данные о процессах биоповреждения техники в реальных условиях эксплуатации. Имеющаяся информация носит описательный характер, нередко не имеет достаточного экспериментального подтверждения. К настоящему времени не разработаны достоверные методы диагностики и прогнозирования.

Успешное решение проблемы может быть достигнуто исследованиями природы и кинетических закономерностей взаимодействий материалов с биодеструкторами. Эти исследования позволят обосновать научно-методические подходы к объективной, достоверной оценке и прогнозированию микробиологической стойкости изделий техники, будет способствовать разработке биостойких материалов, конструкций, эффективных средств и методов защиты. В конечном итоге это дает значительную экономию финансовых ресурсов, направляемых на восстановление

оборудования, пришедшего в негодность.

Цель данного обзора заключается в том, чтобы показать развитие теоретических представлений о механизме повреждающего воздействия микроорганизмов на материалы в условиях эксплуатации, и разработать рекомендации по защите изделий техники.

При этом особое внимание необходимо обратить на:

- экспериментальное обоснование характеристик процесса взаимодействия материалов с биодеструкторами на этапах закрепления (адгезии), роста микроорганизмов на материалах, изменения свойств последних;

- установление кинетических закономерностей, аналитических моделей и количественных показателей этапов биоповреждения материала;

- изучение влияния свойств материала, особенностей микроорганизма, температуры, влажности и других факторов на взаимодействие материала с биодеструктором;

- разработку рекомендаций по определению и прогнозированию биостойкости материалов, созданию средств и методов защиты, оценке их эффективности.

Биоповреждение (биологическое повреждение) – это любое изменение (нарушение) структурных и функциональных характеристик объекта, вызываемое биологическим фактором [1, 2]. Под биологическим фактором подразумевают организмы или их сообщества, воздействие которых на объект техники нарушает его исправное или работоспособное состояние. Наиболее агрессивны по отношению к материалам и изделиям микроорганизмы (микроорганизмы-деструкторы, биодеструкторы): микроскопические грибы, бактерии, дрожжи [2 – 4]. Являясь составной частью окружающей среды, биодеструкторы, в силу специфики своей жизнедеятельности, способны быстро адаптироваться к самым различным материалам и постоянно изменяющимся условиям. Практически все используемые в изделиях техники материалы

подвержены микробиологическому повреждению [2, 4].

Наличие и интенсивность микробиологического повреждения характеризует стойкость объекта техники к микробиологическому фактору (микробиологическую стойкость) – свойство объекта (материала, детали, изделия) сохранять значение показателей в пределах, установленных нормативно-технической документацией в течение заданного времени в процессе или после воздействия микробиологического фактора [1].

Значимость проблемы биоповреждений подчеркивается многими специалистами. Так, мировой экономический ущерб от биоповреждений в 1950-х годах оценивался в 2% от объема промышленной продукции, а в 70-х он превысил 5%. Что составляет десятки млрд. долларов. Около половины общего объема приходится на микробиологические повреждения. От коррозии железных труб в США, вызываемой сульфатвосстанавливающими бактериями, ущерб оценивается в 2 млрд. долларов в год [3]. Считается, что более 50% всех коррозионных процессов связано с воздействием микроорганизмов [4].

Повреждаемые материалы и микроорганизмы-деструкторы

Наиболее полно исследованы микробиологические повреждения горюче-смазочных материалов (ГСМ) [5 – 11]. Установлено, что ряд видов микроорганизмов, обладая способностью ферментативного окисления жидких углеводов, используют их в качестве источника питания. Ассимилируя такие углеводороды и воздействуя на них продуктами жизнедеятельности микроорганизмов-деструкторы приводят к разложению и потере рабочих свойств материала. Нефтяные топлива подвержены микробиологическому повреждению как при хранении и транспортировании, так и при эксплуатации [12 – 16].

Изучение вопросов, связанных с развитием микроорганизмов в топливах,

началось в США в период создания реактивной авиации. Было показано, что накопление в топливных системах продуктов роста и жизнедеятельности микроскопических грибов и бактерий может вызывать засорение фильтров и других агрегатов, нарушение работы датчиков топливоизмерительной аппаратуры, повреждение внутренних защитных покрытий и коррозионные поражения материалов топливных систем [17-22].

Установлено [23-27], что практически все топлива, в том числе и авиационные керосины, не устойчивы к воздействию микроорганизмов и являются достаточно благоприятной средой для развития ряда видов микроскопических грибов и бактерий. Рост микроорганизмов может приводить к накоплению в топливных системах большого количества биомассы и агрессивных продуктов жизнедеятельности (органических кислот, аминокислот, ферментов и т.д.), что в случае непринятия необходимых мер приводит к отказам и неисправностям в работе технических изделий.

В печати сообщается [28], что в период рейсов морских судов в топливных резервуарах развиваются интенсивные микробиологические процессы. За одни сутки микро-организмы «перерабатывают и портят» от 100 до 900 мг горючего (дизельного топлива) на каждый его кубометр. При этом такой показатель как «количество механических примесей» для дизтоплива может в десятки и сотни раз превышать допустимую норму.

Авторами отмечается [29], что все моторные, дизельные, вазелиновые, веретенные, авиационные, почти все трансмиссионные и изоляционные масла и пластичные смазки неустойчивы к грибам и бактериям. При воздействии этих микроорганизмов большинство показателей свойств масел и смазок (вязкость, кислотное число, стойкость к окислению и др.) существенно изменяет свои значения. Возникает коррозия узлов и деталей, контактирующих с поврежденными маслами и смазками. Имели место случаи отказов в работе маслоагрегатов в

результате микробиологических повреждений рабочих масел [28].

Многие авторы отмечают большую зависимость микробиологической стойкости ГСМ даже одного и того же типа от исходного сырья и технологии изготовления. Так, масла различного назначения из анастасиевской нефти самые устойчивые, а трансформаторное масло из этой нефти считают «абсолютно устойчивым» по отношению к микроорганизмам [29]. Такие отличия обусловлены особенностями группового и индивидуального углеводородного состава конкретного материала. Установлено также, что многие соединения серы, имеющиеся в сернистой нефти, значительно снижают микробиологическую стойкость изготовленных из нее масел. В то же время имеющиеся в смолистых фракциях нефти азотсодержащие соединения оказываются активными биоцидами – веществами, убивающими микроорганизмы.

Среди многочисленных внешних условий, способствующих микробиологическим повреждениям ГСМ, определяющими являются наличие в материале воды, минеральных примесей (загрязнений) и температура.

Характерными, способными развиваться в топливах микроорганизмами являются бактерии родов *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Desulfovibrio*; грибы родов *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*; дрожжи родов *Candidas*, *Torula* [2, 4, 29].

Масла и смазки наиболее часто повреждаются грибами *Aspergillus niger*, *Penicillium variabile*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium verrucosum*, *Scopulariopsis brevicaulis*; бактериями *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus licheniformis* [2, 4, 29].

Большое количество работ посвящено вопросам воздействия микроорганизмов на металлы и их сплавы [4, 30, 31]. В результате жизнедеятельности микроорганизмов на поверхности металла формируется специфическая агрессивная среда, образуются электрохимические концентрационные элементы, в

окружающей среде (растворе) и (или) на поверхности создаются агрессивные химические соединения и изменяются электрохимические потенциалы. Грибы и бактерии способны инициировать и интенсифицировать различные виды коррозии.

Многие бактерии могут инициировать коррозию даже обычно коррозионно-стойких металлов и сплавов, таких, например, как медь, свинец и др. [30]. Грибная коррозия наиболее часто проявляется на технических изделиях (оборудование, приборы, сложные узлы и агрегаты), в которых металлические детали контактируют с материалами, способствующими развитию грибов [32-38].

В печати [39, 40] приведены результаты экспериментальных исследований разрушений алюминиевых и магниевых сплавов, вызываемых грибами *Aspergillus niger* и др. Отмечено разнообразие коррозионных поражений (расслоение, питтинг, межкристаллитная). Предел усталости испытываемых образцов снижается в большей степени, чем после обычного химического воздействия.

В процессах коррозии алюминевых и стальных сплавов принимают активное участие грибы родов *Aureobasidium*, *Alternaria*, *Stemphylium* [41].

Испытания стальной, алюминевый и медной проволоки под воздействием микроскопических грибов [42, 43] показали, что менее стойкими являются стальные образцы. Наиболее агрессивны культуры *Aspergillus niger*, *Aspergillus amstelodami* и *Penicillium cyclopium*. В то же время культуры *Chaetomium globosum* и *Stachybetris atra* заметных изменений не вызвали. Разрушение медной проволоки отмечено лишь под воздействием *Penicillium cyclopium*.

Многие лакокрасочные покрытия (ЛКП), полимерные материалы, резинотехнические изделия подвержены отрицательному воздействию микроорганизмов [44, 45], что связывают, главным образом, с воздействием веществ, продуцируемых микроскопическими грибами и бактериями в процессе

жизнедеятельности. Изменение свойств материалов наступает в результате различных реакций – окисления, восстановления, декарбоксилирования, этерификации, гидролиза и др. [3].

Решающее значение для микробиологической стойкости ЛКП имеет химический состав пленкообразующего полимера и физические свойства полученной из него пленки покрытия (набухаемость, твердость, пористость, гидрофобность и др.) [2]. Используемые в качестве пигментов вещества в зависимости от наличия в них биоцидных свойств могут существенно влиять на стойкость ЛКП к микроорганизмам. Авторы [45-47] показывают, что окись железа в составе ЛКП стимулирует рост микроорганизмов, двуокись титана – инертна, а окись цинка замедляет его. Из наполнителей асбест и тальк увеличивают, а карбонат кальция уменьшает интенсивность роста. Низкая грибостойкость ряда ЛКП связана с наличием в их составе в качестве наполнителя окиси магния, которая, обладая гигроскопичностью, поглощает влагу, набухает и тем способствует интенсивному развитию микроорганизмов [48].

