

УДК 620.193.8

UDC 620.193.8

**ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ
БИОПОВРЕЖДЕНИЙ И БИОКОРРОЗИИ
МАТЕРИАЛОВ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ**

**ESTIMATION OF BIODEGRADATION AND
BIO-CORROSION OF MATERIALS IN
NATURAL ENVIRONMENTS**

Варченко Екатерина Александровна
*ГЦКИ ВИАМ им. Г.В. Акимова, г.Геленджик,
Россия*

Varchenko Ekaterina Alexandrovna
G. V. Akimov GCTC of VIAM, Gelendzhik, Russia

В статье проанализированы проблемы, возникающие при оценке биоповреждений материалов, элементов конструкций и изделий в природных средах. Выявлены основные причины их возникновения.

The article analyzes the problems that arise when evaluating biodegradation of materials, items, structures and products in natural environments.. The causes of biodegradations are revealed

Ключевые слова: БИОПОВРЕЖДЕНИЕ, БИОКОРРОЗИЯ, МИКРООРГАНИЗМ-ДЕСТРУКТОР, ЛАБОРАТОРНЫЕ И НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Keywords: BIODEGRADATION, BIOCORROSION, DESTRUCTOR, LABORATORY AND FIELD TESTING

В современных условиях, когда поступление новых образцов техники взамен выслуживших установленные сроки крайне ограничено или вообще отсутствует, объективно обостряются проблемы повышения ее долговечности и сохранности.

Безотказная работа и надежность техники в условиях эксплуатации во многом определяется не только свойствами материалов, но и их стойкостью к воздействию природных факторов, естественной составляющей которых являются микроорганизмы [1]. Установлено, что более 50% всех коррозионных процессов связано с воздействием микроорганизмов [2], а микробиологическое воздействие является одним из важнейших проявлений коррозионно-агрессивных влияний окружающей среды. Только учтенные потери от биоповреждений составляют десятки миллиардов долларов ежегодно [3].

Анализ выявленных случаев микробиологических повреждений показывает, что их возникновение, характер и интенсивность развития зависят от свойств, состояния и особенностей использования (в изделии) материала, агрессивности микроорганизма-деструктора, продолжительности и условий взаимодействия пары материал-

микроорганизм, а также ряда способствующих этому взаимодействию факторов.

Сегодня исследователи располагают множеством методов выявления и оценки процессов микробиологического повреждения (гравиметрический, хемолюминисцентный, радиометрический, микроскопический анализы и др.), но вместе с тем в литературе все чаще встречаются противоположные друг другу результаты и выводы относительно биопоражений эксплуатирующихся в натуральных условиях материалов и техники: количественного и качественного состава микроорганизмов-деструктов, их физиолого-биохимических свойств, степени агрессивности по отношению к испытываемому материалу и др. Причиной этому является ряд проблем методологического характера. В связи с вышеизложенным, целью данной публикации является рассмотрение и обсуждение основных методологических трудностей, возникающих при исследовании биоповреждений материалов в природных средах.

Одной из главных причин является недостаточная изученность самого механизма микробиологического повреждения как металлических, так и неметаллических материалов. Это сложный процесс и в целом может быть охарактеризован шестью этапами [4]:

- 1) Перенос микроорганизмов из воздушной, водной сред или из почв на поверхность материала. Этот этап предшествует возникновению биоповреждений.

- 2) Адсорбция микроорганизмов и загрязнений на поверхностях материалов. Процесс достаточно сложен и определяется следующими факторами: активностью микроорганизма; свойствами, основным из которых является шероховатость поверхности; характером среды, например, наличием кислорода в воздухе, температурным интервалом, относительной влажностью воздуха, увлажнением поверхности и рН

водных плёнок; условиями контакта между микроорганизмами, загрязнениями и поверхностями материалов [5].

3) Образование и рост микроколоний до видимых невооруженным глазом. Процесс сопровождается появлением коррозионно-активных метаболитических продуктов.

4) Воздействие продуктов метаболизма, образующихся в результате жизнедеятельности колоний микроорганизмов, на материал (кислотное, щелочное, окислительное и ферментативное).

5) Стимулирование сопутствующих биоповреждениям коррозионного разрушения металлов и старения полимеров. Стимулирование электрохимической коррозии происходит в результате появления концентрационных элементов на поверхности материала при накоплении продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, повышающих агрессивность среды. При этом происходят разрушение защитных пассивных пленок на металле и деполяризация катодного и (или) анодного процессов. Стимулирование старения полимеров микроорганизмами происходит в основном в направлении усиления химической деструкции продуктами жизнедеятельности, а затем и прямым потреблением ими веществ распада полимерных цепей или некоторых ингредиентов полимеров.

б) Синергизм биоповреждений, который происходит в результате наложения ряда факторов и взаимного стимулирования процессов разрушения материалов (собственно биоповреждений, старения, коррозии, изнашивания, усталостных явлений), а также развития биоценозов. Это важнейший этап биопоражения материалов, протекающие во время которого процессы редко учитываются в результатах исследований. Между существующими на поверхности материала микроорганизмами возникают новые связи, в результате которых формируются взаимно функционирующие ассоциации, обеспечивающие выживание и адаптацию

отдельных видов. Функциональные взаимосвязи между микроорганизмами могут существенно влиять на процесс повреждения материала. В период жизнедеятельности одни микроорганизмы могут создавать условия для развития других видов. Так, известны случаи катастрофического разрушения сооружений в результате синергического эффекта, вызванного последовательным действием ацидофильных и ацидофобных тионовых бактерий; обнаружение роста грибов одного вида на погибающих колониях других грибов и др. Мероприятия должны быть направлены на предотвращение синергизма биоповреждений. Наиболее эффективные из них - изменение условий эксплуатации конструкций техники и сооружений [2].

