

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ С КАМЕННЫМИ СТРОИТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

**Н.Н. Уряшева**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Строительные материалы могут быть подвержены воздействию микроорганизмов почти во всех водных и влажных средах. В результате деятельности микроорганизмов происходит коррозия материала, а также ухудшается эстетический облик зданий и страдает качество воздуха внутри помещений. Проведен обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященной проблеме взаимодействия микроорганизмов с каменными строительными материалами. Выявлены основные направления проведения научных исследований в этой области.

*Ключевые слова:* строительные материалы, микроорганизмы, биоповреждение, качество воздуха, плесень, биовосприимчивость.

## Введение

Здания и сооружения подвергаются воздействию микроорганизмов в различных средах. Везде, где есть контакт с водой, которая является необходимым условием для развития жизни, строительные материалы могут подвергаться воздействию микроорганизмов. Взаимодействия между ними могут в некоторых случаях влиять на эксплуатационные характеристики, долговечность и безопасность строительных материалов и изделий, что, в свою очередь, касается экономического вопроса. В последнее время эти взаимодействия становятся объектом все больших исследований.

Под микроорганизмами, вовлеченными в эти взаимодействия, понимаются бактерии, дрожжи, микроскопические грибы и водоросли. В процессе эволюции микроорганизмы, древнейшие обитатели Земли, адаптировались к жизни на различных субстратах и постоянно изменяющимся условиям внешней среды. Они вездесущи и повсеместно распространены: в воздухе, воде и почве. Главная классификация микроорганизмов делит их на группы по типу питания, который определяет то, как микроорганизмы взаимодействуют со средой, в частности, с субстратом, а преобладание того или иного типа микроорганизма зависит от характеристик самой среды.

В таблице приведены основные факторы окружающей среды, которые необходимы для жизнедеятельности микроорганизмов, обуславливающих биоповреждение материалов [1].

Присутствие всех перечисленных условий является возможной причиной заселения строительных материалов, зданий и сооружений различными группами микроорганизмов.

Микроорганизмы структурируются в биопленку, являющуюся их основной формой жизни (множество различных микроорганизмов, расположенных на какой-либо поверхности, клетки которых прикреплены друг к другу с помощью полимерного вещества, которое они выделяют), что делает бактериальную популяцию более устойчивой к суровым условиям внешней среды, а также к изменению этих условий.

## 1. Биоповреждения

Биоповреждением называют нарушение минералогических, химических и микроструктурных характеристик строительных материалов, развивающееся в результате деятельности живых организмов. Биоповреждения строительных конструкций и сооружений до сих пор являются наименее изученным фактором, несмотря на то, что ведут как к снижению прочностных характеристик материалов и несущей способности строительных конструкций, ухудшению внешнего вида зданий, так и несут угрозу здоровью человека, особенно когда связаны с ухудшением качества воздуха.

Исследованиями установлено, что физические, химические и биологические факторы коррозии строительных растворов и бетонов находятся в тесной взаимосвязи. Существует мнение, что

**Основные необходимые факторы окружающей среды**

Факторы	Микроорганизмы		
	Фототрофы	Гетеротрофы	Литотрофы
Вода	+	+	+
Свет	+	–	–
Кислород	+	+	+
Органические вещества	–	+	–
Неорганические вещества	+	+/-	+

основные процессы разрушения происходят из-за действия кислот, выделяемых микроорганизмами, хотя эксперименты с реальной средой показали, что важно рассмотреть не только химическую сторону биокоррозии (действие продуктов жизнедеятельности микроорганизмов), но и деятельность соответствующих микроорганизмов, так как это необходимо для понимания и выражения всех взаимодействий между материалом и средой [2, 3]. Так, например, образование биопленки может усилить разрушение по сравнению с чистым химическим воздействием [4]. В литературе рассматриваются следующие среды:

- канализационные системы (воздействие синтезированной сероокисляющими бактериями серной кислоты) [5, 6];
- внешние бетонные стены во влажных условиях (разрастание водорослей и грибов на поверхности) [7, 8];
- сельскохозяйственные хранилища и системы стоков, которые были объектом изучения в исследованиях А. Vertron [2], предложившей тестовый метод, определяющий специфическую роль микроорганизмов в коррозии и имитирующий гидравлические, микробные и химические условия реальной среды.

Идея работы заключалась в сравнении степени биокоррозии в среде, содержащей бактерии и их продукты обмена (бактерии невозможно отделить от их метаболитов, так как процессы метаболизма происходят постоянно), и в среде, не содержащей бактерий, но похожей по химическому составу. Модельным штаммом стала кишечная палочка *Escherichia coli*, распространенная в органических стоках, загрязненных фекалиями.

