

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №4, Том 6 / 2019, No 4, Vol 6 <https://t-s.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/19SATS419.pdf>

DOI: 10.15862/19SATS419 (<http://dx.doi.org/10.15862/19SATS419>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Светлов Д.А., Качалов А.Н. Микробиологическая коррозия строительных материалов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, <https://t-s.today/PDF/19SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/19SATS419

For citation:

Svetlov D.A., Kachalov A.N. (2019). Microbiological corrosion of building materials. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/19SATS419.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/19SATS419

УДК 620.1:691.32

Светлов Дмитрий Анатольевич

ООО «Софт Протектор», Москва, Россия
Генеральный директор
Кандидат технических наук
E-mail: telflex@list.ru

Качалов Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия
Аспирант кафедры «Строительных материалов и технологий»
E-mail: ka4alow@gmail.com

Микробиологическая коррозия строительных материалов

Аннотация. Приведены результаты исследования в области микробиологической коррозии строительных материалов отечественных и зарубежных специалистов. Показано, что микроорганизмы вызывают коррозию бетонов на цементных и иных связующих металлических и других материалов. Металлы в порядке снижения скорости биокоррозии располагаются в следующий ряд: алюминий, малоуглеродистая сталь, цинк, латунь, медь, нержавеющая сталь.

Бетоны из-за большой поверхностной активности способны адсорбировать самые различные вещества, в том числе микроорганизмы: бактерии и мицелиальные грибы. Из бактерий в коррозии цементного бетона участвуют нитрификаторы, тионовые, железо- и силикатные бактерии и др. (главным образом своими кислотными выделениями). Согласно данным целого ряда авторов, на поверхности каменных строительных материалов преобладают мицелиальные грибы родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Cephalosporium*.

Биоповреждения в этом случае преимущественно сводятся к нарушению сцепления составляющих компонентов в результате воздействия минеральных или органических кислот, а также ферментов и вследствие химических реакций между цементным камнем растворов и бетонов и продуктами жизнедеятельности микроорганизмов.

Составы битумных композитов при различных соотношениях используемых материалов без включения в состав фунгицидов показали негрибостойкость и нефунгицидность.

Сравнение бетонов на гипсовом и фосфогипсовом связующих показывали, что образцы на фосфогипсовом вяжущем обрастают микроорганизмами несколько больше, подвержены значительным биоповреждениям при повышенной влажности древесные материалы.

Биодеградация древесины происходит в основном за счет использования грибами в качестве источников питания целлюлозы, лигнина и других компонентов.

Синтетические полимеры и материалы на их основе существенно превосходят по биостойкости природные полимеры. Однако в определенных условиях эксплуатации они повреждаются биологическими агентами. Биоповреждение пластических масс, как и других материалов, происходит одновременно с их старением под действием внешних физических и химических факторов (ультрафиолетового излучения, воды, перепадов температуры и т. д.). На биостойкость полимерных материалов существенно влияют добавки, обычно всегда присутствующие в полимерных композициях (наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, антиокислители, модификаторы, пигменты и др.).

Одним из эффективных способов повышения биостойкости композиционных строительных материалов является введение в их состав фунгицидных добавок. Показано также что, большое значение в повышении долговечности и увеличении срока эксплуатации некоторых строительных конструкций (металлических изделий, коммуникаций, подземных трубопроводов и некоторых других) имеет их защита лакокрасочными покрытиями.

Ключевые слова: строительные материалы; металлы; бетоны; пластмассы; биобрастания; микробиологическая коррозия; бактерии; мицелиальные грибы

Введение

В настоящее время как у нас в стране, так и за рубежом проводятся интенсивные исследования стойкости в микробиологических средах материалов и изделий на основе металла и древесины, композиционных строительных материалов (КСМ) на основе неорганических и органических связующих [1–14]. Микробиологическую коррозию вызывают бактерии, мицелиальные грибы, актиномицеты [15]. Ущерб, наносимый микроорганизмами зданиям и сооружениям различного назначения, оценивается в несколько млн. долларов ежегодно [1–4].

Состояние проблемы, анализ и обсуждение результатов

Теоретические исследования по биокоррозии металлических и композиционных строительных материалов наиболее полно приведены в работах [2; 10; 11].

Микроорганизмы вызывают коррозию различных марок стали, чугуна, а также алюминия, меди, золота, цинка, свинца, хрома, олова, никеля, молибдена и кадмия. В порядке снижения скорости коррозии металлы располагаются в следующий ряд: алюминий, малоуглеродистая сталь, цинк, латунь, медь, нержавеющая сталь [16]. Установлено, что с увеличением атомной массы элементов в пределах II–IV групп Периодической системы элементов Д.И. Менделеева их грибостойкость повышается [17]. Наибольшая грибостойкость характерна для оксидов металлов Cu, Mg, Ca, Zn, Ba, а также для Br_2O_3 , TiO_2 , WO_3 , $SnNO_2$, PbO , Ni_2O_3 , а минимальная – для SiO_2 и Fe_2O_3 .

Коррозийное воздействие микробов на металлы возможно как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Прямое участие в коррозии принимают микроорганизмы, образующие кислоты (нитрифицирующие, тионово-кислые и сульфатредуцирующие бактерии). Косвенное их участие в коррозии имеет различные проявления [18–20]: одни из них действуют как деполяризаторы (СРБ, денитрифицирующие, железобактерии); другие, поглощая кислород или выделяя углекислый газ, неблагоприятно влияют на образование и стабилизацию защитных пленок на металле; третьи вызывают образование токов дифференциальной аэрации. Под действием микроорганизмов коррозия металлов может принимать характер

биоэлектрохимического процесса; некоторые бактерии способны метаморфизировать бензин в органические кислоты и тем самым стать косвенной причиной коррозии металлических емкостей, используемых для его хранения.

Бетоны на основе цементных вяжущих обладают значительной поверхностной активностью и в этой связи адсорбируют самые различные вещества, в том числе и микроскопические организмы. В процессах биокоррозии цементного бетона участвуют, главным образом своими кислотными выделениями, автотрофные бактерии: нитрификаторы, тионовые, железо- и силикатные бактерии и др. [21–30].

Механизм негативного воздействия микроорганизмов на бетон представляется следующим образом. В результате твердения бетон покрывается защитной пленкой, которая образовывается под действием углекислого кальция. До тех пор, пока пленка цела, она препятствует диффузии воды во внутреннюю структуру изделий и тем самым защищает их от разрушения. Тионовые бактерии, поселяющиеся на поверхности изделий с карбонатной пленкой, разрушают его, изменяя pH контактирующей воды за счет образуемой ими кислоты. К тому же они приносят вред, продуцируя сульфаты, которые образуют гидросульфоалюминат кальция, ускоряющий разрушение материала [31].