Многие исследователи подчеркивают большое влияние на микробиологическую стойкость ЛКП таких внешних факторов, как солнечная радиация, колебания температуры и влажности воздуха, загрязнение поверхности пылью и солями, воздействие различных газов и др. Они способствуют процессам старения ЛКП и подготавливают питательную среду для микроорганизмов [49-56]. Микробиологическим повреждениям ЛКП благоприятствуют также нарушения технологий нанесения покрытий и требований по уходу за ними в эксплуатации [57, 58]. При исследовании эпоксидных эмалей (ЭП-525, ЭП-567), нанесенных по грунту АК-070, выявлено, что основными факторами, снижающими физико-механические и защитные свойства ЛКП, являются влажность воздуха, температура и метаболиты грибов во взаимодействии. Наибольшее

снижение прочностных характеристик наблюдается в первые 15 – 30 суток в период активного роста грибов [59].

Основными агентами микробиологических повреждений ЛКП являются плесневые грибы. Бактериальные поражения встречаются реже. Грибы, повреждающие ЛКП наиболее часто принадлежат родам *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Pullularia*, а бактерии - родам *Pseudomonas*, *Flavobacterium* [2, 53].

Микробиологические повреждения полимеров, применяемых в конструкциях машин и оборудования, встречаются достаточно часто. Подсчитано, что из числа повреждений, вызываемых микроорганизмами, на детали из пластмасс приходится около 25% [60]. Свыше 60% используемых в технике полимерных материалов не обладают достаточной микробиологической стойкостью [4]. Чаще всего их микробиологические повреждения возникают под воздействием микроскопических грибов, изменяющих цвет, структуру полимера. А в тонких пленках - герметичность и прочность.

Следует отметить существующую противоречивость сообщений о грибостойкости различного вида полимеров. Достаточно стойкими считают авторы [61, 62] полиэтилены, поливинилхлориды, фторопласты, пенопласты, поливинилацетат. В то же время в работах [63, 64] сообщается, что под действием грибов происходит повреждение нейлона и неопрена, полиэтилена и поливинилхлорида. В работах [65, 66] наблюдалось обрастание полиэтилена грибом *Neurospora sitophila*, а авторы [67] считают этот материал наиболее устойчивым, так как нанесенные на него споры грибов вообще не развивались в течение длительного времени.

К наиболее характерным микроорганизмам-деструкторам полимеров относятся следующие виды грибов: *Aspergillus wamori*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Trichoderma sp.*, *Aspergillus amstelodami*, *Aspergillus flavus*, *Chaetomim globosum*, *Trichoderma lignorum*, *Cephalosporium aeremonium*,

Penicillium sp., *Rhizopus nigricans*, *Fusarium roseum* [68 - 71].

Микробиологическая стойкость резинотехнических изделий (РТИ) во многом зависит от их компонентного состава. О низкой стойкости к воздействию микроорганизмов основного компонента – каучука сообщается в работах [68-75]. Росту микроорганизмов способствуют также и другие компоненты (стеарин, дибутилфталат) [76]. Грибостойкость также связана с технологией изготовления РТИ, в частности зависит от процесса вулканизации [77].

Многие исследователи связывают интенсивность роста микроорганизмов на РТИ с процессами их старения под воздействием внешних факторов (свет, температура, давление, озон, влага и др.) [78, 79]. Под их воздействием происходит разрыв макромолекулярных цепей, изменение состава отдельных звеньев, разрушение поверхностного слоя резины. Все это создает благоприятные условия для развития микроорганизмов.

Исследования процессов микробиологических повреждений оптического стекла показывают, что даже незначительные повреждения поверхности стекол приводит к существенному снижению и даже потере работоспособности оптических приборов.

Авторами [80, 81] установлено, что уже при слабом развитии плесневых грибов на поверхности оптического стекла (монокуляра), коэффициент светопропускания уменьшается в среднем на 28%, а коэффициент светорассеяния увеличивается в среднем в 5.2 раза. Выявлены микробиологические повреждения окуляров и призм бинокулярных луп, конденсаторов микроскопов [82].

Интенсивность развития микроорганизмов во многом зависит от вида (состава) стекла. Так, на кроновых стеклах, содержащих большое количество кремнезема, плесень развивается быстрее, чем на флитовых, в составе которых меньше кремниевой кислоты, значительную часть занимают окислы тяжелых металлов [82, 83].

Отмечается большая роль в возникновении микробиологических повреждений стекла таких способствующих этому факторов, как его загрязнения при изготовлении и эксплуатации оптических приборов, контакты с небистойкими деталями (прокладки, смазка и др.), с поврежденных участков которых биодеструкторы переносятся на поверхность стекла [84-87].

С пораженных оптических деталей в различных климатических районах идентифицирован весьма разнообразный видовой состав микроскопических грибов: *Aspergillus niger*, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium luteum*, *Penicillium spinulasum*, *Penicillium commune*, *Penicillium citrinum*, *Penicillium frequentens*, *Mucor sp.* и др., всего 23 вида [2-4].

Работы, посвященные микробиологическим повреждениям радиоэлектронного оборудования, свидетельствуют об их весьма высокой чувствительности к процессам жизнедеятельности микроорганизмов. Разнородные по составу материала и технологии изготовления детали обладают различной микробиологической стойкостью. Развивающиеся на каком-либо участке микроорганизмы способны приводить к повреждениям и достаточно стойких к их воздействию деталей, снижению рабочих параметров и даже отказам в работе изделий. По заключению специалистов, работающих в области надежности радиоэлектронного оборудования, 0.5% отказов аппаратуры обусловлено действием микробиологической среды [88].

Многие авторы отмечают, что рост плесени на поверхности электроизоляции приводит к резкому падению ее электросопротивления [89 - 91]. Авторами отмечается опасность появления плесневых грибов на материалах электронной аппаратуры [92 - 94]. В работах сообщается, что из-за плесени, образовавшейся вследствие несовершенства системы вентиляции и высокой влажности воздуха на надводных кораблях, наблюдается частый выход из строя радиоэлектронного оборудования

[95, 96].

Отмечается, что наибольшее количество микробиологических повреждений на материалах и деталях радиоэлектронного оборудования наблюдается в районах с тропическим климатом. В то же время они обнаруживаются практически во всех климатических районах [97 - 99].

Исследованиями, проведенными на объектах речного и морского флота, эксплуатирующихся (хранящихся) в различных климатических районах, установлено, что основными очагами распространения плесневых грибов на радиоэлектронном оборудовании являются следующие материалы: х/б нити, дерматин, резина, керамика, фибра, пластмассы, войлок, фетр, локоткань и др. На пластмассовых платах приборов под воздействием микроорганизмов образуются раковины, вспучивания и трещины. Выявлены случаи разрушения изоляционных материалов (локотканей, ЛКП, трубок ПВХ), пробоя изоляции электропроводов и плат, выхода из строя трансформаторов и др. Микробиологической коррозии подвержены многие детали электрооборудования из стали, алюминиевых и магниевых сплавов (Ст.10, 45, 30ХГСА, Д16Т, АМГ, АМЦ, МА-16 и др.), а также детали с цинковыми, кадмиевыми, фосфатными, оловянными покрытиями.

Процессы взаимодействия материалов с микроорганизмами-деструкторами

Несмотря на разнообразие причин возникновения и развития микробиологического повреждения они могут быть сведены к ряду общих для любых биоповреждающих ситуаций взаимодействий материала с микроорганизмами. Прежде всего необходимо наличие источника биодеструкторов, затем должен быть осуществлен их (биодеструкторов) перенос от такого источника к потенциально повреждаемой поверхности (материалу, детали, изделию). После этого происходят закрепление, рост на этой поверхности (или в объеме) микроорганизма и изменение свойств

контактирующего с ним материала.

Перечисленные этапы общего процесса изучены не в одинаковой степени. В работах по проблеме биоповреждений рассматриваются, как правило, только рост микроорганизмов и его влияние на свойства материалов.

Отдельные аспекты переноса микробных клеток в атмосфере, их закрепления и роста на различных субстратах отражены в литературе по атмосферной, почвенной и медицинской микробиологии, адгезии мелкодисперсных частиц, роста биологических систем. Изучение влияния на материалы агрессивных сред, к которым, вероятно, могут быть отнесены и микроорганизмы, является предметом многочисленных материаловедческих исследований.

В связи с этим представлялось целесообразным провести анализ имеющихся в литературе сведений о природе, закономерностях и методологии исследований взаимодействия материалов с микроорганизмами, привлекая свойственные упомянутым выше научным дисциплинам представления об этих взаимодействиях.

Как известно, микроорганизмы распространены повсеместно. Они населяют почву, воду, воздух, растения, организмы животных и человека [100]. Но все же их основным местом обитания является почва, а видовой состав и количество зависит от ее природных и химических особенностей. Наиболее насыщен слой почвы на глубине 5 - 15 см, 1 г ее содержит до 10^8 единиц микроорганизмов. [100, 101]. Распределение их различных групп определяется типом почвы [102]. Микроорганизмами-космополитами всех типов почв являются грибы родов *Penicillium*, *Aspergillus* и бактерии *Bacillus mycoides*, *Bacillus megaterium*.

Состав микроорганизмов в атмосферном воздухе зависит от их содержания в почве и воде, а также от времени года и метеорологических условий.

Размножение и распространение микроорганизмов происходит преиму-

щественно посредством спор [103]. Несмотря на большое разнообразие размеров и форм, огромное количество спор является одноклеточными образованиями овальной или сферической формы с диаметром 1 - 50 мкм.

У большинства микроскопических грибов распространение спор в природе распадается на две фазы [103]: освобождение спор из непосредственного контакта с материнской тканью и их разнесение ветром, насекомыми и т.д. У живущих на суше грибов споры, как правило, отбрасываются активно, освобождаясь от материнской ткани. Активное освобождение может происходить различными способами: выбрасывание спор лопающимися турисцентными клетками, выбрасывание водяной струей, выдавливание содержащей споры набухающей слизистой массы через стенки клеток и др. Имеются грибы, споры которых отделяются пассивно. Среди пассивного освобождения спор выделяются следующие варианты: отделение под действием силы тяжести; освобождение под действием конвекционных токов; сдувание спор (дефляция); отделение при столкновении с капельками тумана или дождя.