Эксперимент показал, что внешний слой образца, подвергнутого бактериальному воздействию, был полностью декальцифицирован и аморфен, в то время как на образце, находящемся только в химической среде была обнаружена довольно интенсивная карбонизация и только частичная декальцификация. Это не только подчеркивает дополнительный эффект жизнедеятельности микроорганизмов в биопленке, приводящей к выделению огромного спектра веществ, в том числе разрушающих строительные материалы (по сравнению с одними кислыми компонентами), но также, что наиболее важно, влияние образования биопленки на поверхности образца в колбе с бактериями, что явно усилило коррозию.

Если принимать во внимание только химическую составляющую среды с бактериями, то есть недооценивать интенсивность и кинетику коррозии бетона, это приведет к ошибкам при определении долговечности конструкций, работающих в биологических средах.

Согласно А. Vertron [2], с точки зрения биологической коррозии дальнейшие исследования по

долговечности цементных материалов рекомендованы в следующих направлениях:

- Разработка тестовых методов (поскольку существует недостаток стандартных методов определения механизмов взаимодействия микроорганизмов с бетоном и оценки работы бетона в средах с микроорганизмами, они должны быть разработаны индивидуально для каждой отдельной рассматриваемой среды).

- Совершенствование состава бетона, работающего в биологически активных средах, с учетом специфики биокоррозии.

- Механизмы изменения цементной матрицы должны быть доизучены и в других различных ситуациях, где имеет место биокоррозия. Влияние свойств цементного теста (химических, минералогических, физических) на деятельность микроорганизмов и образование биопленки должно быть также изучено, поскольку, в некоторых случаях, это имеет значительное влияние на долговечность цементных материалов [5, 9].

- Необходим прогресс в понимании механизмов биокоррозии и влияния биопленки на интенсивность и кинетику изменений (разрушения).

Таким образом, взаимодействия микроорганизмов со строительными материалами могут повлиять на долговечность, безопасность и эстетичность зданий и сооружений. Биокоррозия не может восприниматься как чисто химическая реакция. Разработка тестовых методов определения биокоррозии и совершенствование состава бетона с учетом биологического воздействия – два аспекта, по которым необходимо провести совершенствование существующих стандартов. Необходим междисциплинарный подход для решения этой проблемы, вовлекающий микробиологов, инженеров, химиков, технологов и т. д.

## 2. Рост микроорганизмов на строительных материалах во внутренней среде помещения

Воздух является естественной средой распространения микроорганизмов. Споры микровицетов, например, могут отделяться с помощью пассивного рассеивания, под действием силы тяжести и конвекционных потоков воздуха, переноситься насекомыми. С помощью ветра почвенная пыль с различной по составу микробиотой может переноситься на большие расстояния и проникать в негерметизированные помещения или конструкции, контаминируя их.

Условия, способствующие развитию микробов-биодеструкторов, связаны, во-первых, с неправильной эксплуатацией зданий и сооружений (нарушение температурно-влажностного режима, гидроизоляции, кровельных покрытий, отсутствие своевременной просушки зданий при необходимости и т. д.), во-вторых, с ошибками в проектировании зданий и сооружений, в-третьих, с неправильной прокладкой к ним коммуникаций, в-четвер-

тых, с несоблюдением требуемого санитарного уровня содержания дворов и улиц. Все названные причины непосредственно или опосредованно создают условия для заселения зданий и сооружений контаминирующей микробиотой. Помимо влажности к факторам, определяющим биовосприимчивость материалов, относят химический состав и pH материалов. Большинство бактерий предпочитают нейтральную среду. Таким образом, строительные материалы с pH от 6 до 8, к которым относятся гипс, более чувствительны к микробной колонизации, чем цементные материалы, которые являются щелочными (pH около 12–13) и поэтому относительно не чувствительны к колонизации на ранних этапах. Тем не менее, с течением времени, процесс карбонизации сокращает pH этих материалов до 9, что способствует микробному росту. Плесневые грибы хорошо растут в слабокислой среде.