Значительный интерес вызывают биообрастания различных конструкций в водных средах, что приводит к разрушениям. Механизм воздействия бактерий на бетон в условиях морской воды следующий [3; 18]. Окисляющие серу денитрифицирующие бактерии вырабатывают серную кислоту, которая разрушает защитную карбонатную корку на поверхности изделия. В результате этого морская вода, обогащенная сульфатами, проникает внутрь материала. При взаимодействии сульфатов с гидратом окиси кальция образуется гипс или сульфоалюминат кальция, которые и обуславливают коррозию бетона. Жизнедеятельность масляно-кислых бактерий приводит к образованию масляной кислоты, которая растворяет карбонатную пленку. При гидролизе уrolитические бактерии из мочевины образуют аммиак и углекислый газ. Углекислый газ также разрушающе действует на карбонатную пленку. После этого сульфаты морской воды вступают в реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне, причем в присутствии аммиака образуется двойная соль $\text{CaSO}_4 \cdot (\text{NH}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$. Благодаря хорошей растворимости в воде данная соль легко вымывается из бетона, что и приводит к его коррозии. Доказано также, что нитрифицирующие и масляно-кислые бактерии приводят к выщелачиванию кальция из цементного камня и к снижению вследствие этого механической прочности цементных бетонов [21]. Разрушение цементного бетона в этом случае объясняется тем, что в результате жизнедеятельности микроскопических организмов образуются органические и неорганические кислоты, растворяющие защитную карбонатную пленку на поверхности бетона, что открывает сульфатам доступ в структуру материала, где образуется гидросульфоалюминат кальция. Заселяясь в микроразделах, тионовые бактерии, в частности *Thiobacillus thioparus*, из-за высокой щелочности конденсата окисляют H_2S , CaS и S° до серной кислоты, которая, взаимодействуя с гидроксидом кальция, образует двуводный гипс. С течением времени в результате накопления H_2SO_4 нарастает площадь пораженных микроразделов и происходит полная сульфатизация всей поверхности бетона. Накопление H_2SO_4 и падение pH до 1–4 приводит к смене форм тионовых бактерий *Thiobacillus thioparus* на *Th. thiooxidans*. Параллельно этому при концентрации на поверхности бетона серной кислоты с pH, равным 1–2, происходит прямое химическое окисление сероводорода до H_2SO_4 . Постепенное проникновение серной кислоты вглубь бетона вызывает активное его разрушение от поверхности до глубинных слоев. На фоне внутренних локальных структурных напряжений в бетоне происходит развитие усадочных деформаций, трещинообразования, ползучести материала [32; 33].

Повреждение природных и искусственных каменных материалов, в том числе бетона, в определенных условиях можно связать с развитием плесневых грибов [3; 21]. Плесневение в этом случае протекает с различной скоростью в зависимости от химического состава камня, влажности субстрата и температуры окружающей среды. В отличие от бактерий, мицелиальные грибы не способны к самостоятельному синтезу органических веществ и существуют за счет готовых форм этих соединений, поэтому обычно встречаются на загрязненной поверхности камня или при наличии в нем органических добавок [34–39]. По результатам исследований целого ряда авторов, на поверхности каменных строительных материалов в большей степени заселяются представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Cephalosporium* [40–45]. Природные и искусственные камни обычно обильнее заселяются грибами в условиях повышенной влажности, возникающей чаще всего в строениях без соответствующей вентиляции и с северной стороны бетонных сооружений. Разрастаясь по поверхности строительного материала, грибы образуют бархатистые, войлокообразные и ватообразные налеты различной окраски, чем вызывают его биодegradацию. Путем анализа микофлоры, развивающейся при эксплуатации строительных изделий на минеральной основе в условиях умеренного климата, обнаружены формы плесневых грибов, типичные для засоленных и щелочных почв (*Aspergillus melleus*, *Penicillium corilofillum*, *P. chrysogenum*, *P. notatum*, *P. cyclopium*), что предположительно обуславливается спецификой исследуемых материалов, содержащих в своем составе окислы щелочных металлов [46; 47].

Разрушающее действие мицелиальных грибов на бетон и другие каменные строительные материалы, обусловлено, по мнению целого ряда авторов, агрессивным воздействием метаболитов грибов (органических кислот, окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов) на отдельные компоненты [46–49]. Например, установлено, что лимонная и щавелевая кислоты, могут накапливаться грибами в большом количестве (до 10 %) [34]. Например, штамм *Aspergillus niger* продуцирует глюконовую и щавелевую кислоты. Данные кислоты после 11 месяцев контакта вызывают увеличение пористости цементного камня и потерю связывающей способности вяжущего [50]. Другой микроорганизм – *Mycelia sterila* продуцирует глюконовую и малоновую кислоты, контакт с которыми способствует таким же изменениям качества вяжущего и цементного камня. При этом известно, что максимальное продуцирование кислот мицелиальными грибами происходит при высоких температурах и низких значениях pH [50].

Рассуждая о возможных механизмах деградации каменных материалов под действием микромицетов, следует учитывать также то, что в условиях резкого углеродного голодания и при наличии в субстрате доступных источников азота они способны вести себя как бактерио-нитрификаторы – добывать энергию путем окисления аминного и аммиачного азота до нитратов, продуцируя азотную кислоту [51].

Долговечность цементных бетонов в условиях воздействия биологических сред во многом зависит от пористости материала, при увеличении которой увеличивается его проницаемость для микроорганизмов что способствует снижению прочности композитов [3]. К резкому росту стойкости способствует введение в состав цементных композиций тонкодисперсного наполнителя – микрокремнезема и добавки на основе эпоксидной смолы, отверждаемой аминосланцевым отвердителем. Эти добавки благоприятно влияют на структурообразование и пористость цементного камня. Микрокремнезем в основном состоит из аморфного кремнезема, который, взаимодействуя с гидроксидом кальция, способствует образованию дополнительного количества низкоосновных гидросиликатов кальция, что обуславливает уплотнение цементного камня. Полимерная добавка, наряду со снижением пористости цементного камня, улучшает его структуру за счет образования взаимопроникающих фаз полимера и цемента, что повышает его устойчивость в агрессивных средах метаболитов грибов [3].

Существует зависимость степени обрастания пенобетонных композитов мицелиальными грибами от вида пенообразующих и пластифицирующих добавок [52]. Все пластифицирующие добавки способствуют уменьшению обрастаемости материалов при испытаниях как по методу 1, так и по методу 3 согласно ГОСТ 9049-91. Ненаполненным составом грибостойкость в большей степени придает суперпластификатор марки С-3, а наполненным – добавка ДСИ. Пенообразующие добавки, вводимые в состав цементных композиций, также влияют на обрастаемость материалов микроскопическими грибами. При введении добавок «Неопор» и ПО-1 в количестве до 3 % снижается степень обрастания по методу 1 на 2–3 балла. Лучший эффект достигается при введении пенообразователя марки ПО-1: при его содержании в композите в количестве 1 % снижается степень обрастания по методу 1 на 3 балла, по методу 3 – на 1 балл, хотя композиты на данном пенообразователе грибостойки, но не фунгицидны. Больше поражаются грибами составы, наполненные песком, в котором содержание глинистых частиц превышает 7 % [52].

Результаты исследований биостойкости связующих на основе отходов стекла свидетельствуют [53], что их компоненты не обладают биоцидными свойствами, в то же время известняк, молотые стекло и керамзит, а также полуводный гипс являются грибостойки. Вследствие того, что затворение данных материалов осуществляется щелочным раствором, рН среды возрастает до значений, неблагоприятных для роста и размножения микроорганизмов, что значительно повышает биостойкость композитов. Большинство изученных составов обладают фунгицидными свойствами. Более сильно они выражены у материалов, включающих в своем составе добавку ацетона (радиус зоны подавления роста грибов составляет 12 мм).

Гипсовые композиты также подвержены обрастанию микроорганизмами. Сравнение составов на гипсовом и фосфогипсовом связующих показывает, что образцы на фосфогипсе обрастают несколько больше. Также установлено, что после выдерживания составов в биологической среде по методу 3 в течение 14 сут. массосодержание образцов на строительном гипсе уменьшилось на 0,056 %, а фосфогипсовых материалов – на 1,26 % [54].