Отличительной особенностью и одновременно сложностью исследования состояния эксплуатирующихся в натуральных условиях материалов и техники, имеющих признаки развития микробиологического поражения, является невозможность доказать, что имеющиеся изменения (внешнего вида, прочности, электросопротивления, оптических свойств и др.) однозначно связаны только с воздействием микроорганизмов. Зачастую они могут являться следствием воздействия не только и не столько микроорганизмов, сколько других факторов: температуры, света, агрессивных сред, механических нагрузок и т.п. В связи с этим для подтверждения наличия и количественной оценки участия микроорганизмов в процессе изменения свойств материала необходимо проведение методически сложно организуемых модельных лабораторных экспериментов по воспроизведению характера реального микробиологического повреждения.

В определении эффектов повреждений материалов затруднено выделение вклада микроорганизмов, так как факторы, стимулирующие биоповреждения, а также процессы коррозии и старения практически одни

и те же, поэтому в реальных условиях эксплуатации необходимо упомянутые процессы изучать в совокупности.

Учеными из Австралии сделана попытка количественно оценить эффекты микробиологической коррозии стали и стальных свай в морской воде [6]. Потребовалось три года натурных испытаний, чтобы показать эффекты микробиологической коррозии на фоне общих коррозионных процессов и вклад микробиологического фактора в развитие коррозионных процессов, наблюдаемых на материалах. Разработана модель коррозии стали в морской среде на длительный период воздействия с учетом воздействия микробиологического фактора (рис.1, 2 (оригинальные рисунки приведены из источника [6])).

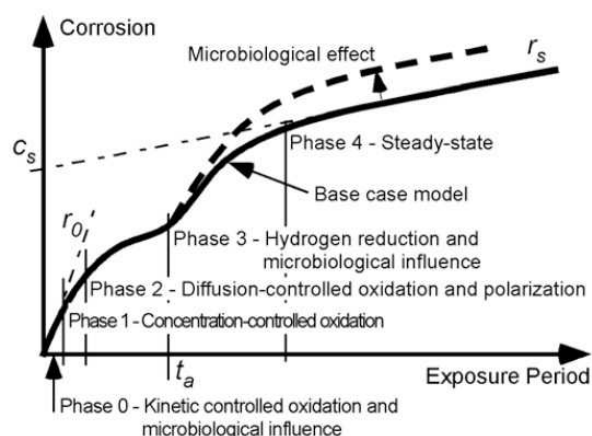


Рис.1 Модель коррозии стали в морской среде

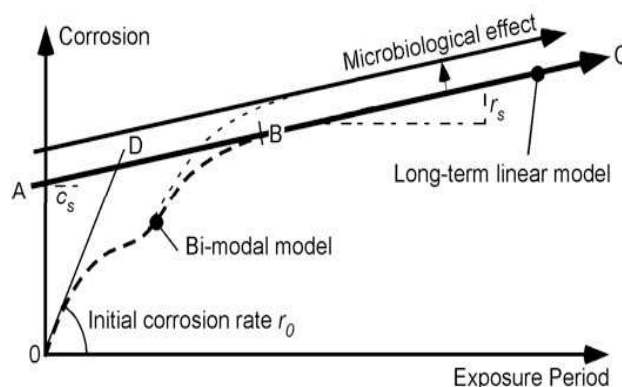


Рис.2 Стадийность в развитии коррозии в морской воде

Но с другой стороны, существующие сегодня методы стандартных лабораторных испытаний не позволяют с высокой точностью симитировать воздействие всех действующих на материал в реальных условиях климатических факторов и получаемые результаты как минимум сомнительны. В своем развитии процессы биопоражения трудно моделировать и прогнозировать из-за взаимного влияния микроорганизмов, входящих в биоценозы, синергических эффектов в отношении

материалов и адаптации материалов и среды на микроорганизмы. Кроме того, на такие процессы как коррозия и старение в самом общем виде влияют все факторы (технологические и эксплуатационные, состояние материала и конструктивное исполнение изделия). Учесть их в моделях процесса практически невозможно без предварительной оценки степени воздействия каждого и выявления наиболее значимых из них [2].

Так, например, авторы [7], исследовав значительное количество случаев повреждений различных изделий в реальных условиях эксплуатации, утверждают, что наиболее часто повреждаются микроорганизмами полимерные (28.5% от общего числа), горюче-смазочные (27.4%) материалы, лакокрасочные покрытия (16.2%), металлы и сплавы (12.6%) (рис.3), но вместе с тем большинство этих материалов во время лабораторных экспериментов показывают достаточную микробиологическую стойкость, удовлетворяющую действующим требованиям.