Попав в атмосферу, споры рассеиваются, концентрация их в воздухе убывает по мере удаления от источника. Считается, что основными факторами, определяющими распространение спор, является скорость ветра и скорость падения спор в спокойном воздухе [104, 105]. Скорость падения варьируется от 0.05 см для мелких спор (диаметром 4,2 мкм) до 2.8 см для крупных удлинённых спор (диаметром 29 - 68 мкм). Для спор большинства микроскопических грибов она составляет, примерно, 1 см.

Авторами работ [100, 103] по распределению микроорганизмов в воздухе сделан вывод, что для количественного определения их присутствия в разных местах и в разное время вполне правомерно применять методы математической статистики. Предложены аналитические уравнения,

позволяющие определить концентрацию спор в облаке, образованном различными источниками. Источники по характеру выделения спор разделяют на три типа: мгновенный точечный источник, непрерывный точечный источник, непрерывный линейный источник.

Определение количества спор, находящихся в воздухе, производится различными методами. Широкое распространение получили седиментационные методы, основанные на осаждении частиц под действием силы тяжести. С применением небольших по размерам ящиков, имеющих откидные стенки, исследуют седиментацию из неподвижного воздуха. Из естественного воздушного потока осаждение спор изучают на стеклянных пластинах, экспонирующихся под навесом. Используются и другие способы, в том числе с искусственным приведением в движение воздуха. Для исследования характера распределения и осаждения спор в различных воздушных потоках применяют инерционные методы (с помощью инерционных фильтров, различных сопел, флюгера, насоса, вентилятора, вертикальных цилиндров, центробежных заборников, воздушных шаров и др.).

Следующим этапом и необходимым условием процесса взаимодействия микроорганизмов с материалом является перенос микробных клеток к потенциально повреждаемой поверхности. В исследованиях микробиологии атмосферы этот этап обычно называют осаждением спор.

Под этим термином подразумевают все те процессы, в результате которых находящиеся в воздухе микроорганизмы переходят из взвешенного состояния на поверхность твердых тел (до момента начала закрепления на поверхности материала) или жидкости [100, 103, 106].

Известны следующие основные виды осаждения в естественных условиях: инерционное осаждение, седиментация, обмен в пограничном слое, турбулентное осаждение, осаждение дождем и электростатическое осаждение. Все эти

виды осаждения характеризуются соотношением между количеством спор, присутствующих в воздушном слое толщиной в 1 см над поверхностью, и их количеством, осевшим на данную поверхность.

В исследованиях обычно используют какую-либо стандартную поверхность (обычно поверхность стекла), на которую, как правило, наносят питательную для микроорганизмов среду. Подсчет уловленных поверхностью спор производится известными микробиологическими методами [106 - 108].

Взаимодействие микроорганизмов с материалом начинает проявляться в непосредственной близости от его поверхности на расстоянии порядка сотен ангстрем и приводит к прикреплению клеток к материалу [109, 110]. Эту стадию процесса биоповреждения в литературе обозначают различными терминами: сорбция, адсорбция, адгезия, закрепление, поглощение и др. В то же время, с точки зрения современной физической и коллоидной химии поглощение микробных клеток (спор) твердыми материалами можно рассматривать, как процесс адгезии [111, 112]. Согласно упомянутым представлениям две поверхности могут считаться адгезированными, когда требуется какая-либо работа для разделения их до первоначального состояния.

Имеющиеся данные позволяют рассматривать процесс адгезии микроорганизмов как необходимое условие и первый этап собственно повреждения материала. В [109] показано, что разрушение стекла бактериями происходит именно в местах их прикрепления к поверхности. Установлено, что у термофильного анаэроба *Clostridium thermocellum* при контакте с целлюлозой образуется контактный коридор из целлюлосом, где и происходит ее расщепление. Также показано [113 - 115], что клетки культуры *Mycobacterium globiforme* способны адсорбироваться на кристаллах стероидов – метилтестостерона, кортизона и их ацетатов, растворение кристаллов идет

наиболее быстро в местах прикрепления клеток.

Процессы микробной адгезии рассматриваются в медицинской микробиологии, вирусологии, экологии, почвоведении (микробиология почв). Исследования посвящены, в основном, взаимодействию бактерий с различными субстратами в водных средах. Наиболее подробно вопросы микробной адгезии рассмотрены в монографии [109], а также в ряде статей [116 - 125].

Достаточно полно разработаны физико-химические представления и методология исследования адгезии мелкодисперсных частиц (пыли, порошков) небиологической природы [111, 112].

Адгезионное взаимодействие определяется свойствами контактирующих объектов и окружающей среды.

Поверхность микробных клеток имеет сложную морфологию (выступы, нити, выросты). Отмечается большая мозаичность строения ее внешнего слоя. Он содержит гидрофильные и гидрофобные участки, самые разнообразные функциональные группы, области с положительным и отрицательным электрическим зарядом [126 - 128]. В процессе контакта, приспосабливаясь к субстрату, клетка способна видоизменяться, формируя адгезионные вещества, в том числе и внеклеточные. Адгезионные функции установлены у продуцируемых клетками гетерополисахаридов, мукополисахаридов, некоторых липидов [129 - 131]. Исследования внешнего слоя плазматической мембраны клеток амебы *Dictyostelium discoideum* показали, что при агрегации организмов существенную роль играют лектины.

Такие свойства клетки обеспечивают возможность адгезии микроорганизмов к материалам, обладающим различными физическими и химическими свойствами (шероховатость, гидрофобность и др.). Существенное влияние на этот процесс оказывают такие факторы, как температура и влажность, рН водной среды, наличие в ней различных примесей

[119 - 120].

Адгезия микроорганизмов как и мелкодисперсных частиц небиологической природы, может обуславливаться молекулярными, химическими, капиллярными и электрическими силами [112, 119]. Обычно процесс адгезии рассматривают состоящим из двух стадий. В начальный период контакта (первая стадия), характеризующийся сравнительно слабым прикреплением клетки к поверхности, определяющую роль играют силы физической природы. Затем (вторая стадия) их характер может меняться за счет появления химической составляющей.

Известны количественные описания адгезионного взаимодействия отдельных систем микроорганизм-материал, устанавливающие взаимосвязь числа клеток на субстрате (материале) с их концентрацией в окружающей среде [121 - 125]. Для анализа успешно используются представления физической и коллоидной химии.

Адгезию обычно характеризуют количеством клеток, прикрепившихся к единице поверхности, и силой, необходимой для удаления этих клеток. Экспериментальные методики основаны, как правило, на двух обязательных этапах работ. Это - непосредственный подсчет микробных клеток, проводимый различными методами микроскопирования (световое, люминесцентное, электронное), и воздействие на адгезионную пару силового поля (способом наклона поверхности образцов, центрифугирования, вибрационного отрыва и др.) [112].

Силы адгезии однородных мелкодисперсных частиц к данной поверхности при одних и тех же условиях испытаний не одинаковы по величине [109, 112]. Поэтому в качестве характеристики силы адгезии таких частиц используют так называемое число адгезии. Эта характеристика определяется как отношение количества частиц, которые остались на поверхности материала после воздействия заданного по величине силового поля, к числу частиц,

первоначально находившихся на поверхности. В [109] при исследовании адгезии различных видов бактерий к стеклу впервые был использован метод центрифугального отрыва. Он позволил получить воспроизводимые значения числа адгезии в широком интервале величин воздействующего силового поля.

При благоприятных для микроорганизмов условиях начинается развитие адгезионных клеток, характеризующееся их ростом. Согласно существующим в микробиологии представлениям [132 - 133] рост микроорганизмов - это увеличение их массы (размеров тела и (или) количества клеток) в результате последовательно протекающих биохимических реакций обмена веществ (метаболизма).

Различные аспекты микробиологического ростового процесса исследуются экспериментальной микробиологией [132, 134], генетикой [135], физиологией, биотехнологией получения различных веществ в промышленности [136]. В настоящее время рост микроорганизмов является основной характеристикой микробиологической стойкости материалов и эффективности соответствующих средств защиты [2, 4].

Возможность и интенсивность микробиологического ростового процесса определяются сочетанием свойств субстрата (материала), как питательной среды для микроорганизмов и генетических особенностей последних, обуславливающих их способность использовать субстрат как источник питания и энергии. Существенное влияние на ростовой процесс оказывают и внешние условия (температура, влажность, загрязнения и др.) [137, 138].

Микроорганизмы, растущие на материале, обладают богатым и лабильным ферментативным аппаратом, который позволяет им приспособляться к широкому кругу субстратов. В мицелиальных грибах найдены ферменты, относящиеся ко всем 6 классам по существующей междуна-родной классификации [139]. Однако особо важную роль в росте на большинстве

материалов оказывают оксидоредуктазы, гидролазы и липазы [140 - 142].

Среди микроорганизмов, заселяющих материалы на основе целлюлозы, в основном преобладают продуценты целлюлитических ферментов, гидролизующих целлюлозу до глюкозы [143 - 149]. Из разрушителей углеводородсодержащих материалов наиболее активны продуценты липаз и оксидоредуктаз. На материалах, содержащих минеральный компонент, преобладают виды, продуцирующие органические кислоты, а также окислительные ферменты - пероксидазу и каталазу. Со строи-тельных материалов на минеральной основе, содержащих органические компоненты, выделено большое количество кислотообразователей, а также продуцентов глюкозооксидазы и полифенолоксидазы [150].

В литературе [45, 151] приведены закономерности влияния на рост микроорганизмов структуры и состава материала. Так, для полимеров способность обеспечивать микробиологический рост повышается с увеличением числа атомов углерода в молекуле. Она зависит также от степени замещения, длины и гибкости цепи между функциональными группами. Установлено [152], что полиуретаны с простой эфирной связью более подвержены микробиологическим повреждениям, чем полиуретаны со сложной связью.

В микробиологии [132] различают несколько основных фаз (стадий) роста микроорганизмов. В зависимости от свойств пары микроорганизм-субстрат они могут иметь различную продолжительность и интенсивность. Первая фаза - адаптивная (лаг-фаза). Ее продолжи-тельность определяется интервалом времени от момента инокуляции мате-риала до достижения максимального увеличения скорости роста. В этот период происходит синтез микробной клеткой комплекса ферментов, необходимого для потребления данного питательного субстрата, а также неравномерный ускоренный рост биомассы, свидетельствующий о

завершении формирования в клетках соответствующих биохимических механизмов обмена веществ.