Установлено, что в условиях воздействия мицелиальных грибов деградация гипсоцементно-пуццолановых композитов имеет гетерогенный характер. После испытания по методу 3 в условиях воздействия микромицетов продолжительностью 28 сут. у состава, состоящего из 100 мас. ч. портландцемента, 200 мас. ч. строительного гипса, 100 мас. ч. диатомита и 200 мас. ч. воды, масса уменьшилась на 1,26 %. Очевидно, что биологическое сопротивление композитов на гипсоцементно-пуццолановых связующих определяется количественным содержанием гипсовой и цементной составляющих, а также природой и количеством гидравлической добавки [3]. Полученные данные доказывают, что степень поражения композиций грибами в зависимости от содержания компонентов различна. Вид и содержание гидравлической добавки в значительной мере влияют на биологическое сопротивление композитов.

Из изложенного следует, что биодegradация неорганических строительных материалов, к которым относятся бетон, преимущественно обусловлено нарушением сцепления образующих материалов компонентов в результате воздействия неорганических или органических кислот микробного происхождения, а также ферментов и вследствие химических реакций между цементным камнем композитов и продуктами жизнедеятельности микроскопических организмов.

Биодegradация древесины происходит в основном за счет использования грибами в качестве источников питания целлюлозы, лигнина и других компонентов. Как правило, она сочетается со старением ее под действием природных факторов, механических или эксплуатационных нагрузок [55; 56]. Различные породы древесины имеют разную биостойкость. Среди них выделяют следующие группы [57; 58]: биостойкие (сосна, ясень, ядро

лиственницы и дуба); среднестойкие (ель, кедр, пихта, заболонь лиственницы, ядро березы); малостойкие (вяз, клен, заболонь березы и дуба); нестойкие (осина, липа, ольха).

Плесневые грибы поселяются преимущественно на сырой, цельной древесине и пиломатериалах, различных загрязнениях древесины, развиваются быстро на поверхности деревянных конструкций в условиях высокой влажности и слабого движения воздуха. При длительном (2 года и более) развитии плесневых грибов на древесине их гифы проникают глубоко внутрь и частично разрушают клеточные оболочки, в частности вторичного слоя, а некоторые – и срединной пластинки. У такой древесины сопротивление ударным нагрузкам может снижаться примерно на 10 %. Грибы родов *Penicillium*, *Cladosporium*, *Trichoderma* способствуют зеленоватому окрашиванию различных оттенков, другие (*Aspergillus niger*, *Mucor*) обуславливают появление черных пятен [21; 55; 58]. Деревоокрашивающие грибы развиваются на пиловочных материалах при замедленной сушке, проникая в заболонь древесины и вызывая ее глубокое окрашивание в разные цвета [58]. Это в основном грибы родов *Ceratocystis*, *Alternaria*, *Chaetomium*, *Sporodesmium*, *Discula*, *Fusarium* и др. Наряду с одной из распространенной синей окраски, встречаются также желтая, оранжевая, коричневая и др.

В литературе содержатся сведения о биостойкости битумных материалов [59]. В ходе испытаний установлено, что все составы битумных композиций при различных соотношениях используемых материалов показали негрибостойкость и нефунгицидность, хотя некоторые добавки грибостойки и фунгицидны по своей природе. Кроме того, установлено, что изменение технологии приготовления композитов также не повлияло на биостойкость материалов.

Искусственные полимеры и композиты на их основе значительно превосходят по показателю биосопротивления природные полимеры (целлюлозу, коллаген и прочие) и такие материалы, как древесина, бумага, хлопчатобумажные ткани и др. Однако искусственные полимерные материалы в отдельных условиях эксплуатации повреждаются биологическими агентами, основными среди которых являются мицелиальные грибы. Больше всего на них заселяются *Aspergillus flavus*, *A. versicolor*, *A. niger*, *Penicillium funiculosum*, *P. brevicompactum*, *P. lanosum*, *P. commune*, *P. cyclopium*, *Paecilomyces varioti*, *Trichoderma lignorum*, *Alternaria alternata*, *Chaetomium globosum*, *Fusarium oxysporum* [2; 60–65]. Биодegradация пластических масс, как и многих других материалов, обуславливается одновременно с их старением под влиянием внешних физических и химических факторов (ультрафиолетового излучения, воды, перепадов температуры и т. д.). Оба процесса усугубляют друг друга [66]. Degradация полимерных материалов микроорганизмами увеличивается из-за плохих санитарных условий в производственных помещениях, несовершенства технологического цикла переработки, изделий и узлов конкретной конструкции и усиливается в неблагоприятных условиях их эксплуатации и хранения.

Уровень микробиологической стойкости полимерных материалов в условиях воздействия микроорганизмов определяется многими факторами. Имеют значение химическая природа макромолекул полимера, его надмолекулярная структура и строение, физическая структура материала. Существует определенная зависимость между степенью биоповреждения и химической структурой материала [11; 61; 67]. Считают труднодоступными и недоступными для плесневых грибов типы связей C_4 , $R-CH_3$, $R-CH_2-R'$. Ненасыщенные же валентности типа $R=CH_2$, $R-CH=R'$, карбонильные и карбоксильные радикалы – доступные формы углерода для микроорганизмов.

Устойчивость полимеров зависит и от их относительной молекулярной массы: чем она меньше, тем больше низкомолекулярных фракций входит в состав смол и тем менее они устойчивы к действию микроорганизмов [68; 69]. На биостойкость полимерных материалов существенно влияют добавки, обычно всегда присутствующие в подобных композициях

(наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, антиокислители, модификаторы, пигменты и др.) [17]. Связующим компонентом в них применяют различные синтетические смолы – высокомолекулярные вещества.

Большое значение в повышении долговечности и увеличении срока эксплуатации отдельных строительных конструкций (металлических изделий, коммуникаций, подземных трубопроводов, изделий из древесины, модифицированной полимерами, и некоторых других) имеет защита их лакокрасочными покрытиями (ЛКП) [17], функция которых сводится к защите конструкций не только от климатических воздействий и других агрессивных факторов, но и от микробиологической коррозии, в частности от деградации мицелиальными грибами и их метаболитами. Однако лакокрасочные материалы (ЛКМ) и ЛКП, используемые в условиях, благоприятных для размножения плесневых грибов и бактерий, могут и сами подвергаться микробиологическим повреждениям [17; 55; 70]. Характерные их признаки [21; 60; 70; 71]: серо-зеленые, бурые, темные и другие пятна, налеты плесени и бактериальной слизи на окрашенных поверхностях; растрескивание, шелушение и отслаивание покрытий; образование бугров, отверстий и др.

Основные агенты микробиологических повреждений ЛКП – мицелиальные грибы. Поражения бактериями имеют место реже и проявляются в виде бесцветного или окрашенного слизистого налета. Среди микроорганизмов, повреждающих ЛКП, часто встречаются грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, а также бактерии родов *Pseudomonas*, *Flavobacterium*.

Видовой состав микромицетов специфичен для различных почв и климатических зон. Он формируется из видов, составляющих сообщество, характерное для почв той или иной зоны. На ЛКП грибы развиваются либо за счет использования ими компонентов, входящих в состав покрытия, либо за счет веществ, загрязняющих поверхность [2; 41; 55; 70; 72]. ЛКП разрушаются в результате механического воздействия мицелия плесневых грибов и под влиянием метаболитов (органических кислот, ферментов и др.), выделяемых микромицетами при их жизнедеятельности.