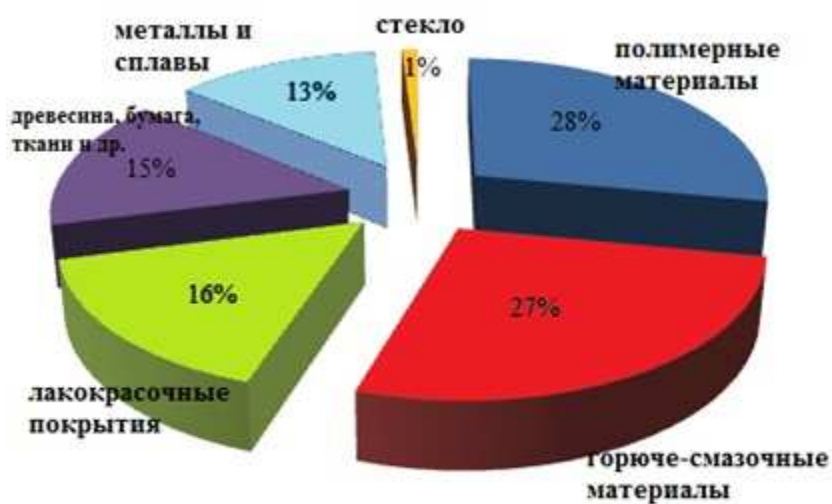


Рис. 3 Количественное соотношение биоповреждений различных материалов

С аналогичной проблемой неэквивалентности результатов лабораторных и натурных испытаний сталкиваются гидробиологи, давая

заключение о стойкости материалов и средств защиты от обрастания. Лабораторные испытания дают крайне приблизительные сведения о видовом разнообразии обрастателей, эффективности способа и доз средств защиты (химических, физических, биологических). Они искусственно ограничивают число и диапазон колебаний абиотических факторов (освещенность и спектральный состав света, температура, соленость, насыщенность кислородом и другими газами и многое другое), время опытов, объем сосудов, число видов организмов. Ограничиваясь лабораторными условиями воспроизвести реальные условия эксплуатации в морской воде того или иного материала невозможно. Лишь натурные морские испытания, выполненные не менее чем в течение 2,5 лет во всех диапазонах естественных и эксплуатационных условий, позволяют правильно оценить выбор мер защиты и их эффективность для данного района и объекта [8].

При проведении биологических натурных испытаний материалов и техники необходимо учитывать тип материала и влияние условий климатического района его эксплуатации на видовой состав и свойства штаммов (агрессивность к материалу, физиолого-биохимические и антагонистические) [7]. Давая заключение о биостойкости материала, зачастую опускаются климатические характеристики района, где проводились испытания, марка испытуемого материала, и выводы оказываются некорректными.

Так, чаще всего в качестве биологического агента повреждения рассматриваются микромицеты, особенно при биоразрушении авиационных топлив, что связано с развитием в авиационных баках мицелия грибов [9] (*p.p. Alternaria, Aspergillus, Cladosporium, Penicillium u др.*) и утверждается, что именно они представляют наибольшую опасность [10-14]. Роль бактерий, приводящих к нарушению технологических свойств соответствующих материалов учитывается в значительно меньшей

степени. В то же время в ряде работ [15] отмечено, что горюче-смазочные материалы, применяемые в условиях северных регионов, повреждаются преимущественно бактериальной микрофлорой, принадлежащей к родам *Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Rhodococcus*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Arthrobacter*. Таким образом, результаты лабораторных испытаний необходимо уточнять данными, полученными при испытаниях объекта под воздействием внешних факторов в нескольких климатических зонах, где влияние дестабилизирующих факторов наиболее интенсивно.

Но основой противоречий в оценках влияния микробиологического фактора на материалы является выбор критериев оценки биостойкости существующих стандартов.

Сегодня в мире существует более 200 различных методов испытаний разнообразных промышленных и строительных материалов на биостойкость [16]. Это ASTM G21, ASTM G22, ASTM D2574, ASTM D3946, ASTM C 1338, BS EN ISO 846:1997, JIS Z 2911:2010 и др. (Табл.1). Наибольшая часть этих стандартов посвящена испытанию устойчивости промышленных материалов к действию микроорганизмов (плесневых грибов и бактерий). Однако эти методы имеют ряд весьма существенных недостатков. Так, при испытании материалов с одинаковым целевым назначением используются различные тест-организмы. В упомянутых выше стандартах существуют заметные различия в режиме, сроках и условиях испытаний. В большинстве указанных стандартов отсутствует проверка возможных изменений физико-химических параметров [17-18].

Таблица 1 - Наиболее распространенные стандарты ведущих зарубежных стран в области защиты материалов и изделий от биоповреждений