Затем происходит монотонное увеличение биомассы с постоянной максимальной скоростью – экспоненциальная фаза. Эта фаза продолжается до истощения одного из компонентов питательной среды, лимитирующего развитие микроорганизма и (или) до образования продуктов обмена веществ (метаболитов), ингибирующих его рост. Истощение питательной среды и накопление в ней продуктов обмена приводит к постепенному затуханию метаболических процессов, что сопровождается уменьшением скорости, а затем и полным прекращением роста биомассы - стационарная фаза.

В настоящее время предложены многочисленные уравнения зависимости скорости роста от различных факторов [153 - 157]. Многие из них имеют вид близкий к уравнению Моно [158], отражающему зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации компонентов питательного субстрата. Другие схожи с уравнением неконкурентного торможения ферментативных реакций. Они описывают зависимость роста от концентрации ингибирующих его продуктов метаболизма [159, 160]. Указанные модели работают, в основном, в экспоненциальной фазе роста.

Известны также математические модели, базирующиеся на решении дифференциальных уравнений роста, пригодные для описания развития самых различных биологических объектов. Они основаны на использовании удельной скорости роста [161 - 163].

В качестве характеристик роста используют морфологические признаки и количественные показатели биомассы, а также наличие и количество веществ, содержащихся в клетках и (или) выделенных продуктах метаболизма [2, 4].

Экспериментальные исследования микробиологического ростового процесса, как правило, предполагают культивирование микроорганизмов на

материалах и определение контролируемой характеристики роста. Обычно испытания в области биоповреждений предусматривают однократное определение характеристики после 21 - 28 суток культивирования микроскопических грибов и 5 - 28 суток - бактерий.

Рост на материале и за счет материала сопровождается изменением свойств последних. Эти изменения происходят параллельно с микробиологическим ростовым процессом и нередко продолжают после его завершения. Они могут быть вызваны нарушением целостности или загрязнением материала за счет разрастания микробных тел. Но, главным образом, изменения свойств материалов при контакте с биодеструктором связывают, часто без достаточных на то экспериментальных оснований, с воздействием органических кислот и ферментов, продуцируемых микроорганизмами [2, 4]. Наиболее полно кислотообразование микроорганизмов-деструкторов изучено в работах [144, 164 - 166]. Установлено наличие в метаболитах грибов уксусной, пропионовой, масляной, фумаровой, янтарной, яблочной, лимонной, винной, глюконовой и щавелевой кислот. Эти кислоты способны приводить к изменению физико-механических характеристик полимеров лакокрасочных покрытий и оптического стекла, вызывать коррозию металлов [4].

В работах [144, 145, 167 - 170] экспериментально подтверждена способность некоторых ферментативных комплексов оказывать разрушающее воздействие на такие материалы, как полимеры животного происхождения, продукты переработки нефти и целлюлозосодержащие материалы. Закономерности изменения свойств этих материалов микроорганизмами достаточно подробно исследованы в [2, 4]. Там же изложены особенности коррозии металлов в условиях воздействия биофактора изложены в [2, 4].

Методология исследования влияния на материалы агрессивных сред, к которым можно отнести продуцируемые

микроорганизмами органические кислоты, ферменты и другие химические соединения, хорошо разработана [171 - 177]. Агрессивные среды в зависимости от характера их взаимодействия с материалом принято делить на две группы - химически и физически активные. Воздействие каждой из этих двух групп сред часто приводит к одинаковому эффекту. Это может быть изменение прочности, диэлектрических свойств, структуры материала. Однако закономерности, определяющие такие изменения зависят от характера воздействия среды на материал.

Влияние физически активных сред связано с адсорбцией молекул среды, обуславливающей изменение поверхностных свойств материала, или обусловлено набуханием (хотя бы и незначительным) и вызываемой им пластификацией материала. Действие физически активных сред может носить как обратимый, так и необратимый

характер.

Химически активные среды приводят к химической деструкции неметаллических материалов и коррозии металлов. Их действие носит необратимый характер.

Разработан ряд аналитических моделей процессов взаимодействия агрессивных сред с твердыми материалами [173, 175].

Влияние микроорганизмов на свойства материалов характеризуют величиной относительного, по сравнению с исходным, изменения того или иного показателя свойств. Экспериментальные исследования этого этапа микробиологического повреждения обычно осуществляют однократно после определенного времени культивирования биодеструкторов на материале. Определение контролируемого показателя свойств приводят известными в материаловедении методами анализа [2, 4].



Схема системного подхода к повышению микробиологической стойкости изделий техники.

Повышение микробиологической стойкости материалов и изделий

Повышение микробиологической стойкости изделий представляет собой комплекс мероприятий, направленных на предотвращение или снижение интенсивности повреждающих процессов взаимодействия микро-организмов с объектами техники.

Наибольший эффект достигается при увязывании этих мероприятий в единую систему, охватывающую все этапы жизненного цикла изделий (проектирование, производство и эксплуатацию). Необходимые работы проводят на основании общего системного подхода, предложенного для решения проблем защиты конструкций машин от воздействующих факторов среды [4]. Составляющие такого подхода приведены на схеме.

При проведении анализа конструкционно-технологических и эксплуатационных особенностей изделия, влияющих на его микробиологическую стойкость рассматривается информация о микробиологической стойкости изделия, применяемых в нем материалов, рабочих сред, деталей, агрегатов, систем, средств защиты и режимов их использования, а также микроорганизмах-деструкторах. Анализируются данные о влиянии на процессы микробиологического повреждения применяемых в конструкции геометрических форм, имеющихся компоновок, застойных зон, герметичных объемов, а также сведения о факторах внешней среды в условиях эксплуатации.

В настоящее время эти данные носят фрагментарный характер и представляют собой результаты стандартных испытаний устойчивости материалов к воздействию микроорганизмов. Сведения о микробиологических повреждениях материалов и изделий в условиях эксплуатации имеют субъективный характер. Заключение о микробиологическом характере повреждения базируется, в основном, на результатах определения наличия на поврежденном материале клеток микроорганизмов-деструкторов и их

агрессивности.

В результате выполнения этого этапа определяются объекты микробиологических повреждений (материалы, детали и др.), видовой состав микроорганизмов-деструкторов, основные факторы внешней среды, способствующие протеканию процессов взаимодействия микроорганизмов с материалами.

Следующим важным этапом работы является выбор значений показателей микробиологической стойкости и их допустимых значений, основывающийся на результатах специальных исследований с учетом функционального назначения изделия (его элементов) и некоторого известного (задаваемого) интервала времени τ (срока службы, межремонтного периода, периодичности проведения технического обслуживания и т.п.).

В качестве показателей микробиологической стойкости обычно используют характеристики процессов роста микроорганизмов на поверхности (или объеме) материалов (биомассу- m) и (или) изменения свойств последних (показатель свойств - Π), а также скорости (интенсивности) протекания этих процессов. Как правило, рост микроорганизмов оценивают визуально в баллах, учитывающих морфологические признаки колонии на материале после некоторого времени инкубирования заселенного микробными клетками образца [2, 4].

Допустимые значения биомассы ($m_{\text{доп}}$) и изменения свойств ($\Pi_{\text{доп}}$) устанавливают, исходя из величин этих показателей, превышение которых приводит к нежелательному изменению состояния объекта. Для изделий, работающих под электрической нагрузкой, допустимым показателем грибостойкости является рост грибов, оцениваемый баллом 3. Для оптических деталей - баллом 2 [2, 4].

Этап моделирования и прогнозирования микробиологических повреждений изделия (или его элементов) проводят, учитывая его конструктивно-

технологические особенности и эксплуатационные факторы, оказывающие определяющее влияние на взаимодействие микроорганизмов с материалами.

Исходя из объема и характера имеющейся информации, возможно использование различных подходов к моделированию и прогнозированию результатов указанного взаимодействия (экспертная оценка, физическое или математическое моделирование и др.). В настоящее время в связи с отсутствием достоверных количественных данных о процессах микробиологического повреждения применение математических методов затруднено. Используются, как правило, эвристические подходы: метод ранжирования [178], парных сравнений, Дельфа [179]. С их помощью были получены сравнительные характеристики биоцидной активности некоторых химических соединений, определены пути подавления развития микроорганизмов [4].

Оценка микробиологической стойкости изделия проводится путем сравнения величин показателей, полученных на основании моделирования (прогнозирования), с их допустимыми значениями. Невыполнение условия $m(\tau) \leq m_{\text{доп}}$ или $\Pi(\tau) \leq \Pi_{\text{доп}}$ свидетельствует о недостаточной микробиологической стойкости объекта (его элемента) и является основанием для принятия решения о необходимости совершенствования методов и средств защиты.

Разработка мероприятий по повышению микробиологической стойкости проводится на основании анализа информации о существующих средствах и методах защиты и базируется на технической или экономической целесообразности их применения. Сведения о существующих средствах и методах защиты обобщены в ряде монографий [2, 4, 180].

В общем случае ингибирование процессов микробиологического повреждения может осуществляться с помощью следующих 4-х групп

воздействия:

- на среду - изменение состава и характеристик среды, в том числе содержания в ней благоприятных для микроорганизмов примесей и возможных загрязнений, температуры и влажности;
- на микроорганизмы - изменение их видового состава и количественного содержания в среде, введение в среду веществ, ингибирующих процессы жизнедеятельности микробных клеток, удаление или уничтожение микроорганизмов-деструкторов, находящихся на поверхностях (в объеме) материалов, деталей;
- на объект техники - рациональное конструирование, препятствующее возникновению и развитию микробиологических повреждений, очистка объекта от способствующих развитию микроорганизмов загрязнений;
- комплексное – различное сочетание приведенных выше групп.

Существующие средства и методы защиты могут быть классифицированы с учетом их воздействия на процессы взаимодействия микроорганизмов с материалом, приводящие к повреждению последнего. Защита может производиться на каждом из приведенных выше 2 этапов этого процесса.