Для изготовления химически стойких покрытий в строительстве наибольшее применение находят эпоксидные связующие, модифицированные каучуком (компаунд К-115), а также разбавленные окисленным скипидаром и изомеризованной смолой (компаунд ЭКР-22) [73]. Сравнение биостойкости композитов на данных связующих с КСМ на немодифицированном связующем свидетельствует, что эти материалы имеют одинаковые баллы активности – 0 и 3 соответственно по методам 1 и 3. Сравнение изменения массосодержания и коэффициента стойкости образцов позволяет сделать вывод, что показатели композитов на смоле ЭД-20 лучше, нежели на его компаундах. Фрагменты каучука, а также изомеризованной смолы и окисленного скипидара в полимерной сетке связующего увеличивают массопоглощение составов и, как следствие, ведут к снижению коэффициента стойкости. При этом большей биодеградации подвержены составы на компаунде ЭКР-22 [73]. Испытаниями установлено повышение активности грибов по отношению к эпоксидным материалам на 1 балл при замене сухого кварцевого песка влажным. Коэффициент стойкости составов на влажном наполнителе после трех месяцев выдерживания в среде снизился по сравнению с композитом на сухом наполнителе более чем на 5 % [73]. Более стойкими композитами являются материалы, наполненные базальтовой мукой, которая по сравнению с другими наполнителями имеет меньшую обрастаемость и улучшенную адгезионную связь с эпоксидными смолами [73].

Выводы

1. В статье проанализированы исследования в области микробиологической коррозии строительных материалов отечественными и зарубежными специалистами. Показано, что микроорганизмы вызывают коррозию бетонов на цементных и иных связующих, металлических и других материалов.
2. Металлы в порядке снижения скорости биокоррозии располагаются в следующий ряд: алюминий, малоуглеродистая сталь, цинк, латунь, медь, нержавеющая сталь.
3. Биоповреждения неорганических строительных материалов, к которым относится бетон, в основном сводятся к нарушению сцепления составляющих компонентов в результате воздействия неорганических или органических кислот микробного происхождения, а также ферментов и вследствие химических реакций между цементным камнем композитов и продуктами метаболизма микроорганизмов.
4. Сравнение бетонов на гипсовом и фосфогипсовом связующих показало, что образцы на фосфогипсовом вяжущем обрастают микроорганизмами несколько больше.
5. Составы битумных композитов при различных соотношениях используемых материалов без включения в состав фунгицидов показали негрибостойкость и нефунгицидность.
6. Значительным биоповреждениям при повышенной влажности подвержены древесные материалы. Биодegradация древесины происходит в основном за счет использования грибами в качестве источников питания целлюлозы, лигнина и других компонентов.
7. Искусственные полимеры и материалы на их основе во многом превосходят по биостойкости природные полимеры. Однако в определенных условиях эксплуатации они также повреждаются биологическими агентами. На биостойкость полимерных материалов существенно влияют добавки, обычно всегда присутствующие в полимерных композициях (наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, антиокислители, модификаторы, пигменты и др.).
8. Одним из эффективных способов повышения биостойкости строительных материалов является введение в их состав фунгицидных добавок.
9. Показано также, что большое значение в повышении долговечности и увеличении срока эксплуатации некоторых строительных конструкций (металлических изделий, коммуникаций, подземных трубопроводов и некоторых других) имеет их защита лакокрасочными покрытиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горленко М.В. Некоторые биологические аспекты биодеструкции материалов и изделий // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 9–17.
2. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И. Андреюк, В.И. Билай, Э.З. Коваль, И.А. Козлова. – Киев: Наук. думка, 1980. – 288 с.

3. Биологическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов [и др.]. – Саранск, 2001. – 196 с.
4. Коваль Э.З. Микодеструкторы промышленных материалов / Э.З. Коваль, Л.П. Сидоренко. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
5. Coretzkj L. Mikrobiologische Einfluss auf nichtmetallischenorganische Baustoffe // Bauzeltung. – 1988. – Vol. 42, № 3. – S. 109–112.
6. Pirt S.I. Microbial degradation of sunthetic polumers // Chem. Technol. and Biotechnol. – 1980. – Vol. 30, № 4. – P. 176–179.
7. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, В.Т. Ерофеев // Academia. Архитектура и стр-во. 2015. – № 1. – С. 93–102.
8. Силикатные и полимерсиликатные композиты каркасной структуры роликового формования / В.Т. Ерофеев, Е.В. Завалишин, А.Д. Богатов [др.]. – М.: Изд-во АСВ – Ассоциации строительных вузов, 2009. – 180 с.
9. Биохимические аспекты проблемы защиты промышленных материалов от биоповреждений микроорганизмами (обзор) / А.А. Анисимов, А.С. Семичева, И.Ф. Александрова [и др.] // Актуальные проблемы биоповреждений. – М., 1983. – С. 77–101.
10. Первушин Ю.В. Моделирование кинетики обрастания микроорганизмами полимерных материалов. Ю.В. Первушин, О.Г. Бобров // Пласт. массы. – 1990. – № 8. – С. 69–71.
11. Основы математического моделирования биокоррозии полимербетонов / В.Т. Ерофеев, А.П. Федорцов, А.Д. Богатов, В.А. Федорцов // Фундам. исслед. – 2014. – № 12–4. – С. 701–707.
12. The energy integrity resistance to the destruction of the long-term strength concrete / A. Krishan, V. Rimshin, V. Erofeev [et al.] // Procedia Engineering. – 2015. – Vol 117. – P. 211–217.
13. Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders / V. Erofeev, D. Emelyanov, I. Tretiakov [et al.] // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 871. – P. 33–39.
14. Biological resistance of cement composites filled with limestone powders / V. Erofeev, D. Emelyanov, I. Tretiakov [et al.] // Materials Science Forum. – 2016. – Vol 871. P. 22–27.
15. Микробиологическое разрушение материалов: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство» / В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов, Е.А. Морозов [и др.]. – М.: Изд-во АСВ – Ассоциации строительных вузов, 2008. – 128 с.
16. Гарг Г.Н. Микробиологическая коррозия металлов, вызываемая сульфатвосстанавливающими бактериями / Г.Н. Гарг, Б. Саньял, Г.Н. Пандей // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 222–230.
17. Пащенко А.А. Кремнийорганические покрытия для защиты от биокоррозии / А.А. Пащенко, В.А. Свидерский. – Киев: Техника, 1988. – 136 с.
18. Чуйко А.В. Органогенная коррозия / А.В. Чуйко. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1978. – 232 с.