BS 1133-5:1985	Упаковка. Руководство. Раздел 5. Защита упаковки и ее содержимого от порчи микроорганизмами, насекомыми, клещами и грызунами
BS EN ISO 846:1997	Пластмассы. Оценка воздействия микроорганизмов
BS EN ISO 11721-1:2001	Текстиль. Определение устойчивости текстиля, содержащего целлюлозу, к микроорганизмам. Испытание на гниlostность выдерживанием в земле. Часть 1. Оценка противогниlostной отделки
BS ISO 8784-1:2005	Бумага, картон и целлюлоза. Микробиологическое исследование. Подсчет общего количества бактерий, дрожжевых клеток и плесени на основе дигерирования
BS EN 60068-2-10:2005	Испытания на воздействия внешних факторов. Часть 2-10. Испытания. Испытание J и руководство. Грибостойкость
DIN 53739-1984	Пластмассы. Определение изменения массы или физических свойств при воздействии грибков и бактерий
DIN EN 60068-2-10-2006	Испытания на воздействия внешних факторов. Часть 2-10. Испытания. Испытание J и руководство. Грибостойкость
JIS Z 2911:2010	Методы определения грибостойкости
ASTM G22	Определение устойчивости пластмасс к бактериальному воздействию
ASTM G21	Определение грибостойкости полимерных материалов
ASTM D2574	Испытания красок на устойчивость к воздействию микроорганизмов
ASTM D3946	Определение устойчивости смазочно-охлаждающих жидкостей к бактериальному воздействию
ASTM D5247	Определение биоразложения пластмасс микроорганизмами
ASTM D5590	Ускоренное определение грибостойкости красок и аналогичных покрытий
ASTM D5589	Определение устойчивости красок и аналогичных покрытий к обрастанию водорослями
ASTM E686	Оценка жидких противомикробных препаратов для обработки поверхности металла
ASTM D 6692	Определение устойчивости пластмасс к биodeградации в морской воде
ASTM C 1338	Определение грибостойкости изоляционных и облицовочных материалов

В нашей стране разработан комплекс стандартов, который определяет систему защиты материалов и изделий от коррозии, старения и биоповреждений - ГОСТ Р 9 «Единая система защиты от коррозии и старения материалов и изделий», стандарты которой широко используются для испытаний на грибостойкость. (Табл. 2). Однако, они имеют не меньше недостатков, чем зарубежные аналоги.

Таблица 2 - Наиболее распространенные стандарты РФ в области защиты материалов и изделий от биоповреждений

ГОСТ-9.048-89	Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов
ГОСТ-9.049-91	Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов
ГОСТ-9.050-75	Покрытия лакокрасочные. Методы лабораторных испытаний на устойчивость к воздействию плесневых грибов
ГОСТ-9.052-88	Масла и смазки. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов
ГОСТ 9.082-77	Масла и смазки. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию бактерий
ГОСТ 9.085-78	Жидкости смазочно-охлаждающие. Методы испытаний на биостойкость
ГОСТ 9.023-74	Метод лабораторных испытаний биостойкости топлив, защищенных противомикробными присадками

Прежде всего, стоит отметить, что существующие ГОСТы по биостойкости разработаны для технических изделий вообще и не учитывают специфику материалов различных отраслей промышленности, чем отличаются от зарубежных стандартов, которые специализированы гораздо в большей степени. Так, например, для строительной отрасли крайне важным является учитывать микроорганизмы-биодеструкторы не только предусмотренные ГОСТ 9.048, но и наиболее часто встречаемые агрессивные биодеструкторы, специфичные для зданий и сооружений той территории, где идет строительство объекта.

Так же, не решен вопрос о пригодности материалов и изделий к эксплуатации в зависимости от степени роста на них плесневых грибов. Материал или изделия считаются выдержавшими испытания на грибостойкость при оценке степени роста, равной 2 баллам (с предварительной очисткой материала от внешних загрязнений) и 3 баллам (без предварительной очистки). Однако многочисленными исследованиями показано, что изделие, получившее оценку 3 балла, нормально функционирует, соответствуя своему назначению, а материалы, грибостойкость которых оценивается в 2 балла, что допустимо по существующим стандартам, оказываются совершенно непригодными, т.к. происходят серьезные изменения их физико-химических параметров [19-20]. Таким образом, рост грибов, выраженный в баллах грибостойкости от 0 до 5 (метод А ГОСТ 9.048) характеризует просто степень обрастания материала микрогрибами, но не отражает степени разрушения материала и ухудшения его свойств [2].

Также существующие ГОСТы не позволяют выявить биоповреждения ряда изделий, которые могут возникать в результате присутствия спор грибов внутри самого изделия, а сама визуальная оценка степени обрастания субъективна.

Но наиболее значимый и существенный недостаток всех ГОСТов по грибостойкости, в отличие от зарубежных аналогов, это длительность проведения испытаний [16]. Существует ряд ГОСТов и ОСТов, содержащих методы испытания на грибостойкость разных видов материалов, в которых существенно различаются условия проведения испытаний (время экспозиции материала, зараженного суспензией спор грибов, колеблется от 28 до 90 суток, различаются также режимы температуры и влажности), что затрудняет сопоставление результатов испытаний [21]. Поэтому важнейшей задачей в этой области является

проблема разработки экспресс-методов, для которых характерны быстрота, высокая чувствительность и точность [22].

Кроме всего, важной причиной несовпадения оценки результатов испытаний на биостойкость одних и тех же материалов, проводимых в лабораторных и климатических условиях, является неучет процесса их старения [16]. Биоповреждения полимеров, как и других материалов, как правило, происходят одновременно с их старением под действием внешних физических и химических факторов окружающей среды (ультрафиолетовое излучение, влага, перепады температур и т.д.). Как уже было сказано выше, оба процесса - биоповреждение и старение - дополняют и усугубляют друг друга [23]. Однако этому моменту при разработке методов испытаний на биостойкость уделяется мало внимания. Так, в ГОСТе 9.049–91 эта проблема представлена в качестве необязательной программы испытаний, а в ГОСТе 9.050–75 вообще отсутствует, несмотря на то, что известно, что под действием факторов климатического старения в полимерах начинаются изменения химического состава и структуры [24], и, в определенный момент, эти материалы (исходно грибостойкие) начинают подвергаться деструкции определенными видами грибов.