На этапе распространения и переноса микроорганизмов защиту можно осуществлять: выбором районов эксплуатации, минимизирующих возможность заражения объекта микроорганизмами-деструкторами; стерилизацией воздушных потоков; изоляцией (частичной или полной) объекта от заражения микроорганизмами.

Адгезия может регулироваться: изменением гидрофильно-гидрофобного баланса и водопоглощения; ингибированием клеточных процессов продуцирования метаболитов-адгезивов; изменением шероховатости поверхности и условий внешней среды, минимизирующим силы адгезии.

Интенсивность микробиологического ростового процесса снижается:

уменьшением содержания в материале компонентов, используемых микроорганизмами в качестве источника питания, уменьшением влагопоглощения и гидрофильности материала, введением в состав материалов веществ, ингибирующих процессы обмена веществ в клетке (биоцидов), созданием неблагоприятных для роста микроорганизмов условий внешней среды.

Эффект изменения свойств материала под воздействием микроорганизмов регулируется: изменением структуры материала (увеличением степени кристалличности и ориентации полимеров, сшиванием макромолекул с образованием сетчатых структур), изменением химического строения (введением в макромолекулы полимеров заместителей, стерически затрудняющих подход агрессивных метаболитов к химически нестойким связям, изменением состава материала (введением минеральных наполнителей, способных диффундировать к поверхности и создавать на границе раздела защитный слой, модификацией поверхности материала формированием на ней изолирующего слоя (слоев) с другими физико-химическими свойствами, стойкого к метаболитам, изменением характера напряженного состояния поверхностных слоев материала, детали, изделия, например, созданием остаточных напряжений сжатия, препятствующих облегчению растрескивания материала в присутствии метаболитов, изменением условий внешней среды с целью минимизации скоростей протекания сорбционных, химических (электрохимических) процессов.

Указанные общие направления защиты могут быть реализованы путем создания и использования микробиологически стойких материалов и конструкций, специальных средств и методов защиты, а также корректировкой условий эксплуатации и технического обслуживания изделий, препятствующей процессам микробиологического повреждения.

Оценка эффективности разрабо-

танных мероприятий осуществляется путем моделирования и прогнозирования их влияния на микробиологическую стойкость объекта. О достаточности какого либо мероприятия свидетельствует выполнение условия $m(\tau) \leq m_{\text{доп}}$ или $\Pi(\tau) \leq \Pi_{\text{доп}}$.

Следует подчеркнуть, что проведение рассмотренных выше этапов исследований основывается на поступающих данных о микробиологической стойкости материалов, изделий, средств и методов защиты и прогнозе ее изменения в условиях эксплуатации объекта техники. В случае отсутствия указанных данных их получают путем выполнения комплекса испытаний в лабораторных и (или) натуральных условиях.

Таким образом, имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что состав, биосинтетические свойства микроорганизмов-деструкторов, их способность развиваться на материалах техники и вызывать повреждения изделий изучены достаточно полно. Вместе с тем, используемые средства и методы защиты, а также общий подход к их разработке нередко оказываются малоэффективными. Успешное решение проблемы во многом связано с развитием представлений о природе реального процесса микробиологического повреждения материалов и наличием объективной количественной информации о закономерностях его возникновения и протекания.

Однако в настоящее время механизм биоповреждения рассматривается, как правило, с позиции биохимических превращений материала, вызываемых биодеструктором и обеспечивающих возможность его (материала) ассимиляции этим биодеструктором в качестве источника питательных веществ. Количественные данные об этом процессе практически отсутствуют. Не исследованы начальные, предшествующие собственно повреждению, взаимодействия материала с присутствующими во внешней среде микроорганизмами. Невыясненным

остается вопрос о причинах изменения свойств материалов под воздействием биодеструкторов, роль в этих изменениях продуцируемых микроорганизмами соединений (метабо-литов) и других (не биологических) факторов внешней среды.

Проведенный анализ современного состояния работ по проблеме позволяет сделать вывод о перспективности применения в исследованиях реального процесса микробиологического повреждения материалов формально-кинетических представлений о его механизме. Такие представления предполагают рассмотрение изучаемого процесса, как совокупности ряда этапов, протекание каждого из которых подчиняется отражающими его механизм кинетическому закону и аналитической модели.

Имеющиеся в литературе сведения позволяют предполагать, что процесс биоповреждения может быть представлен состоящим из трех основных этапов - взаимодействий материала с

микроорганизмом: 1 - закрепления (адгезии), 2 - роста биодеструктора на материале и 3 - изменения свойств последнего. При этом исследования природы и количественных закономерностей каждого из этих этапов целесообразно проводить с помощью хорошо разработанных представлений и методических подходов, используемых при изучении соответствующих взаимодействий такими научными дисциплинами, как атмосферная, почвенная, медицинская микробиология, адгезия мелкодисперсных частиц, химическая стойкость материалов.

Такие исследования позволят обосновать научно-методические подходы к решению всего комплекса практически важных задач повышения микробиологической стойкости изделий техники, повышает экономическую эффективность их использования за счет продления времени их эксплуатации и снижения расходов по капремонту.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Semenov, S. A. Biodegradation and durability of materials under the action of microorganism / S. A. Semenov, K. Z. Gumargalieva, G. E. Zaikov. – Utrecht : VSP International Science Publishers, 2003, – 199 p.
2. Биоповреждения / Под ред. проф. В. Д. Ильичева. – М. : Высшая школа, 1987. – 352 с.
3. Анисимов, А. А. Биоповреждения в промышленности и защита от них / А. А. Анисимов, В. Ф. Смирнов. – Горький : Издание ГГУ, 1980. – 82 с.
4. Герасименко, А. А. Защита машин от биоповреждений / А. А. Герасименко. – М. : Машиностроение, 1984. – 111 с.
5. Осницкая, Л. К. // Микробиология. – 1946. – Т. 15, вып. 2. – С. 249-263.
6. Rehm, Jurgen / Erdol u Rohll-Erdgal. – Petrochem. – 1991. – Vol. 44. – P. 149.
7. Скрыбина, Т. Г. Бактериальная зараженность дизельных топлив / Т. Г. Скрыбина, И. В. Лазарева // Нефтепереработка и нефтехимия (научно-технические достижения и передовой опыт). – 1994. – № 6. – С. 14-17.
8. Lesdbetter, E. R. / E. R. Lesdbetter, J. R. Foster // Arch. Microbiol. – 1960. – Vol. 35, № 2. – P. 104-134.
9. Бирштехер, Э. Нефтяная микробиология / Э. Бирштехер Э. – Л. : Гостоптехиздат, 1957. – 314 с.
10. Поглазова, М.Н. / М. Н. Поглазова, И. Н. Мацкевич // Микробиология. – 1984. –Т. 53. – С. 850-858 .
11. Foster, J. W. / J. W. Foster // J. Microbiol. a. Serol. – 1962. – Vol. 28, № 3. – P. 242--287.
12. Розанова, Е. П. Микрофлора нефтяных месторождений / Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов – М. : Наука, 1974. – 198 с.
13. Krynitsky, G. A.. Naval Research Rev. – 1964. – Vol. 17, № 2. – P. 62-69.

14. Chem. Week. – 1964. – Vol. 9. – P. 71-75.
15. Hill, E. C. // J. Inst. Petrol. – 1967. – Vol. 53. – P. 280-284.
16. Hitzmann, D. O. / D. O. Hitzmann, R. E. Linnard // Confr. Petr. VII. – Mexico, 1967. – Simp. 36. – P. 33-35.
17. Arnold, J. B. Effekts of microbial growth and its by products on coalescing filtration of hydrocarbon fuels and oils / J. B. Arnold // Filtr and Separ. – 1984. – Vol. 21, № 2. – P. 108-111.
18. Reviere Jacques. Microorganisms et carburants accidents et remedes // Petrole et techn. – 1986, № 322. – P. 73-76.
19. Hill, E. C. Microorganisms in marihe fuel: fouling and corrosion / E. C. Hill, J. C. Hill // Mar., Eng. Rev. – 1985. – Dec. – P. 14-16.
20. Parbery, D. G. // Intern. Biodeterior. Bull. – 1968. – Vol. 4, № 2. – P. 79-81.
21. Iverson, V. R. // Vhem. Eng. – 1968. – Vol. 1-2, № 8. – P. 242-244.
22. Iverson, V. R. // Corros. Preven. a. Control – 1969. – Vol. 16, № 1. – P. 15-19.
23. Ермоленко, З. М. Физиологические, ультраструктурные и морфо-популяционные особенности бактерий *Mycobacterium flavescens*, утилизирующих нефть и нефтепродукты / З. М. Ермоленко, Г. В. Штучная, И. А. Мартовецкая // Биотехнология. – 1996. – № 5. – С. 17-24.
24. Скрибачилин, В. Б. О биоповреждении топлив / В. Б. Скрибачилин, Е. А. Лаптева, Л. К. Михайлова // Химия и технология топлив и масел. – 1983. – № 12. – С. 29-30.
25. Литвиненко, С. Н. Биологическое поражение нефти и нефтепродуктов и их защита при транспортировке и хранении / С. Н. Литвиненко. – М. : Изд-во ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 51 с.
26. Крейн, С. Э. / С. Э. Крейн // Прикладная биохимия и микробиология. – 1969. – Т. 5, вып. 2 – С. 233-236.
27. Крейн С. Э. / С. Э. Крейн // Прикладная биохимия и микробиология. – 1973. – Т. 9, вып.1 – С. 143-145.
28. Микрофлора и нефть // Материалы VIII мирового нефтяного конгресса. – М. : Изд-во АН СССР, 1971. – 112 с.
29. Литвиненко, С. Н. Защита нефтепродуктов от действия микроорганизмов / С. Н. Литвиненко. – М. : Химия, 1977. – 142 с.
30. Андреюк, Е. И. Литотрофные бактерии и микробиологическая коррозия / Е. И. Андреюк, И. А. Козлова. – Киев : Наукова думка, 1977. – 162 с.
31. Емелин, М. И. Защита машин от коррозии в условиях эксплуатации / М. И. Емелин, А. А. Герасименко. – М. : Машиностроение, 1980. – 224 с.
32. Защита радиоэлектронной аппаратуры от внешних климатических условий./ Под ред. Г. Юбиша. – М. : Изд-во Энергия, 1970. – 232 с.
33. Занина, В. В. Влияние биокоррозионной активности грунта на биостойкость изоляционных покрытий / В. В. Занина, А. Е. Коптева, И. А. Козлова // Микробиология. – 1996. – Т. 58, № 1. – С. 88-96.
34. Романова, Н. С. / Н. С. Романова, Г. С. Жилина / В кн.: Новые атмосферостойкие и декоративные покрытия. – М. : МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского, 1976. – С.126-132.
35. Проэктор, Е. Г. Защита кабельных и воздушных линий электропередачи от коррозии / Е. Г. Проэктор, П. И. Анастасиев, А. В. Коляда. – М. : Энергия, 1974. – 158 с.
36. Могильницкий, Г. М. К вопросу о методах испытаний биостойкости изоляционных покрытий / Г. М. Могильницкий, С. В. Жукова, В. Ф. Храмихина / В кн. : Методы определения биостойкости материалов. – М. : ВНИИСТ Миннефтегазстроя, 1979. – С. 106-112.
37. Лугаускас, А. Ю. Видовой состав микроскопических грибов и ассоциации микроорганизмов на полимерных материалах. / А. Ю. Лугаускас, Л. М. Гиригайте, Ю. П. Репечкене / В кн. : Актуальные вопросы биоповреждений. – М. : Наука, 1983. – С. 115.