19. Jamaguchi S. Zum bakteriologischen corrossions-produkt vom Betoneisen in Untermeertunnel / S. Jamaguchi, V. Aayama // Werkst. und Korros. – 1973. – № 24. – S. 209–210.
20. Воздействие тропических бактерий на коррозию стали и железа / А.А. Герасименко, Г.В. Матюша, Т.А. Андрющенко, Н.Б. Лукина // Биологические проблемы экологического материаловедения: материалы конф. – Пенза, 1995. – С. 14–16.
21. Биоповреждения в строительстве / Ф.М. Иванов, С.Н. Горшин, Дж. Уайт [и др.]; под ред. Ф.М. Иванова, С.Н. Горшина. – М.: Стройиздат, 1984. – 320 с.
22. Андreyuk Е.И. Микробиологическая коррозия строительных сталей и бетонов / Е.И. Андreyuk, И.А. Козлова, А.М. Рожанская // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 209–218.
23. Рубенчик Л.И. Микроорганизмы как фактор коррозии бетонов и металлов // Докл. АН УССР. – Киев, 1950. – С. 64–65.
24. Sand W. Biodeterioration of concrete by thiobacilli and nitroifying bacteria / W. Sand, E. Bock // Mater. et Techn. – 1990. – Vol. 78. – P. 70–72.
25. Рожанская А.М. Бициды в борьбе с коррозией бетона / А.М. Рожанская, Е.И. Андreyuk // Биоповреждения и защита материалов бицидами. – М., 1988. – С. 82–91.
26. Иванов Ф.М. Опыт исследования и применения биоцидных (фунгицидных) строительных растворов / Ф.М. Иванов, Е.Л. Рогинская // Актуальные проблемы биологических повреждений и защиты материалов, изделий и сооружений. – М., 1989. – С. 175–179.
27. Хуторской С.В. Повышение биологического сопротивления композитов на основе извести с помощью фунгицидных добавок / С.В. Хуторской, В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов // Изв. Казан. гос. архитектурно-строит. ун-та. – 2013. – № 2 (24). – С. 281–286.
28. Чуйко А.В. Повышение биостойкости фуранового полимербетона // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 203–209.
29. Защита зданий и сооружений от микробиологических повреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина / В.Т. Ерофеев, П.Г. Комохов, В.Ф. Смирнов [и др.]. – СПб.: Изд-во Наука, 2009. – 192 с.
30. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов / В.Т. Ерофеев, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова [и др.]. // Инженерно-строит. журн. – 2012. – № 7 (33). – С. 23–31.
31. Богатова С.Н. Долговечность ячеистого бетона на основе боя стекла / С.Н. Богатова, А.Д. Богатов, В.Т. Ерофеев // Пром. и гражд. стр-во. – 2011. – № 4. – С. 52–54.
32. Комохов П.Г. Биоразрушение конструкционных материалов и научные основы их защиты / П.Г. Комохов, А.П. Комохов // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2004. – С. 12–15.
33. Комохов П.Г. Экстремальное развитие внутренней органической биокоррозии бетона инженерных сооружений глубокого заложения и ее опасность //

- Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2006. – С. 110–116.
34. Злочевская И.В. Биоповреждения каменных строительных материалов микроорганизмами и низшими растениями в атмосферных условиях // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 257–271.
 35. Popescu A. Biodeterioration aspects at a brick structure and bioprotection possibilities / A. Popescu, S. Ionescu-Homoriceanu // Ind. Ceram. – 1991. – Vol. 11, № 3. – P. 128–130.
 36. Бех-Андерсен Дж. Гриб А в опорных сооружениях / Дж. Бех-Андерсен, Л. Хармесен // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 56–59.
 37. Васильева Н.И. Исследование влияния некоторых органических добавок на прочность цементного камня / Н.И. Васильева, В.С. Подчуфаров, С.Д. Наумова // Микробиол. журн. – 1990. – № 231. – С. 66–69.
 38. Бобрышев А.Н. Полимерные композиционные материалы / А.Н. Бобрышев, В.Т. Ерофеев, В.Н. Коломазов. – М: Изд-во АСВ – Ассоциации строительных вузов, 2013. – 480 с.
 39. Проблема биоповреждений строительных конструкций и материалов гражданских каменных зданий в г. Иркутске / Б.Я. Огарков, Г.Р. Огаркова, Л.Б. Полонская, Л.В. Антонова // Экологические проблемы биодegradации промышленных, строительных материалов и отходов производств: сб. материалов Всерос. конф. – Пенза. 1998. – С. 12–16.
 40. Ребрикова Н.Л. Микроорганизмы, повреждающие настенную живопись и строительные материалы / Н.Л. Ребрикова, Н.А. Карпович // Микология и фитопатология. – 1988. – Т. 22, № 6. – С. 531–537.
 41. Исследование микодеструкции лакокрасочных материалов, применяемых на предприятиях продовольственного комплекса / Н.А. Тарасова, Е.А. Захарова, Р.Н. Толмачева [и др.] // Биоповреждения в промышленности: тез. докл. конф. в 2 ч. – Пенза, 1994. – ч. 1. – С. 30–31.
 42. Ребрикова Н.Л. Микромицеты, повреждающие строительные материалы в исторических зданиях, и методы контроля / Н.Л. Ребрикова, О.Н. Назарова, М.Б. Дмитриева // Биологические проблемы экологического материаловедения: материалы конф. – Пенза, 1995. – С. 59–63.
 43. Экологический мониторинг микобиоты некоторых станций Ташкентского метрополитена / Н.Н. Жданова, Л.М. Кириллова, Л.Г. Борисюк [и др.] // Микология и фитопатология. – 1994. – Т. 28, вып. 3. – С. 7–14.
 44. Neshkova R.K. Agar media modelling as a method for studying actively growing microsporic fungi on porous stone substrate // Rep. to Bulgarian acad. of the sci. – 1991. – Vol. 44, № 7. – С. 65–68.
 45. Palmer R. Biomass and organic acids in sandstone of a weathering building: production by bacterial and fungal isolates / R. Palmer, J. Siebert, P. Hirsch // Microbiol. Ecol. – 1991. – Vol. 21, № 3. – P. 253–266.
 46. Микодеструкторы строительных конструкций внутренних помещений предприятий пищевой промышленности / Э.З. Коваль, В.А. Серебреник, Е.Л. Рогинская, Ф.М. Иванов // Микробиол. журн. – 1991. – Т. 53. № 4. – С. 96–103.

47. Туркова З.А. Микрофлора материалов на минеральной основе и вероятные механизмы их разрушения // Микология и фитопатология. – 1974. Т. 8, вып. 3. – С. 219–226.
48. Исследование биосопrotивления строительных композитов / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, М.С. Фельдман [и др.] // Биоповреждения в промышленности: тез. докл. конф: в 2 ч. – Пенза, 1994. – ч. 1. – С. 19–20.
49. Экхардт Ф.Е. Разрушение силикатов микроорганизмами – высвобождение катионов из алюмосиликатных минералов дрожжевыми организмами и нитчатými грибами // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 246–257.
50. Perfettini I.V. Evaluation of the cement degradation induced by the metabolic products of two fungal strains / V.V. Perfettini, E. Revertegat, N. Hangomazino // Mater. et Techn. – 1990. № 78. – P. 59–64.
51. Биологическое разрушение некоторых материалов грибами / В.Ф. Идессис, С.С. Рамазанова, Д.А. Шток [и др.] // Альгофлора и микрофлора Средней Азии. – Ташкент, 1976. – С. 295–297.
52. Баргов Е.Г. Исследование биологического сопротивления пенобетонов / Е.Г. Баргов, В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2004. – С. 116–122.
53. Богатов А.Д. Биостойкие строительные композиты на основе отходов стекла / А.Д. Богатов, В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2004. – С. 124–130.
54. Биологическое сопротивление гипсовых композитов / В.Т. Ерофеев, А.Д. Богатов, Е.А. Морозов, М.С. Фельдман // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2004. – С. 131–134.
55. Ильичев В.Д. Экологические основы защиты от биоповреждений / В.Д. Ильичев, Б.В. Бочаров, М.В. Горленко – М: Наука, 1985. – 262 с.
56. Уэйт Д. Количественная оценка повреждения древесины микроорганизмами / Д. Уэйт, Б. Кинг // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 59–70.
57. Горшин С.Н. Грибные поражения древесины и способы борьбы с ними // Микроорганизмы и низшие растения – разрушители материалов и изделий. – М., 1979. – С. 154–163.
58. Горшин С.Н. Экологические аспекты биоразрушений и конструкционные меры защиты деревянных строений // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 84–102.
59. Ликомаскин А.И. Биостойкость асфальтовых композитов для зданий и сооружений / А.И. Ликомаскин, С.П. Пронькин, В.Т. Ерофеев // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2004. – С. 209–214.
60. Биоповреждения: учеб. пособие для биолог. специальностей вузов / под ред. В.Д. Ильичева. – М.: высш. шк., 1987. – 352 с.