В мировой практике в качестве тест-культур используют штаммы грибов, которые наиболее часто и значительно разрушают материалы в условиях их эксплуатации и хранения в различных климатических зонах [16]. С учетом постоянных изменений ассортимента производимых промышленных материалов, а также в связи с наличием у грибов высоких адаптационных возможностей, набор тест-культур для лабораторных методов испытаний на грибостойкость должен постоянно претерпевать изменения [17]. Кроме того, лабораторные штаммы микроорганизмов адаптируются на искусственных питательных средах и теряют свою агрессивность по отношению к материалам. Ряд грибов из 24 видов,

рекомендуемых ГОСТ 9.048-75 и ГОСТ 9.052-75 в штаммах, культивируемых в лабораторных условиях в качестве тест-культур, имеют пониженную активность по сравнению с теми же штаммами, свежевыделенными в реальных условиях [25-27].

Стоит отметить и тот факт, что не все методы учитывают влияние внешних загрязнений поверхности. Споры микроорганизмов могут быть занесены (на оборудование) с частицами пыли. Даже при использовании биостойких материалов микрогрибы при достаточной влажности могут размножаться, используя в качестве питания загрязнения поверхности (например, отпечатки пальцев или остатки мертвых микроорганизмов, содержащиеся в пыли).

Результат получения недостоверных результатов ввиду использования различных методов испытаний можно показать на примере весьма противоречивых сообщений о грибостойкости различного вида полимеров. Достаточно стойкими считают авторы [28, 29] полиэтилены, поливинилхлориды, фторопласты, пенопласты, поливинилацетат. В то же время в работах [30, 31] сообщается, что под действием грибов происходит повреждение нейлона и неопрена, полиэтилена и поливинилхлорида. В работах [32, 33] наблюдалось обрастание полиэтилена грибом *Neurospora sitophila*, а авторы [34] считают этот материал наиболее устойчивым, так как нанесенные на него споры грибов вообще не развивались в течение длительного времени.

Необходима возможность сопоставления полученных результатов с результатами других стран. Для этого необходимо:

- проводить испытания по единым стандартам, которые могут быть применены, по крайней мере, к близким группам материалов и изделий.

- гармонизировать существующую систему отечественных стандартов с международными аналогами [16].

Таким образом, для предотвращения некорректных результатов и неадекватных оценок при учетах результатов испытаний на биостойкость одних и тех же материалов необходим комплексный подход с использованием многочисленных и разнообразных характеристик и методов, которые необходимо проводить по единым методикам и стандартам; необходимо принимать во внимание, что в реальных эксплуатационных условиях имеет место синергизм биоповреждений; результаты лабораторных испытаний необходимо уточнять данными, полученными при испытаниях объекта под воздействием внешних факторов в нескольких климатических зонах, где влияние дестабилизирующих факторов наиболее интенсивно; испытания биостойкости материалов следует проводить не на лабораторных штаммах, а на штаммах микроорганизмов, выделенных из данного объекта.

Список литературы

1. Семенов, С.А. Биоразрушения материалов и изделий техники / С.А. Семенов, К.З. Гумаргалиева, И.Г. Калинина и др. // Вестник МИТХТ. - 2007. - Т. 2. - №6.- С. 3–26.
2. Герасименко, А. А. Защита машин от биоповреждений / А. А. Герасименко.- М.: Машиностроение, 1984.- 111 с.
3. Ерофеев, В.Т. Биодegradация и биосопротивление цементных бетонов / В.Т. Ерофеев, Е. А. Морозов, А. Д. Богатов и др. // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: Материалы третьей международной науч.-техн. конф. - Саранск: Изд-во Мордов. гос. ун-та, 2009.- С.115-117
4. Кац, Н.Г. Химическое сопротивление материалов и защита оборудования нефтегазопереработки от коррозии / Н.Г. Кац, В.П. Стариков, С.Н. Парфенова.- М.: Машиностроение, 2011.- 436с.
5. Iverson, W.P. Biological corrosion / W.P. Iverson // Adv. Corros. Sci. And Technol.- 1972.- V. 2.- P. 1–42.
6. Melchers, R.E. Long-term immersion corrosion of steels in seawaters with elevated nutrient concentration / R.E. Melchers //Corrosion Science. - 2014. - V. 81. - P. 110–116
7. Семенов, С.А. Характеристики процессов и особенности повреждения материалов техники микроорганизмами в условиях эксплуатации / С.А. Семенов, К.З. Гумаргалиева, Г.Е. Заиков // Вестник МИТХТ. - 2008. - Т. 3. - №2. - С. 12.
8. Лебедев, Е.М. К вопросу об обрастании пластин на Черном море / Е.М. Лебедев, Ю.Е. Пермитин, Н.И. Караева // Труды ИОАН.- 1963. - Т.10. - С. 82–93.
9. Карасев, С.Г. Бактериальные тест-культуры для испытания биостойкости углеводородсодержащих технологических материалов / С.Г. Карасев, С.М. Самкова //

сб. тезисов докладов IX науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон – 2012». – М, 2012. – С. 71.