Грибы, развивающиеся в строительных материалах, а также в конструкциях производственных и жилых зданий, являются доминирующим фактором биоповреждений и обуславливают профессиональные и бытовые микозы, а также нозокомиальные инфекционные заболевания (в медицинских учреждениях) и микробоаллергозы [10]. Плесень делает свой вклад в «неблагополучность» помещения, вызывая заболевания у людей, долгое время находящихся в нем, относящиеся к «синдрому больных зданий». Обусловленный этим социальный и экономический эффект очень значителен [11]. Поверхности строительных материалов обычно высокопористые и грубые (гипсокартон, штукатурки и т. д.). В условиях, названных выше, эти материалы могут обеспечить благоприятную среду для роста микроорганизмов. Хотя микроорганизмы, которые развиваются в среде помещения, хорошо идентифицированы для традиционных строительных материалов, проводится все еще мало исследований, связывающих химические/минералогические свойства этих материалов с природой микробного роста по его интенсивности и видам микроорганизмов [12].

По данным некоторых авторов [10], родовой состав микромицетов, обнаруженных на поврежденной штукатурке в различных зданиях, выглядит следующим образом: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Penicillium*. В некоторых исследованиях проводился микологический анализ проб поврежденной штукатурки внутренних стен исторических зданий, результаты которого обнаруживают сходные закономерности: *Penicillium citrinum*, *P. purporogenum*, *P. funiculosum*, *Altenaria sp.*, *Mucorhiemalis* [13]. Зарубежные и российские стандарты для лабораторных исследований, в которых материалы подвергаются воздействию микроорганизмов, предлагают использовать для этих целей виды родов *Aspergillus*, *Penicillium* и др. [12, 16].

В рамках проблемы ухудшения качества воздуха в помещениях, вызванного микроорганизма-

ми, часто предлагается исследование микробного роста на строительных материалах. Хотя прямую взаимосвязь между поверхностными образцами и заболеваниями людей установить сложно, различные авторы указывают, что оценка уровня загрязнения строительных материалов с помощью идентификации, или количественного описания видов и контаминантов, дала бы хорошую картину потенциальных источников угрозы для здоровья людей. Более того, преобладание микробных пейзажей, характерных для конкретных материалов должно дать информацию, полезную для предотвращения контаминации микроорганизмами [12].

Взаимосвязь между типом строительного материала и микроорганизмами рассматривается в некоторых работах [4], тем не менее, некоторые исследования выделяют взаимосвязь между микроорганизмами и местом отбора проб, и никак не связывают их с природой материала [14].

Такие средства отбора проб, как тканевый тампон, клейкая лента и контактная пластина не очень подходят для грубых, пористых, пылящих материалов, так как разработаны в микробиологии для гладких поверхностей; тем не менее, они предлагаются в существующих стандартах [15]. Контаминация обычно оценивается поверхностным наблюдением [15, 16] или подсчетом колониеобразующих единиц [17].

Существует необходимость в адаптации и стандартизации методов, либо в диверсификации методик, с помощью которых будет возможно определить популяции микроорганизмов на поверхности строительных материалов как можно точнее.

В научной литературе крайне мало информации, касающейся физико-химических взаимодействий между субстратом и микроорганизмами, а также адгезионных свойств самих микроорганизмов для строительных материалов в среде помещения. Этот недостаток информации значительно препятствует пониманию и прогнозированию микробного роста на строительных материалах.

В источниках редко встречается литература по восприимчивости экоматериалов, включающих в себя растительные частицы или волокна, к микробному произрастанию [18]. Необходимо серьезно заняться рассмотрением этой темы, особенно учитывая возрастающий интерес к таким материалам [19].

### 3. Благоприятное воздействие микроорганизмов

Появление одних микроорганизмов на поверхностях строительных материалов, подверженных воздействиям внешней среды, в основном ведет к ухудшению эстетического облика здания и увеличению затрат на очистку (водоросли и цианобактерии), а появление других (грибы) – помимо указанных последствий, к минералогическим и микроструктурным изменениям. Хотя микроорга-

низмы, ответственные за эти последствия уже хорошо идентифицированы, исследования в данный момент сфокусированы на определении механизмов колонизации, и в частности, на факторах [7], имеющих отношение к материалу, а также на разработке мероприятий по защите внешних стен [20]. В отечественной литературе предлагается бороться с причинами биоповреждений и ухудшения экологической ситуации в зданиях и сооружениях путем введения биоцидных добавок в смеси, исключая опасность возникновения этих явлений еще на стадии проектирования [21, 22].

Несмотря на это, некоторые исследования ведутся в направлении увеличения биовосприимчивости материалов, чтобы создать условия для роста микроорганизмов, таких как водоросли, или лишайников и высших растений, которые могут улучшить вид и теплотехнические характеристики здания [23].