61. Каневская И.Г. Биологическое повреждение промышленных материалов / И.Г. Каневская. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1984. – 230 с.
62. Бицидные растворы и бетоны / Ф.М. Иванов, Е.Л. Рогинская, В.А. Серебряник, В.В. Гончаров // Бетон и железобетон. – 1989. – № 4. – С. 8–10.
63. Розенталь Н.К. Биокоррозия канализационных коллекторов и их защита // Биоповреждения в промышленности: тез. докл. конф.: в 2 ч. – Пенза, 1994. – ч. 2. – С. 54–55.
64. Ильичев В.Д. На стыке экологии и техники // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 4–9.
65. Haraguchi T. Degradation of lignin-related polystyrene derivatives by soil microflora and micromonospora sp. / T. Haraguchi, E. Hayashi, V. Takahachi [et al.]. // Proc. 4th Intern. Biodeterior. Symp. – L., 1980. – P. 123–126.
66. Влияние старения на грибостойкость пластмасс / Н.Ф. Абрамова, Г.А. Шкулова, Л.С. Астахова, М.П. Шашалович // Биоповреждения: тез. докл. II Всесоюз. конф. по биоповреждениям: в 2 ч. – Горький, 1981. – ч. 1 – С. 35–37.
67. Фельдман М.С. Использование фотодинамического эффекта для подавления роста и развития технофильных микромицетов / М.С. Фельдман, И.В. Стручкова, М.А. Шляпникова // Биоповреждения в промышленности: тез. докл. конф. в 2 ч. – Пенза, 1993. – ч. 1 – С. 83–84.
68. Бобкова Т.С. Международный симпозиум по биологическому повреждению материалов / Т.С. Бобкова, Е.М. Лебедев, М.Н. Шменова // Микология и фитопатология. – 1973. – № 7. – С. 71–73.
69. Albertsson A.C. Microbial and oxidative effect in degradation of polyethenc / A.C. Albertsson, Z.G. Banhidi // J. Appl. Polym. Sci. – 1980. – Vol. 25, № 8. – P. 1655–1671.
70. Кулик Е.С. Биостойкость лакокрасочных покрытий // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 276–290.
71. Сидоренко А.И. Повреждение грибами лакокрасочных покрытий на металлах / А.И. Сидоренко, Э.З. Коваль, Л.П. Сидоренко // Микробиол. журн. – 1987. – Т. 49, № 5. – С. 81–84.
72. Роль изучения экологии грибов в определении грибостойкости лакокрасочных покрытий / Е.С. Кулик, М.П. Корякина, Л.М. Виноградова [и др.] // Микроорганизмы и низшие растения – разрушители материалов и изделий. – М., 1979. – С. 90–96.
73. Каркасные строительные композиты: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.Т. Ерофеев – М. – 1993. – 51 с.

Svetlov Dmitry Anatolyevich

Soft Protector LLC, Moscow, Russia
E-mail: teflex@list.ru

Kachalov Alexander Nikolaevich

Ogarev Mordovia state university, Saransk, Russia
E-mail: ka4alow@gmail.com

Microbiological corrosion of building materials

Abstract. The research results in the field of microbiological corrosion of building materials of domestic and foreign experts are presented. It is shown that microorganisms cause corrosion of concrete on cement and other binding metal and other materials. Metals in the order of decreasing the rate of biocorrosion are arranged in the following row: aluminum, mild steel, zinc, brass, copper, stainless steel.

Concrete, due to its high surface activity, is capable of adsorbing a wide variety of substances, including microorganisms: bacteria and mycelial fungi. Among bacteria, nitrifying agents, thionic, iron and silicate bacteria and others participate in the corrosion of cement concrete (mainly due to their acid secretions). According to the data of a number of authors, on the surface of stone building materials mycelial fungi of the genera *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Cephalosporium* prevail.

Biodeterioration in this case mainly comes down to the disruption of cohesion of constituent components as a result of exposure to mineral or organic acids, as well as enzymes and due to chemical reactions between the cement stone of solutions and concretes and the waste products of microorganisms.

The compositions of bituminous composites at various ratios of the materials used without inclusion in the composition of fungicides showed non-fungal resistance and non-fungicide.

Comparison of concrete on gypsum and phosphogypsum binders showed that samples on a phosphogypsum binder overgrow microorganisms somewhat more, wood materials are subject to significant biodeterioration at high humidity.

Biodegradation of wood occurs mainly due to the use of mushrooms as food sources of cellulose, lignin and other components.

Synthetic polymers and materials based on them are significantly superior to natural polymers in biostability. However, under certain operating conditions, they are damaged by biological agents. Biological damage to plastics, as well as other materials, occurs simultaneously with their aging under the influence of external physical and chemical factors (ultraviolet radiation, water, temperature changes, etc.). Additives that are usually always present in polymer compositions (fillers, plasticizers, stabilizers, antioxidants, modifiers, pigments, etc.) significantly affect the biostability of polymeric materials.

One of the effective ways to increase the biostability of composite building materials is the introduction of fungicidal additives in their composition. It is also shown that of great importance in increasing the durability and increasing the life of some building structures (metal products, communications, underground pipelines and some others) is their protection by paint and varnish coatings.

Keywords: building materials; metals; concrete; plastics; biofouling; microbiological corrosion; bacteria; mycelial fungi

REFERENCES

1. Gorlenko M.V. (1984). Nekotorye biologicheskie aspekty biodestruktsii materialov i izdeliy // Biopovrezhdeniya v stroitel'stve. [*Some biological aspects of biodegradation of materials and products // Biodeterioration in construction.*] Moscow, pp. 9–17.
2. Andreyuk E.I., Bilay V.I., Koval' Eh.Z., Kozlova I.A. (1980). Mikrobnaya korroziya i ee vozbuditeli. [*Microbial corrosion and its causative agents.*] Kiev: Scientific Opinion, p. 288.
3. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Smirnov V.F. and etc. (2001). Biologicheskoe soprotivlenie materialov. [*Biological resistance of materials.*] Saransk, p. 196.
4. Koval' Eh.Z., Sidorenko L.P. (1989). Mikodestruktory promyshlennykh materialov. [*Microdestructors of industrial materials.*] Kiev: Scientific Opinion, p. 192.
5. Coretzkj L. (1988). Microbiological influence on non-metallic inorganic building materials. *Bauzeltung*, 3(42), pp. 109–112.
6. Pirt S.I. (1980). Microbial degradation of sunthetic polumers. *Chem. Technol. and Biotechnol.*, 30(4), pp. 176–179.
7. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. (2015). About modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures. *Academia. Architecture and Construction*, 1, pp. 93–102 (in Russian).
8. Erofeev V.T., Zavalishin E.V., Bogatov A.D. (2009). Silikatnye i polimersilikatnye kompozity karkasnoy struktury rolikovogo formovaniya. [*Silicate and polymer-silicate composites of the frame structure of a roller molding.*] Moscow: Publishing House of the Association of Building Universities, p. 180.
9. Anisimov A.A., Semicheva A.S., Aleksandrova I.F. and etc. (1983). Biokhimicheskie aspekty problemy zashchity promyshlennykh materialov ot biopovrezhdeniy mikroorganizmami (obzor). [*Biochemical aspects of the problem of protecting industrial materials from biodeterioration by microorganisms (review).*] Moscow, pp. 77–101.
10. Pervushin Yu.V., Bobrov O.G. (1990). Modeling the kinetics of fouling by microorganisms of polymer materials. *Plastics*, 8, pp. 69–71 (in Russian).
11. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. (2014). Fundamentals of mathematical modeling of biocorrosion of polymer concrete. *Fundamental Research*, 12–4, pp. 701–707 (in Russian).
12. Krishan A., Rimshin V., Erofeev V. and etc. (2015). The energy integrity resistance to the destruction of the long-term strength concrete. *Procedia Engineering*, 117, pp. 211–217.
13. Erofeev V., Emelyanov D., Tretiakov I. and etc. (2016). Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders. *Materials Science Forum*, 871, pp. 33–39.
14. Erofeev V., Emelyanov D., Tretiakov I. and etc. (2016). Biological resistance of cement composites filled with limestone powders. *Materials Science Forum*, 871, pp. 22–27.
15. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Morozov E.A. and etc. (2008). Mikrobiologicheskoe razrushenie materialov. [*Microbiological destruction of materials.*] Moscow: Publishing House of the Association of Building Universities, p. 128.