10. Кривушина, А.А. Микромицеты в авиационном топливе: Автореф. дис... к.б.н. / А.А. Кривушина.- М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. – 26 с.

11. Rodríguez-Rodríguez, C.E. Fungal contamination of stored automobile-fuels in a tropical environment / C.E. Rodríguez-Rodríguez, E. Rodríguez, R. Blanco et al. // *Journal of Environmental Sciences*. - 2010. - V. 22. - №10. - P. 1595–1601.

12. Passman, F.J. Microbial contamination and its control in fuels and fuel systems since 1980 (review) / F.J. Passman // *International Biodeterioration & Biodegradation*. - 2013. - V. 81. - P. 88–104.

13. Konwar Uday. Vegetable oil based highly branched polyester/clay silver nanocomposites as antimicrobial surface coating materials / Konwar Uday, Korak Niranjana, Mandal Manabendra // *International Journal*. - 2010. - V. 68. - №4. - P. 265–273.

14. Atlas, R.M. Effects of Temperature and Crude Oil Composition on Petroleum Biodegradation / R.M. Atlas // *Applied microbiology*. - 1975. - V. 30. - №3. - P. 396–403.

15. Ямпольская, Т.Д. Биоповреждения горюче-смазочных материалов в условиях северных регионов / Т.Д. Ямпольская, Т.В. Шахалай // *Известия Самарского научного центра РАН*. - 2010. - Т. 12. - №1(5). - С. 1250–1255.

16. Кряжев Д.В. Анализ методов оценки биостойкости промышленных материалов (критерии, подходы) / Д.В. Кряжев, В.Ф. Смирнов, О.Н. Смирнова и др. // *Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского*. - 2013. - №2 (1). - С. 118–124.

17. Родионова, М.С. О методах испытания изделий на грибостойкость / М.С. Родионова, Л.В. Березниковская, А.В. Веприцкая // *Микология и фитопатология*. - 1990. - Т. 24. - №1. - С. 87–88.

18. Смирнов, В.Ф. Некоторые проблемы, возникающие при разработке стандартных методов испытаний материалов на грибостойкость / В.Ф. Смирнов // *Экологические проблемы биodeградации промышленных, строительных материалов и отходов производства: сб. науч. работ. – Пенза, 1998. – С. 58–59.*

19. Забырина, К.И. Электроизоляционные лаки и материалы, предназначенные для работы в условиях тропического климата / К.И. Забырина // *Лакокрасочные покрытия для условий тропического климата: сб. науч. работ. М.: Профиздат, 1977. – №1. – С. 27–44.*

20. Карякина, М.И. Лакокрасочные материалы: технические требования и контроль качества: справочное пособие / М.И. Карякина, Н.В. Майорова. - М.: «Химия». - 1985. – 272 с.

21. Лугаускас, А.Ю. Видовой состав микроскопических грибов и ассоциации микроорганизмов на полимерных материалах / А.Ю. Лугаускас, Л.М. Гиригайте, Ю.П. Репечкене и др. // *Актуальные вопросы биоповреждений: сб. статей. М.: Наука, 1983. – С. 153-173.*

22. Анисимов, А.А. К вопросу о методике определения биостойкости полимерных материалов, используемых в радиотехнике, электронике и химической промышленности / А.А. Анисимов, В.Ф. Смирнов, М.С. Фельдман // *Методы определения биостойкости материалов: сб. науч. работ. М: Профиздат, 1979. – С. 82–100.*

23. Пехташева, Е.Л. Биоповреждения и защита синтетических полимерных материалов / Е.Л. Пехташева, А.Н. Неверов, Г.Е. Заиков и др. // *Вестник Казанского технологического ун-та*. - 2012. - Т. 15. - №10. - С. 166–173.

24. Павлов, Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях / Н.Н. Павлов. - М.: Химия, 1982. - 224 с.

25. Ильичев, В.Д. Экологические основы защиты от биоповреждений / В.Д. Ильичев, Б.В. Бочаров, М.В. Горленко. - М.: Наука, 1985. - 261с.
26. Ильичев, В.Д. Биоповреждения: уч. пособие для биолог. спец. вузов / В.Д. Ильичев. - М.: Высшая школа, 1987. - 352с.
27. Андреюк, Е.И. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И. Андреюк, В.И. Билай. - Киев: Наукова Думка, 1980. - 287с.
28. Позднева, Н.И., Павлова В.Г., Пименова М.Н. и др. Исследования стойкости полиэтиленовых изоляционных покрытий к воздействию микроорганизмов / Н.И. Позднева, В.Г. Павлова, М.Н. Пименова и др. // Тез. всес. симп. теорет. пробл. биологических повреждений материалов. АН СССР.- М.: Наука, 1971. - С. 3-5.
29. Белоконь, Н.Ф. Грибостойкие фенопласты с органическим наполнителем / Н.Ф. Белоконь, Е.А.Татевосян, Г.А. Шидкова // Сб. тезисов докладов II Всесоюзного симпозиума по биологическим повреждениям и обрастанию материалов, изделий и сооружений. - М.: Наука, 1972. - С. 54-55.
30. Рудакова, А.К. Микробная коррозия полимерных материалов (полихлорвиниловые пластикаты и полиэтилен), применяемых в кабельной промышленности и способы ее предупреждения: Автореф. дисс... к.х.н. / А.К. Рудакова. - М., 1969. - 24 с.
31. Cuevas V. C. Isolation of decomposer fungi with plastic degrading ability / V. C. Cuevas, R. Managilod // Philippine Journal of Science. - 1997. - V. - 126. - №2. - P. 117-130.
32. Белоконь, Н.Ф. Методы исследования грибостойкости пластических масс / Н.Ф. Белоконь, Е.А. Татевосян, Г.А. Шидкова // Пластические массы. - 1974. - №9. - С. 65-67.
33. Билай, В.И. Исследование грибной коррозии различных материалов / В.И. Билай, Э.З. Коваль, Л.М. Свиридовская // сб. трудов IV съезда микробиологии Украины. - Киев: Наукова Думка, 1975. - С. 85.
34. Pankhurst E.S. Protective coatings and wrappings vor buried pipes microbiological aspects / E.S. Pankhurst // Journal of the Oil and Colour Chemists' Association. - 1973. - V. 6. - №8. - P. 373-381.