38. Рихтера, М. Тропикализация электрооборудования / М. Рихтера, Б. Бартакова. – М. : Госэнергоиздат, 1962. – 400 с.
39. Hedrick, N. G. Microbiological corrosion of aluminum / N. G. Hedrick // Mater. Prot. – 1970. – Vol. 9, № 1. – P. 27-31.
40. Parbery, D. G. The role of *Cladosporium resinae* in the corrosion of aluminium alloys / D. G. Parbery // Intern. biodeter. Bull. – 1968. – Vol.4, № 2. – P.79-81.
41. Заикина, Н. А. Плесневые грибы при микробиологических повреждениях./ Н. А. Заикина, Н. П. Елинов, Г. Г. Голованенко // Теоретич. проблемы биологических повреждений материалов :докл.. Всес. Симп. Москва. – М. : 1971. – 26 с.
42. Mikrobiologically inflamed corrosion // Anti-Corros. Meth. And Mater. – 1994. – Vol. 41, № 6. – P. 26.
43. Eating away at the infrastructure-the heavy cost of microbial corrosion // Water Qual. – 1995. – № 4. – P. 16-19
44. Жебровский, В. В Новые лакокрасочные покрытия для стран с тропическим климатом / В. В. Жебровский, Ф. И. Рубинштейн // В сб. : Лакокрасочные покрытия для условий тропического климата. – М. : Профиздат, 1997. – № 1. – С. 19-26.
45. Благник, Р. Микробиологическая коррозия / Р. Благник, В. Занова. – М. : Химия, 1965. – 222 с.
46. Забырина, К. И. Электроизоляционные лаки и материалы, предназначенные для работы в условиях тропического климата / К. И. Забырина // В сб. : Лакокрасочные покрытия для условий тропического климата. – М. : Профиздат, 1977. – № 1. – С. 27-44.
47. Карякина, М. И. / М. И. Карякина, Н. В. Майорова // Лакокрасочные материалы. – 1985. – № 5. – С. 35-37.
48. Бактерицидные коррозионностойкие эпоксидные покрытия различного назначения./ Л. А. Сухарева [и др.] // В сб. : Экологические проблемы биодegradации промышленных, строительных материалов и отходов производств. – Пенза. : НИИ Химии НГУ, 1998. – С. 9-12.
49. Яманов, С. А. Тропикоустойчивость и тропическая защита электроизоляционных материалов / С. А. Яманов // Труды 1-ой межвузовской конф. по соврем. техн. диэлектриков и полупроводников. – М., 1967. – 125 с.
50. Сапожникова, С. А. Некоторые особенности климатов тропической и субтропической Азии / С. А. Сапожникова // В сб. : Лакокрасочные покрытия для условий тропического климата. – М. : Профиздат, 1977. – № 1. – С. 4-11.
51. Лисина-Кулик, Е. С. Оценка влияния некоторых факторов на устойчивость лакокрасочных покрытий к поражению грибами / Е. С. Лисина-Кулик // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1971. – № 4. – С. 58-61.
52. Moiseev, Yu. V. Chemical resistance of polymers in reactive media / Yu. V. Moiseev, G. E. Zaikov. – New York : Plenum Press, 1987. – 586 p.
53. Лисина-Кулик, Е. С. Выживаемость спор грибов на лакокрасочных покрытиях для приборов с режимом систематического нагрева / Е. С. Лисина-Кулик, Н. Г. Моисеева // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1972. – № 3. – С. 33-34.
54. Насонов, К. В. Консервация судов / К. В. Насонов, В. Д. Шарапов // Судостроение. – 1972. – № 17, вып. 31. – С. 133-134.
55. Blahnick, R. Smery soncasnelo vyzkumu v oblasti microbialni koroze naterovych hmot ve svete / R. Blahnick // Elektrotech. Klimatotechnol. – 1963, № 4. – P. 3-4.
56. Shagal, D. D. Deterioration of paints by microorganisms / D. D. Shagal, P. N. Agarwal // Zabdev. g. Sci. and Technol. – 1968. – Vol. 6, № 4. – P. 205-211.
57. Якубович, Д. С. / Д. С. Якубович // В кн. : Атмосферостойкие лакокрасочные покрытия и прогнозирование сроков их службы. – М. : МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского, 1982. – С. 7-11.
58. Ницберг, Л. Лакокрасочные покрытия / Л. Ницберг // Техника и вооружение. –

1967. – № 4. – С. 12-13.

59. Биологические повреждения строительных и промышленных материалов. – Киев. : Наукова думка, 1978. – 265 с.

60. Долежел, Б. Коррозия пластических материалов и резин / Б. Ницберг. – Химия, 1964. – 248 с.

61. Исследования стойкости полиэтиленовых изоляционных покрытий к воздействию микроорганизмов / Н. И. Позднева [и др.] // Теоретич. проблемы биологических повреждений материалов : докл. Всес. Симп. Москва. – М. : 1971. – 26 с.

62. Грибостойкие фенопласты с органическим наполнителем / Н.Ф. Белоконь [и др.] // Второй всес. симпозиума по биологическим повреждениям и обрастанию материалов, изделий и сооружений : Реф. докл. – М. : Наука, 1972. – С. 54-55.

63. Рудакова, А. К. Микробиальная коррозия полимерных материалов (полихлорвиниловые пластикаты и полиэтилен), применяемых в кабельной промышленности и способы ее предупреждения : автореф. дисс. . . канд. хим. наук / Рудакова А. К. – М., 1969. – 24 с.

64. Isolation of decomposer fungi with plastic degrading ability // Philipp J.Sci. – 1997. – Vol. 126, № 2. – P. 117-130.

65. Белоконь, Н. Ф. Методы исследования грибостойкости пластических масс / Н. Ф. Белоконь, Е. А. Татевосян, Г. А. Шидкова // Пластические массы – 1974. – № 9. – С. 65-67.

66. Билай, В. И. Исследование грибной коррозии различных материалов / В. И. Билай, Э. З. Коваль, Л. М. Свиридовская // Труды IV съезда микробиологии Украины. – Киев : 1975. – С. 85.

67. Pankhurst, E. S. Protective coatings and wrappings vor buried pipes microbiological aspects / E. S. Pankhurst // J. Oil and Colour Chem. Asso. I. – 1973. – Vol. 6. – № 8. – P. 373-381.

68. Лугаускас, А. Ю. Изучение грибов, населяющих материалы, применяемые в радиотехнической промышленности / А. Ю. Лугаускас, Р. В. Стакишайтите / В кн. : Биологическое повреждение материалов. – Вильнюс, 1979. – С. 72-78.

69. Huang, S. I. The effect of structural variation on the biodegradability of synthetic polymers / S. I.Huang / Amer. Chem. Soc. Polym Prepr. – 1977. – Vol. 1. – P. 438-441.

70. Грибная коррозия материалов, используемых в конструкциях из стеклообразных материалов / Э. З. Коваль Э.З.[и др.] / В кн. : Биологические повреждения строительных и промышленных материалов. – Киев, 1978. – С. 111-112.

71. Аллахвердиев, Г. А. Изменение физико-химических свойств полимеров под воздействием почвенных микроорганизмов / Г. А. Аллахвердиев, Т. А. Мартиросова, З. Д. Гаривердиев // Пластические массы. – 1967. – № 2. – С. 17-20.

72. Зуев, Ю. С. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях / Ю. С. Зуев, Т. Г. Дегтева. – М. : Химия, 1986. – 18 с.

73. Зуев, Ю. С. Разрушение эластомеров в условиях, характерных для эксплуатации / Ю. С. Зуев. – М. : Химия, 1980. – 283 с.

74. Новые эластомерные (полиуретановые) материалы в судостроении / О. А. Мудров [и др.] – Л. : ЛДНТП, 1979. – 20 с.

75. Дубок, Н. Н. Биоповреждения резин и способы их защиты / Н. Н. Дубок, Л. Г. Ангерт // В сб. : Первая всесоюзная конференция по биоповреждениям. – М. : Наука, 1978. – С. 16-19

76. Рудакова, А. К. Грибостойкость кабельных материалов и изделий в естественных условиях / А. К. Рудакова, Т. А. Попова // В сб. : Биологические повреждения строительных и промышленных материалов. – М., 1973. – С. 72-79.

77. Рубан, Г. И. Исследование грибоустойчивости некоторых синтетических материалов и защиты их от плесеней / Г. И. Рубан // Второй всес. симпозиума по биологическим повреждениям и обрастанию материалов, изделий и сооружений : Реф. докл. – М. : Наука, 1972. – С. 70-71.