В некоторых случаях микроорганизмы используются в качестве средства, способного защитить или «вылечить» бетон. Так, с целью заполнения микротрещин в бетоне (увеличение его долговечности), разрабатываются новые составы цементных материалов, включающие в себя отобранные бактерии и подходящие химические прекурсоры [24]. Некоторые работы посвящены технике поверхностной обработки, называемой бионааносом [25]. В других случаях образование биопленки на поверхности цементных материалов может обеспечить защитный слой против биологической коррозии, например, либо благодаря выделению защитных органических полимеров, где может произойти благоприятное выпадение осадка карбоната кальция [26], либо с помощью неагрессивных микроорганизмов, способных бороться с нежелательными микроорганизмами [27].

### Выводы

Микроорганизмы, взаимодействуя с каменными строительными материалами, могут селиться на них и быть причиной биоповреждений, уменьшая долговечность материалов и ухудшая качество воздуха среды обитания человека в определенных условиях, в результате чего социальный и экономический ущерб может быть очень значительным. Микроорганизмы в сочетании с определенными способами обработки могут оказывать благоприятное воздействие на строительные материалы. Механизм взаимодействия микроорганизмов со строительными материалами еще не до конца изучен, в связи с чем весьма актуальны дальнейшие исследования в этой области.

### Литература

1. Карамова, Н.С. Методы исследования и оценки биоповреждений, вызываемых микроорганизмами: учеб.-метод. пособие / Н.С. Карамова, Г.В. Надеева, Т.В. Багаева. – Казань: Казанский университет, 2014. – 36 с.
2. Bertron, A. *Understanding interactions between cementitious materials and microorganisms: a key to sustainable and safe concrete structures in various contexts* / A. Bertron // *Mater. And Struct.* – 2014. – Vol. 47. – P. 1787–1806.
3. Alexander, M.G. *Performance of sewer pipe concrete mixtures with portland and calcium aluminate cements subject to mineral and biogenic acid attack* / M.G. Alexander, C. Fourie // *Mater. Struct.* – 2011. – Vol. 44, no. 1. – P. 313–330.
4. *A new test method to assess the bacterial deterioration of cementitious materials* / C. Magniont, M. Coutand, A. Bertron et al. // *Cem. Concr. Res.* – 2011. – Vol. 41, no. 4. – P. 429–438.
5. *An innovative approach to reproduce the bio-deterioration of industrial cementitious products in a sewer environment. Part I: test design* / M. Peyre Lavigne, A. Bertron, L. Auer et al. // *Cem. Concr. Res.* – 2014.
6. *Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete* / J. Monteny, E. Vincke, A. Beeldens et al. // *Cem. Concr. Res.* – 2000. – Vol. 30, no. 4. – P. 623–634.
7. *Influence of the intrinsic characteristics of mortars on their biofouling by pigmented organisms: Comparison between laboratory and field-scale experiments* / T.H. Tran, A. Govin, R. Guyonnet et al. // *Int. Biodeterior. Biodegrad.* – 2014. – Vol. 86. – P. 334–342.
8. *Accelerated laboratory test to study fungal biodeterioration of cementitious matrix* / V. Wiktor, F. De Leo, C. Urzi et al. // *Int. Biodeterior. Biodegrad.* – 2009. – Vol. 63, no. 8. – P. 1061–1065.
9. *An innovative approach to reproduce the bio-deterioration of industrial cementitious products in a sewer environment. Part II: validation on CAC and BFSC linings* / M. Peyre Lavigne, A. Bertron, C. Botanch et al. // *Cem. Concr. Res.* – 2014.
10. Васильева, Н.В. Микроорганизмы – контаминанты и патогены – индукторы процессов старения больничных зданий и помещений медицинского назначения, а также возбудители некоторых заболеваний людей: учеб. пособие / Н.В. Васильева, Н.П. Елинов; под ред. Н.П. Елинова. – СПб.: КОСТА, 2009. – 224 с.
11. Mudarri, D. *Public health and economic impact of dampness and mold* / D. Mudarri, W.J. Fisk // *Indoor Air.* – 2007. – Vol. 17, no. 3. – P. 226–235.
12. *A review of indoor microbial growth across building materials and sampling and analysis methods* / T. Verdier, M. Coutand, A. Bertron, C. Roques // *Building and environment.* – 2014. – Vol. 80 – P. 136–149.
13. Фатыхова, Ю.Н. Роль структуры сообщества хемолитотрофных микроорганизмов в разрушении строительных силикатных материалов: дис. ... канд. биол. наук / Ю.Н. Фатыхова. – Томск, 2006. – 125 с.
14. *Indoor fungal contamination of moisture-damaged and allergic patient housing analysed using real-time PCR* / A.-P. Bellanger, G. Reboux, S. Rous-

sel et al. // *Lett. Appl. Microbiol.* – 2009. – Vol. 49. – P. 260–266.