References

1. Semenov, S.A. Biorazrusheniya materialov i izdelij tehniki / S.A. Semenov, K.Z. Gumargalieva, I.G. Kalinina i dr. // Vestnik MИTHT. - 2007. - T. 2. - №6.- С. 3-26.
2. Gerasimenko, A. A. Zashhita mashin ot biopovrezhdenij / A. A. Gerasimenko.- М.: Mashinostroenie, 1984.- 111 s.
3. Erofeev, V.T. Biodegradacija i biosoprotivlenie cementnyh betonov / V.T. Erofeev, E. A. Morozov, A. D. Bogatov i dr. // Biopovrezhdenija i biokorrozija v stroitel'stve: Materialy tret'ej mezhdunarodnoj nauch.-tehn. konf. - Saransk: Izd-vo Mordov. gos. un-ta, 2009.- S.115-117
4. Кас, N.G. Himicheskoe soprotivlenie materialov i zashhita oborudovanija neftegazopererabotki ot korrozii / N.G. Кас, V.P. Starikov, S.N. Parfenova.- М.: Mashinostroenie, 2011.- 436s.
5. Iverson, W.P. Biological corrosion / W.P. Iverson // Adv. Corros. Sci. And Technol.- 1972.- V. 2.- P. 1-42.
6. Melchers, R.E. Long-term immersion corrosion of steels in seawaters with elevated nutrient concentration / R.E. Melchers //Corrosion Science. - 2014. - V. 81. - P. 110-116
7. Semenov, S.A. Harakteristiki processov i osobennosti povrezhdenija materialov tehniki mikroorganizmami v uslovijah jekspluatacii / S.A. Semenov, K.Z. Gumargalieva, G.E. Zaikov // Vestnik MИTHT. - 2008. - T. 3. - №2. - S. 12.