78. Широков, А. М. Основа надежности и эксплуатации электронной аппаратуры / А. М. Широков – Минск : Изд.-во Наука и техника., 1965. – 312 с.
79. Толмачева, Р. Н. Микробиологическое повреждение материалов и изделий, используемых в радиотехнике / Р. Н. Толмачева, Д. В. Цендровский, В. Ф. Смирнов // Сборник ГГУ. – 1987. – С. 30-34.
80. Изменение коэффициентов светопропускания и светорассеяния в зависимости от развития плесневых грибов на оптических системах / М. С. Родионова [и др.] // Опτικο-механич. промышленность. – 1972. – № 2. – С. 62-63.
81. Изменение коэффициентов светопропускания и светорассеяния в зависимости от развития плесневых грибов на оптических системах./ М. С. Родионова [и др.] // Микология и фитопатология. – 1973. – № 7. – С. 472.
82. Лебедев, Е. М. К вопросу о микробиальных разрушениях биологических оптических приборов в приморских районах умеренного климата СССР / Е. М. Лебедев // В сб. : Проблемы биологических повреждений и обрастания материалов, изделий и сооружений. – М. : Наука. – 1972. – № 3. – С. 100-101.
83. Тхоржевский, В. П. Конструирование и изготовление приборов для стран с тропическим климатом / В. П. Тхоржевский. – Машиностроение, 1971. – С. 9-85.
84. Родионова, М.С. Исследование методов защиты силикатных стекол, оптических деталей и смазок от поражения плесневыми грибами : автореф. дисс. . . канд. тех. наук / Родионова М. С. – М., 1964. – 18 с.
85. Родионова, М. С. О разрастании плесневых грибов на поверхности оптических стекол / М. С. Родионова, З. Г. Разумовская // В сб. : Проблемы биологических повреждений и обрастания материалов, изделий и сооружений. – М. : Наука. – 1972. – № 3. – С. 79-91.
86. Zaikov, G. E. Diffusion of electrolytes in polymers / G. E. Zaikov, A. L. Iordanskii, V. S. Markin. – Zeist (the Netherlands) : VNU Science Press, 1988. – 328 p.
87. Kaller, A. Fungysbildung auf optik. Feingeratetech nik. – 1960. – № 1.
88. Надежность наземного радиоэлектронного оборудования // Советское радио. – 1987. – С. 54-306.
89. Extrapolation of biodegradability test data dy use of growth kinetic parameters // Ecotoxicol and Environ. Safety. – 1994. – Vol. 27, № 3. – P. 306-315.
90. Петин О.В., Щербаков Е.Ф. Испытание электрических аппаратов. Уч. пособие для вузов.- М.: Высш. школа, 1985.-214с.
91. Wasserbauer, R. Czechoslovak research into microbiological corrosion of electrical equipment / R. Wasserbauer / Intern. Biadeter. Bull. – 1967. – Vol. 3, № 1, P. 1-2.
92. Minsker, K. S. Degradation and stabilization of polymers on the base of vinylchloride / K. S. Minsker, S. V. Kolesov, G. E. Zaikov. – Oxford : Pergamon Press, 1988. – 526 p.
93. Gumargalieva, K. Z. Biodegradation and biodeterioration of polymers: kinetic aspects / K. Z. Gumargalieva, G. E. Zaikov. – New York : Nova Science Publ., 1998. – 210 p.
94. Zaikov, G. E. Biomedical application of polymers / G. E. Zaikov. – New York : Nova Science Publ., 1996. – 207 p.
95. Iordanskii, A. L. Interaction of polymers with biologically active media / A. L. Iordanskii, G. E. Zaikov, T. E. Rudakova. – Utrecht (the Netherlands) : VSP International Science Publ., 1999. – 210 p.
96. Leonard, I. M. Failure of electronic equipment under tropical service Divison U.S. / I. M. Leonard // Naval research laboratory. Wachingtan. D.C. – February. – 1985.
97. Белоусов, Л. К. Электрические разъемные контакты в радиоэлектронной аппаратуре / Л. К. Белоусов, В. С. Савченко. – М. : Энергия, 1967. – С. 9-12.
98. Творжевский, В. П. Конструирование приборов для стран с тропическим климатом / В. П. Творжевский, И. Г. Перевезенцев. – М. : Машгиз, 1960. – 154 с.
99. Широков, А.М. Надежность радиоэлектронных устройств / А. М. Широков. – М. : Изд-во Высшая школа, 1972. – С. 62-64.

100. Грегори, Ф. Микробиология атмосферы / Ф. Грегори. – М. : Мир, 1964. – 291 с.
101. Методы общей бактериологии // Под ред. Ф.Герхрда. В 3-х т. – М. : Мир, 1983.
102. Обрастание и биоповреждения. Экол. пробл. : сб. науч. тр. – М. : Наука, 1992. – 252 с.
103. Ингольд, Ц. Пути и способы распространения грибов / Ц. Ингольд. – М. : Ин. лит., 1957. – 175 с.
104. Никитина, З. И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем / З. И. Никитина. – Новосибирск : Наука, 1991. – 221 с.
105. Кожевин, П. А. Микробные популяции в природе / П. А. Кожевин. – М. : Изд-во ун-та, 1989. – 173 с.
106. Методы экспериментальной микологии. Справочник./ Под ред. В.И.Билай. – Киев : Наукова Думка, 1982. – 550 с.
107. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Учебное пособие для студентов университетов. – М. : МГУ, 1991. – 303 с.
108. Кузнецов, С. И. Методы изучения водных микроорганизмов / С. И. Кузнецов, Г. А. Дубинина. – М. : Наука, 1989.
109. Звягинцев, Д. Г. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями / Д. Г. Звягинцев. – М. : Изд-во МГУ, 1973. – 47 с.
110. Звягинцев, Д. Г. / Д. Г. Звягинцев // Биологические науки. – 1967. – № 3. – 97 с.
111. Дерягин, Б. В. Адгезия / Б. Г. Дерягин, Н. А. Кротова. – М. : Изд-во АН СССР, 1979. – 246 с.
112. Зимон, А. Д. Адгезия пыли и порошков / А. Д. Зимон. – М. : Химия, 1967. – 43 с.
113. Звягинцева, И. С. Влияние адсорбции клеток микроорганизмов на трансформацию некоторых стероидов / И. С. Звягинцева, Д. Г. Звягинцев. – Биол. наука, 1998. – № 5. – С. 20-28.
114. Архипенко, В. И. Структура и функции межклеточных констант / В. И. Архипенко, Л. В. Гербильский, Ю. П. Черченко // В кн. : Структура и функции биологических мембан. – М. : Наука, 1975. – 347 с.
115. Бобкова, Т. С. Адгезия грибов на ситаллах / Т. С. Бобкова, Л. Н. Чекунова, И. В. Злачевская // Микология и фитопатология. – 1979. – Т. 13, № 3. – С. 208-213.
116. Dijkerman, Rembrandt Adsorption characteristics of cellulolytic enzymes from the anaerobic fungus *Piromyces* sp. strain E2 on microcrystalline cellulose. *Appl. and Environ / Rembrandt Dijkerman [et al.] // Microbiol.* – 1996. – Vol. 62. – № 1. – P. 20-25.
117. Старостина, Н. Г. Гидрофобность клеточной поверхности метанотрофных бактерий: сравнительная оценка и некоторые прикладные аспекты. Автотрофные микроорганизмы / Н. Г. Старостина, А. Г. Кощаев, Е. Н. Ратнер // Труды конф. памяти акад. РАН Е.Н.Кондратьевой. – Москва : МГУ, биофак, 23-25 апреля 1996. – С. 92.
118. The role of physicochemical properties of biomaterials and bacterial cell adhesion in vitro./ T. Kitano [et al.] // *Jnt. Artif. Organs.* – 1996. – Vol. 19, № 6. – P. 353-358.
119. Полная обратимость сорбции биологически активных веществ сильно сшитыми гелевыми карбоксильными катионитами / О. А. Писарев О.А. [и др.] // Прикл. биохимия и микробиол. – 1996. – Т. 32, № 3. – С. 280-283.
120. Влияние некоторых физико-химических факторов среды на адгезию метанотрофных бактерий./ А. Г. Кистень [и др.] // Микробиол. ж. – 1996. – 58, № 3. – С. 62-70.
121. Lindqvist, Roland. Diffusion-limited and chemical-interaction-dependent sorption of soil bacteria and microspheres / Roland Lindqvist, Gorau Bengtsson // *Soil Biol. and Biochem.* – 1995. – Vol. 27, № 7. – P. 941-948.
122. Penalver, Carmen M. Cell wall protein and glycoprotein constituents of *Aspergillus fumigatus* that bind to polystyrene may be responsible for the cell surface hydrophobicity of the mycelium / Carmen M. Penalver, Manuel Casanova, Jose P. Martinez // *Microbiology.* – 1996. – Vol. 142, № 7. – P. 1597-1604.
123. Jansen, B. Prevention of biofilm formazion by polymer modification / B. Jansen, W. Kohnen // *J. Jnd. Microbiol.* – 1995. – Vol. 15, № 4. – P. 391-396.