16. Garg G.N., San'yal B., Pandey G.N. (1984). Mikrobiologicheskaya korroziya metallov, vyzyvaemaya sul'fatvosstanavlivayushchimi bakteriyami. [*Microbiological corrosion of metals caused by sulfate reducing bacteria.*] Moscow, pp. 222–230.
17. Pashchenko A.A., Sviderskiy V.A. (1988). Kremniyorganicheskie pokrytiya dlya zashchity ot biokorrozii. [*Organosilicon coatings for protection against biocorrosion.*] Kiev: Technics, p. 136.
18. Chuyko A.V. (1978). Organogennaya korroziya. [*Organogenic corrosion.*] Saratov: Saratov University Press, p. 232.
19. Jamaguchi S., Aayama V. (1973). To the bacteriological corrosion product from the concrete iron in the underwater tunnel. *Workshops. and corros*, 24, pp. 209–210.
20. Gerasimenko A.A., Matyusha G.V., Andryushchenko T.A., Lukina N.B. (1995). Vozdeystvie tropicheskikh bakteriy na korroziyu stali i zheleza. [*The effects of tropical bacteria on steel and iron corrosion.*] Penza, pp. 14–16.
21. Ivanov F.M., Gorshin S.N., Uayt Dzh. and etc. (1984). Biopovrezhdeniya v stroitel'stve. Ed. by F.M. Ivanov, S.N. Gorshin. [*Biodegradation in construction.*] Moscow: Stroyizdat, p. 320.
22. Andreyuk E.I., Kozlova I.A., Rozhanskaya A.M. (1984). Mikrobiologicheskaya korroziya stroitel'nykh staley i betonov. [*Microbiological corrosion of building steels and concrete.*] Moscow: Stroyizdat, pp. 209–218.
23. Rubenchik L.I. (1950). Mikroorganizmy kak faktor korrozii betonov i metallov. [*Microorganisms as a factor of corrosion of concrete and metals.*] Kiev: National Academy of Ukraine Ukrainian Soviet Socialist Republic, pp. 64–65.
24. Sand W., Bock E. (1990). Biodeterioration of concrete by thiobacilli and nitroifying bacteria. *Mater. et Techn.*, (78), pp. 70–72.
25. Rozhanskaya A.M., Andreyuk E.I. (1988). Biotsidy v bor'be s korroziyey betona. [*Concrete Corrosion Biocides.*] Moscow, pp. 82–91.
26. Ivanov F.M., Roginskaya E.L. (1989). Opyt issledovaniya i primeneniya biotsidnykh (fungitsidnykh) stroitel'nykh rastvorov. [*Experience in research and application of biocidal (fungicidal) mortars.*] Moscow, pp. 175–179.
27. Khutorskoy S.V., Erofeev V.T., Smirnov V.F. (2013). Increasing the biological resistance of lime-based composites with fungicidal additives. *Izvestia Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*, 2(24), pp. 281–286 (in Russian).
28. Chuyko A.V. (1984). Povyshenie biostoykosti furanovogo polimerbetona. [*Improving the biostability of furan polymer concrete.*] Moscow, pp. 203–209.
29. Erofeev V.T., Komokhov P.G., Smirnov V.F. and etc. (2009). Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot mikrobiologicheskikh povrezhdeniy biotsidnymi preparatami na osnove guanidina. [*Protection of buildings and structures from microbiological damage with biocidal preparations based on guanidine.*] Saint Petersburg: Publishing House Science, p. 192.
30. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N. and etc. (2012). The influence of the operational environment on the biostability of building composites. *Engineering-building journal*, 7(33), pp. 23–31 (in Russian).
31. Bogatova S.N., Bogatov A.D., Erofeev V.T. (2011). Durability of aerated concrete based on glass break. *Industrial and Civil Engineering*, 4, pp. 52–54.

32. Komokhov P.G., Komokhov A.P. (2004). Biorazrushenie konstruktsionnykh materialov i nauchnye osnovy ikh zashchity. [*Biodegradation of structural materials and the scientific basis for their protection.*] Saransk, pp. 12–15.
33. Komokhov P.G. (2006). Ekhstremal'noe razvitie vnutrenney organicheskoy biokorrozii betona inzhenernykh sooruzheniy glubokogo zalozheniya i ee opasnost'. [*Extreme development of internal organic bio-corrosion of concrete of deep engineering structures and its danger.*] Saransk, pp. 110–116.
34. Zlochevskaya I.V. (1984). Biopovrezhdeniya kamennykh stroitel'nykh materialov mikroorganizmami i nizshimi rasteniyami v atmosferynykh usloviyakh. [*Biological damage to stone building materials by microorganisms and lower plants in atmospheric conditions.*] Moscow, pp. 257–271.
35. Popescu A., Ionescu-Homoriceanu S. (1991). Biodeterioration aspects at a brick structure and bioprotection possibilities. *Ind. Ceram.*, 3(11), pp. 128–130.
36. Bekh-Andersen Dzh., Kharmesen L. (1984). Grib A v opornykh sooruzheniyakh. [*Mushroom A in the supporting structures.*] Moscow, pp. 56–59.
37. Vasil'eva N.I., Podchufarov V.S., Naumova S.D. (1990). Study of the influence of some organic additives on the strength of cement stone. *Microbiological journal*, 231, pp. 66–69 (in Russian).
38. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kolomazov V.N. (2013). Polimernye kompozitsionnye materialy. [*Polymer Composite Materials.*] Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, p. 480.
39. Ogarkov B.Ya., Ogarkova G.R., Polonskaya L.B., Antonova L.V. (1998). Problema biopovrezhdeniy stroitel'nykh konstruksiy i materialov grazhdanskikh kamennykh zdaniy v g. Irkutske. [*The problem of biodeterioration of building structures and materials of civil stone buildings in the city of Irkutsk.*] Penza, pp. 12–16.
40. Rebrikova N.L., Karpovich N.A. (1998). Microorganisms damaging wall painting and building materials. *Mycology and Phytopathology*, 6(22), pp. 531–537 (in Russian).
41. Tarasova N.A., Zakharova E.A., Tolmacheva R.N. and etc. (1994). Issledovanie mikodestruktsii lakokrasochnykh materialov, primenyaemykh na predpriyatiyakh prodovol'stvennogo kompleksa. [*The study of mycodestruction of paints and varnishes used at the enterprises of the food complex.*] Penza, pp. 30–31.
42. Rebrikova N.L., Nazarova O.N., Dmitrieva M.B. (1995). Mikromitsety, povrezhdayushchie stroitel'nye materialy v istoricheskikh zdaniyakh, i metody kontrolya. [*Micromycetes damaging building materials in historic buildings and control methods.*] Penza, pp. 59–63.
43. Zhdanova N.N., Kirillova L.M., Borisyuk L.G. and etc. (1994). Ecological monitoring of mycobiota of some stations of the Tashkent metro. *Mycology and phytopathology*, 3(28), pp. 7–14 (in Russian).
44. Neshkova R.K. (1991). Agar media modelling as a method for studying actively growing microsporidic fungi on porous stone substrate. *Rep. to Bulgarian acad. of the sci.*, 7(44), pp. 65–68.
45. Palmer R., Siebert J., Hirsch P. (1991). Biomass and organic acids in sandstone of a weathering building: production by bacterial and fungal isolates. *Microbiol. Ecol.*, 3(21), pp. 253–266.