8. Lebedev, E.M. K voprosu ob obrastanii plastin na Chernom more / E.M. Lebedev, Ju.E. Permitin, N.I. Karaeva // Trudy IOAN.- 1963. - T.10. - S. 82–93.
9. Karasev, S.G. Bakterial'nye test-kul'tury dlja ispytaniya biostojkosti uglevodorodsoderzhashhijh tehnologicheskijh materialov / S.G. Karasev, S.M. Samkova // sb. tezisov dokladov IX nauch. konf. po gidroaviacii «Gidroaviasalon – 2012». – M, 2012. - S. 71.
10. Krivushina, A.A. Mikromicety v aviacionnom toplive: Avtoref. dis... k.b.n. / A.A. Krivushina.- M.: MGU im. M.V. Lomonosova, 2012. - 26 s.
11. Rodríguez-Rodríguez, C.E. Fungal contamination of stored automobile-fuels in a tropical environment / C.E. Rodríguez-Rodríguez, E. Rodríguez, R. Blanco et al. // Journal of Environmental Sciences. - 2010. - V. 22. - №10. - P. 1595–1601. 12. Passman, F.J. Microbial contamination and its control in fuels and fuel systems since 1980 (review) / F.J. Passman // International Biodeterioration & Biodegradation. - 2013. - V. 81. - P. 88–104.
13. Konwar Uday. Vegetable oil based highly branched polyester/clay silver nanocomposites as antimicrobial surface coating materials / Konwar Uday, Korak Niranjana, Mandal Manabendra // International Journal. - 2010. - V. 68. - №4. - R. 265–273.
14. Atlas, R.M. Effects of Temperature and Crude Oil Composition on Petroleum Biodegradation / R.M. Atlas // Applied microbiology. - 1975. - V. 30. - №3. - R. 396–403.
15. Jampol'skaja, T.D. Biopovrezhdenija gorjuče-smazochnyh materialov v uslovijah severnyh regionov / T.D. Jampol'skaja, T.V. Shahalaj // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. - 2010. - T. 12. - №1(5). - S. 1250–1255.
16. Krjazhev D.V. Analiz metodov ocenki biostojkosti promyshlennyh materialov (kriterii, podhody) / D.V. Krjazhev, V.F. Smirnov, O.N. Smirnova i dr. // Vestnik Nizhegorodskogo un-ta im. N.I. Lobachevskogo. - 2013. - №2 (1). - S. 118–124.
17. Rodionova, M.S. O metodah ispytaniya izdelij na gribostojkost' / M.S. Rodionova, L.V. Bereznikovskaja, A.V. Veprickaja // Mikologija i fitopatologija. - 1990. - T. 24. - №1. - S. 87–88.
18. Smirnov, V.F. Nekotorye problemy, vznikajushhie pri razrabotke standartnyh metodov ispytaniy materialov na gribostojkost' / V.F. Smirnov // Jekologicheskie problemy biodegradacii promyshlennyh, stroitel'nyh materialov i othodov proizvodstva: sb. nauch. rabot. – Penza, 1998. - S. 58–59.
19. Zabyrina, K.I. Jelektroizoljacionnye laki i materialy, prednaznachennye dljaraboty v uslovijah tropicheskogo klimata / K.I. Zabyrina // Lakokrasochnye pokrytija dlja uslovij tropicheskogo klimata: sb. nauch. rabot. M.: Profizdat, 1977. - №1. - S. 27–44.
20. Karjakina, M.I. Lakokrasochnye materialy: tehniczeskie trebovanija i kontrol' kachestva: spravocnoe posobie / M.I. Karjakina, N.V. Majorova. - M.: «Himija». - 1985. – 272 s.
21. Lugauskas, A.Ju. Vidovoj sostav mikroskopicheskijh gribov i asociacij mikroorganizmov na polimernyh materialah / A.Ju. Lugauskas, L.M. Girigajte, Ju.P. Repechkene i dr. // Aktual'nye voprosy biopovrezhdenij: sb. statej. M.: Nauka, 1983. – S. 153–173.
22. Anisimov, A.A. K voprosu o metodike opredelenija biostojkosti polimernyh materialov, ispol'zuemyh v radiotekhnike, jelektronike i himicheskoi promyshlennosti / A.A. Anisimov, V.F. Smirnov, M.S. Fel'dman // Metody opredelenija biostojkosti materialov: sb. nauch. rabot. M: Profizdat, 1979. - S. 82–100.
23. Pehtasheva, E.L. Biopovrezhdenija i zashhita sinteticheskijh polimernyh materialov / E.L. Pehtasheva, A.N. Neverov, G.E. Zaikov i dr. // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo un-ta. - 2012. - T. 15. - №10. - S. 166–173.
24. Pavlov, N.N. Starenie plastmass v estestvennyh i iskusstvennyh uslovijah / N.N. Pavlov. - M.: Himija, 1982. - 224 s.

25. Il'ichev, V.D. Jekologicheskie osnovy zashhity ot biopovrezhdenij / V.D. Il'ichev, B.V. Bocharov, M.V. Gorlenko. - M.: Nauka, 1985. - 261s.
26. Il'ichev, V.D. Biopovrezhdenija: uch. posobie dlja biolog. spec. vuzov / V.D. Il'ichev. - M.: Vysshaja shkola, 1987. - 352s.
27. Andrejuk, E.I. Mikrobnaja korrozija i ee vozбудiteli / E.I. Andrejuk, V.I. Bilaj. - Kiev: Naukova Dumka, 1980. - 287s.
28. Pozdneva, N.I., Pavlova V.G., Pimenova M.N. i dr. Issledovaniya stojkosti polijetilenovyh izoljacionnyh pokrytij k vozdejstvuju mikroorganizmov / N.I. Pozdneva, V.G. Pavlova, M.N. Pimenova i dr. // Tez. vses. simp. teoret. probl. biologicheskikh povrezhdenij materialov. AN SSSR.- M.: Nauka, 1971. - S. 3-5.
29. Belokon', N.F. Gribostojkie fenoplasty s organicheskim napolnitelem / N.F. Belokon', E.A. Tatevosjan, G.A. Shidkova // Sb. tezisov dokladov II Vsesojuznogo simpoziuma po biologicheskim povrezhdenijam i obrastaniju materialov, izdelij i sooruzhenij. - M.: Nauka, 1972. - S. 54-55.
30. Rudakova, A.K. Mikrobial'naja korrozija polimernyh materialov (polihlorvinilovye plastikaty i polijetilen), primenjaemyh v kabel'noj promyshlennosti i sposoby ee preduprezhdenija: Avtoref. diss... k.h.n. / A.K. Rudakova. - M., 1969. - 24 s.
31. Cuevas V. C. Isolation of decomposer fungi with plastic degrading ability / V. C. Cuevas, R. Managilod // Philippine Journal of Science. - 1997. - V. - 126. - №2. - R. 117-130.
32. Belokon', N.F. Metody issledovaniya gribostojkosti plasticheskikh mass / N.F. Belokon', E.A. Tatevosjan, G.A. Shidkova // Plasticheskie massy. - 1974. - №9. - S. 65-67.
33. Bilaj, V.I. Issledovanie gribnoj korrozii razlichnyh materialov / V.I. Bilaj, Je.Z. Koval', L.M. Sviridovskaja // sb. trudov IV s'ezda mikrobiologii Ukrainy. - Kiev: Naukova Dumka, 1975. - S. 85.
34. Pankhurst E.S. Protective coatings and wrappings vor buried pipes microbiological aspects / E.S. Pankhurst // Journal of the Oil and Colour Chemists' Association. - 1973. - V. 6. - №8. - P. 373-381.