124. James, G. A. Interspecies bacterial interactions in biofilm / G.A. James, L. Beandette, J. W. Costerton // *J. Ind. Microbiol.* – 1995. – Vol.15, № 4. – P. 257-262.
125. Patti, Joseph M. Mscramm - mediated adherence of microorganisms to host tissues / Joseph M. Patti, Bradley L. Allen // *Annu. Rev. Microbiol.* – 1994. – Vol. 48. – P. 585-617.
126. Корнев, Н. Р. Электрокинетическая характеристика поверхности клеток грибов рода *Candida albicans* / Н. Р. Корнев, З. О. Караев, Н. К. Солдатенко // *Микология и фитопатология.* – 1985. – Т. 19, № 6. – С. 490-494.
127. Fletcher, M. An electron microspore demonstration of an acidic polysaccharide in the adhesion of a marine bacterium to solid surfaces / M. Fletcher, I. D. Floodgate // *J. Gen. Microbiol.* – 1973. – Vol. 74. – P. 325-334.
128. Втюрин, Б. В. Современные методы и приемы электронно-микроскопических исследований биологических объектов / Б. В. Втюрин, А. А. Пальцын. – М. : Радио и связь, 1985. – 56 с.
129. Michell, A.J. An assessment of infrared spectra as indicators of fungal cell wall composition / A. J. Michel, J. Scurfield // *Austral. J. Biol. Sci.* – 1970. – Vol. 23, № 2. – P. 345-360.
130. Marchall Ed. K.C. // *Microbiologic adhesion and aggregation* / Ed. K.C. Marchall. – Berlin etc. : Springer- Verlag, 1984. – 124 p.
131. Применение инфракрасной микроскопии для изучения химического состава клеточных стенок дрожжей / Н. Д. Гуляева [и др.] // *Микробиология.* – 1977. – Т. 46, № 4. – С. 667-671.
132. Шлегель, Г. Общая микробиология / Г. Шлегель. – М. : Мир, 1987. – 566 с.
133. Пат. 5480804 США, МКИ C12M 1/34. Метод и аппарат для обнаружения микроорганизмов / 02.01.96г.
134. Билай, В. И. Основы общей микологии / В. И. Билай. – Киев : Высшая школа, 1980. – 360 с.
135. Браун, В. Генетика бактерий / В. Браун. – М. : Наука, 1968. – 446 с.
136. Билай, В. И. Биологически активные вещества микроскопических грибов и их применение / В. И. Билай. – Киев : Наукова думка, 1965. – 267 с.
137. Перт, С. Д. Основы культивирования микроорганизмов и клеток / С. Д. Перт. – М. : Мир, 1978. – 331 с.
138. Жизнь микробов в экстремальных условиях. – М. : Мир, 1981. – 519 с.
139. Лили, В. Физиология грибов / В. Лили, Г. Барнетт. – М. : Ин. лит-ра, 1953. – 532 с.
140. Билай, Т. И. Ферментативные процессы при биокоррозии / Т. И. Билай // В кн. : Биологические повреждения строительных и промышленных материалов. – Киев : Наук. Думка, 1978. – С. 68-69.
141. Орлова, Е. И. Утилизация полимерных материалов грибами / Е. И. Орлова // *Микология и фитопатология.* – 1980. – Т. 14, вып. 5. – С. 422-425.
142. Tirpak, G. Microbial degradation of plasticized P. V. / G. Tirpak // *C.- Sp. Journal.* – 1970. – Vol. 26. – P. 26.
143. Целлюлозолитические свойства грибов, поражающих произведения графики. / В. И. Билай [и др.] // *Микробиол. журн. АН УССР.* – 1978. – Т. 40, вып. 5. – С. 577.
144. Загуляева, З. А. Некоторые данные о разрушении целлюлозы микромицетами / З. А. Загуляева // В кн. : Проблемы биологических повреждений и обрастаний материалов, изделий и сооружений. – М. : Наука, 1972. – С. 51-54.
145. Нюкша, Ю. П. Ускоренное определение грибостойкости целлюлозных материалов / Ю. П. Нюкша // В кн. : Биологические повреждения строительных и промышленных материалов. – Киев : Наук. Думка, 1978. – С. 158-164.
146. Туркова, З. А. Повреждения некоторых технических материалов грибами / З. А. Туркова // В кн. : Биокоррозия, биоповреждения, обрастание. – М., 1976. – С. 71-80.
147. Фениксова, Р. В. Биосинтез ферментов микроорганизмами / Р. В. Фениксова // В кн. : Проблемы биологических повреждений и обрастаний материалов, изделий и

сооружений. – М. : Наука, 1973. – С. 5-10.

148. Eriksson, K.-C. Fermentation of waste mechanical fibers from a newsprint mill by the rot fungus *Sporotrichum pulverulentum*. / K.-C. Eriksson, K. Larsson // *Biotechnol. and Bioeng.* – 1975. – Vol. 17, № 3. – P. 137-348.

149. Rosenberg, S. L. Cellulose and lignocellulose degradation by thermophilic and thermotolerant fungi / S. L. Rosenberg // *Mucologia.* – 1978. – Vol. LXX, № 1. – P. 1-13.

150. Туркова, З. А. Микофлора материалов на минеральной основе и вероятные механизмы их разрушения / З. А. Туркова // *Микология и фитопатология.* – 1974. – Т. 8, № 3. – С. 219-226.

151. Васнев, В.А. Биоразлагаемые полимеры / В. А. Васнев // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б.* – 1997. – Т. 39, № 13. – С. 2073-2086.

152. Huang, S. J. The effect of structural variation on the biodegradability of synthetic polymers / S. J. Huang // *Amer. Chem. Bacteriol. Polym. Preper.* – 1977. – Vol. 1. – P. 438-441.

153. Borrow, A. The metabolism of *Gibberella fugikuroi* in stirred culture / A. Borrow // *Can. J. Microbiol.* – 1961. – Vol. 7, № 2. – P. 227.

154. Bu Lock, I. D. Regulation of 6-methyl-salicylate and patulin synthesis in *Penicillium urticae* / I. D. Bu Lock // *Can. J. Microbiol.* – 1964. – Vol. 15, № 3. – P. 279.

155. Caldwell, I. V. The growth unit of the mould *Georichum candidum* / I. V. Caldwell, A.P. J. Trinci // *Arch. Microbiol.* – 1973. – Vol. 88, № 1. – P. 1-10.

156. Варфоломеев, С. Д. Биотехнология: Кинетические основы микробиологических процессов / С. Д. Варфоломеев, С. В. Каляжный. – М. :Высш. Шк., 1990. – 296 с.

157. Grove, S. N. An ultrastructure basis for hyphal tip growth in *Pythium ultimum* / S. N. Grove, C. E. Bracker, D. J. Marre // *Amer. J. Bot.* – 1975. – Vol. 59, № 2. – P. 245-266.

158. Громов, Б. В. Экология бактерий / Б. В. Громов, Г. В. Павленко. – Л. :Изд-во Ленингр. ун-та, 1989. – 248 с.

159. Иерусалимский, Н. Д. Основы физиологии микробов / Н. Д. Иерусалимский. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 244 с.

160. Иерусалимский, Н. Д. Количественная зависимость между концентрацией продуктов обмена и скоростью роста микроорганизмов / Н. Д. Иерусалимский, Н. Н. Неронова // *Докл. АН СССР. Сер. биол.* – 1965. – Т. 161, № 6. – С. 1437-1440.

161. Басканьян, И. А. Математическое описание основных кинетических закономерностей процесса культивирования микроорганизмов / И. А. Басканьян, В. В. Бирюков, Ю. М. Крылов // *Микробиология.* – 1976. – вып. 1, № 5. – С. 5-75.

162. *Техническая микология* / Под ред. Веселова И. Я. – М., 1972.

163. Эммануэль, Н. М. Кинетика экспериментальных опухолевых процессов / Н. М. Эммануэль. – М. : Наука, 1977. – 356 с.

164. Роль изучения экологии грибов в определении грибостойкости лакокрасочных покрытий / Е. С. Кулик [и др.] // В кн. : *Микроорганизмы и низшие растения - разрушители материалов и изделий.* – М. : Наука, 1979. – С. 90-96.

165. Рубен, Е. Л. Микробные липиды и липазы / Е. Л. Рубен. – М. : Наука, 1977. – 215 с.

166. Абрамова, Н. Ф. Физиологическая активность культур плесневых грибов при росте на пластмассах и изменения ее в зависимости от метода хранения / Н. Ф. Абрамова, Н. Н. Наплекова, Г. А. Шкулова // В кн. : *Биологические повреждения строительных и промышленных материалов.* – Киев : Наук. Думка, 1978. – С. 69-70.

167. Наплекова, Н. Н. Микробиологическая деградация пластмасс / Н. Н. Наплекова, Н. Ф. Абрамова // *Изв. СО АН СССР. Сер. биол.* – 1978. – № 15/3. – С. 42-47.

168. Huang, S. Mechanochemical studies of enzymatic degradation of insoluble collagen fibers / S. Huang, I. V. Yannas // *J. Biomed. Mater. Res.* – 1984. – № 8. – P. 137-154.

169. Гумаргалиева К.З., Моисеев Ю.В., Даурова Т.Т. Количественные основы биосовместимости и биodeградируемости полимеров.- М.: ЦБНТИмедпром, сер. Промышленность медицинского стекла и пластических масс, 1981.- 48с.

170. Mlinac, M. Degradactja biorargradljvoy polietilena niske gustoce / M. Mlinac, I. Munjko // The 2-nd Inter. Symp. on degradation and stabilization of polymers, 1978. – P. 100-101.
171. Зуев, Ю. С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред / Ю. С. Зуев. – М. : Химия, 1972. – 229 с.
172. Тынный, А. Н. Прочность и разрушение полимеров при воздействии жидких сред / А. Н. Тынный. – Киев : Наукова думка, 1975. – 247 с.
173. Манин, В. Н. Физико-химическая стойкость полимерных материалов в условиях эксплуатации / В. Н. Манин, А. Н. Громов. – Ленинград : Химия, 1980. – 248 с.
174. Воробьева, Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов / Г. Я. Воробьева. – М. : Химия, 1981. – 296 с.
175. Моисеев, Ю. В. Химическая стойкость полимеров в агрессивных средах / Ю. В. Моисеев, Г. Е. Заиков. – М. : Химия, 1979. – 287 с.
176. Эммануэль, М. М. Химическая физика старения и стабилизации полимеров / М. М. Эммануэль, А. Л. Бучаченко. – М. : Наука, 1982. – 359 с.
177. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н. П. Жук. – М. : Металлургия, 1976. – 472 с.
178. Дешелев, С. Ф. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Ф. Дешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, 1980. – 262 с.
179. Миркин, Б. Г. Проблемы группового выбора / Б. Г. Миркин. – М. : Наука, 1974. – 253 с.
180. Защита от коррозии, старения и биоповреждения машин, оборудования и сооружений. Справочник. В 2-х томах. / Под ред. А. А. Герасименко. – М. : Машиностроение, 1987. – 688 с.