46. Koval' E.h.Z., Serebrenik V.A., Roginskaya E.L., Ivanov F.M. (1991). Microdestructors of building structures of the interior of food industry enterprises. *Microbiological Journal*, 4(53), pp. 96–103 (in Russian).
47. Туркова З.А. (1974). The microflora of mineral-based materials and the likely mechanisms of their destruction. *Mycology and Phytopathology*, 3(8), pp. 219–226. (in Russian).
48. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Fel'dman M.S. and etc. (1994). Issledovanie biosoprotivleniya stroitel'nykh kompozitov. [*Study of the bio-resistance of building composites.*] Penza, pp. 19–20.
49. Ehhkhardt F.E. (1984). Razrushenie silikatov mikroorganizmami – vysvobozhdenie kationov iz alyumosilikatnykh mineralov drozhzhevymi organizmami i nitchatymi gribami. [*The destruction of silicates by microorganisms – the release of cations from aluminosilicate minerals by yeast organisms and filamentous fungi.*] Moscow, pp. 246–257.
50. Perfettini V.V., Revertegat E., Hangomazino N. (1990). Evaluation of the cement degradation induced by the metabolic products of two fungal strains. *Mater. et Techn.*, 78, pp. 59–64.
51. Idessis V.F., Ramazanova S.S., Shtok D.A. and etc. (1976). Biologicheskoe razrushenie nekotorykh materialov gribami. [*Biological destruction of some materials by fungi.*] Tashkent, pp. 295–297.
52. Bargov E.G., Erofeev V.T., Smirnov V.F. (2004). Issledovanie biologicheskogo soprotivleniya penobetonov. [*The study of the biological resistance of foam concrete.*] Saransk, pp. 116–122.
53. Bogatov A.D., Erofeev V.T., Smirnov V.F. (2004). Biostoykie stroitel'nye kompozity na osnove otkhodov stekla. [*Biostable Glass Waste Composites.*] Saransk, pp. 124–130.
54. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Morozov E.A., Fel'dman M.S. (2004). Biologicheskoe soprotivlenie gipsovykh kompozitov. [*Biological resistance of gypsum composites.*] Saransk, pp. 131–134.
55. Il'ichev V.D., Bocharov B.V., Gorlenko M.V. (1985). Ehhkologicheskie osnovy zashchity ot biopovrezhdeniy. [*Environmental fundamentals of protection against biodeterioration.*] Moscow: Science, p. 262.
56. Uehyt D., King B. (1984). Kolichestvennaya otsenka povrezhdeniya drevesiny mikroorganizmami. [*Quantification of wood damage by microorganisms.*] Moscow, pp. 59–70.
57. Gorshin S.N. (1979). Gribnye porazheniya drevesiny i sposoby bor'by s nimi. [*Mushroom lesions of wood and ways to combat them.*] Moscow, pp. 154–163.
58. Gorshin S.N. (1984). Ehhkologicheskie aspekty biorazrusheniy i konstruktsionnye mery zashchity derevyannykh stroeniy. [*Environmental aspects of biodegradation and structural measures for the protection of wooden structures.*] Moscow, pp. 84–102.
59. Likomaskin A.I., Pron'kin S.P., Erofeev V.T. (2004). Biostoykost' asfal'tovykh kompozitov dlya zdaniy i sooruzheniy. [*Biostability of asphalt composites for buildings and structures.*] Saransk, pp. 209–214.
60. (1987). Biopovrezhdeniya. Ed. by V.D. Il'ichev. [*Biodeterioration.*] Moscow: Higher School, p. 352.

61. Ivanov F.M., Roginskaya E.L., Serebryanik V.A., Goncharov V.V. (1989). Biologicheskoe povrezhdenie promyshlennykh materialov. [*Biological damage to industrial materials.*] Leningrad: Science. Leningrad separation, p. 230.
62. Ivanov F.M., Roginskaya E.L., Serebryanik V.A., Goncharov V.V. (1989). Biocidal mortars and concrete. *Concrete and reinforced concrete*, 4, pp. 8–10 (in Russian).
63. Rozental' N.K. (1994). Biokorroziya kanalizacionnykh kollektorov i ikh zashchita. [*Biocorrosion of sewer collectors and their protection.*] Penza, pp. 54–55.
64. Il'ichev V.D. (1984). Na styke ehkologii i tekhniki. [*At the junction of ecology and technology.*] Moscow, pp. 4–9.
65. Haraguchi T., Hayashi E., Takahachi V. and etc. (1980). *Degradation of lignin-related polystyrene derivatives by soil microflora and micromonospora sp.* L.: Proc. 4th Intern. Biodeterior. Symp., pp. 123–126.
66. Abramova N.F., Shkulova G.A., Astakhova L.S., Shashalovich M.P. (1981). Vliyanie stareniya na gribostoykost' plastmass. [*The effect of aging on the fungus resistance of plastics.*] Bitter, pp. 35–37.
67. Fel'dman M.S., Struchkova I.V., Shlyapnikova M.A. (1993). Ispol'zovanie fotodinamicheskogo ehffekta dlya podavleniya rosta i razvitiya tekhnofil'nykh mikromitsetov. [*Using the photodynamic effect to suppress the growth and development of technophilic micromycetes.*] Penza, pp. 83–84.
68. Bobkova T.S., Lebedev E.M., Shmenova M.N. (1973). International Symposium on Biological Damage to Materials. *Mycology and Phytopathology*, 7, pp. 71–73 (in Russian).
69. Albertsson A.C., Banhidi Z.G. (1980). Microbial and oxidative effect in degradation of polyethenc. *J. Appl. Polym. Sci.*, 8(25), pp. 1655–1671.
70. Kulik E.S. (1984). Biostoykost' lakokrasochnykh pokrytiy. [*Biostability of paint coatings.*] Moscow, pp. 276–290.
71. Sidorenko A.I., Koval' Eh.Z., Sidorenko L.P. (1987). Damage by fungi to paint coatings on metals. *Microbiological journal*, 5(49), pp. 81–84. (in Russian).
72. Kulik E.S., Koryakina M.P., Vinogradova L.M. and etc. (1979). Rol' izucheniya ehkologii gribov v opredelenii gribostoykosti lakokrasochnykh pokrytiy. [*The role of the study of the ecology of mushrooms in determining the fungus resistance of coatings.*] Moscow, pp. 90–96.
73. Erofeev V.T. (1993). Karkasnye stroitel'nye kompozity. [*Frame construction composites.*] Moscow, p. 51.