15. ГОСТ 9.053–75. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Материалы неметаллические и изделия с их применением. Метод испытаний на микробиологическую стойкость в природных условиях в атмосфере (с Изменением 1). – <http://www.gostedu.ru/16657.html>.

16. ГОСТ 9.049–91. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. – <http://docs.cntd.ru/document/1200015007>.

17. GGTM. P040. Method for Measuring Microbial Resistance from Various Sources (based on ASTM D6329). – [http://greenguard.org/Libraries/GG\\_Documents/GGTM\\_P040\\_Method\\_for\\_Measuring\\_Microbial\\_Resistance\\_from\\_Various\\_Sources\\_071221.sflb.ashx](http://greenguard.org/Libraries/GG_Documents/GGTM_P040_Method_for_Measuring_Microbial_Resistance_from_Various_Sources_071221.sflb.ashx).

18. Khan, B.A. Antibacterial properties of hemp and other natural fibre plants: a review / B.A. Khan, P. Warner, H. Wang // *Bio Resources.* – 2014. – Vol. 9, no. 2. – P. 3642–3659.

19. Pacheco-Torgal, F. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: a review / F. Pacheco-Torgal, S. Jalali // *Constr. Build. Mater.* – 2011. – Vol. 25, no. 2. – P. 575–581.

20. Titanium dioxide based strategies to prevent

algal fouling on cementitious materials / A. Maury-Ramirez, W. De Muynck, R. Stevens et al. // *Cem. Concr. Compos.* – 2013. – Vol. 36. – P. 93–100.

21. Сураева, Е.Н. Разработка сухих строительных смесей с биоцидными свойствами: дис. ... канд. техн. наук / Е.Н. Сураева. – Саранск, 2015. – 170 с.

22. Родин, А.И. Разработка биоцидных цементов и композитов на их основе: дис. ... канд. техн. наук / А.И. Родин. – Саранск, 2013. – 205 с.

23. Bioreceptivity evaluation of cementitious materials designed to stimulate biological growth / S. Manso, W. De Muynck, I. Segura et al. // *Sci. Total. Environ.* – 2014. – Vol. 481. – P. 232–241.

24. Wiktor, V. Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete / V. Wiktor, H.M. Jonkers // *Cem. Concr. Compos.* – 2011. – Vol. 33, no. 7. – P. 763–770.

25. Belie, N.D. Microorganisms versus stony materials: a love-hate relationship / N.D. Belie // *Mater. Struct.* – 2010. – Vol. 43, no. 9. – P. 1191–1202.

26. Decho, A.W. Overview of biopolymer-induced mineralization: What goes on in biofilms? / A.W. Decho // *Ecol. Eng.* – 2010. – Vol. 36, no. 2. – P. 137–144.

27. Soleimani, S. Resistance of biofilm-covered mortars to microbiologically influenced deterioration simulated by sulfuric acid exposure / S. Soleimani, O.B. Isgor, B. Ormeci // *Cem. Concr.* – 2013.

Уряшева Наталья Николаевна, аспирант кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет» (Челябинск); [natalya-uryash@mail.ru](mailto:natalya-uryash@mail.ru)

Поступила в редакцию 13 апреля 2017 г.

DOI: 10.14529/build170310

## INTERACTION BETWEEN MICROORGANISMS AND STONE BUILDING MATERIALS

N.N. Uryasheva, [natalya-uryash@mail.ru](mailto:natalya-uryash@mail.ru)

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Microorganisms may interact with building materials in almost every aquatic or moist environment. As a result of these interactions one can observe material corrosion, aesthetic alterations in the appearance of buildings and degradation of indoor air quality. The review of the Russian and foreign literature on interaction between microorganisms and stone building materials is carried out. The main lines of research in this field are highlighted.

Keywords: building materials, microorganisms, biodeterioration, air quality, mould, biosensitivity.

### References

1. Karamova N.S., Nadeeva G.V., Bagaeva T.V. *Metody issledovaniya i otsenki biopovrezhdeniy, vyzyvayemykh mikroorganizmami* [Research Methods and Evaluation of Biological Damage Caused by Microorganisms]. Kazan, Kazanskiy universitet Publ., 2014. 36 p.
2. Bertron A. [Understanding Interactions Between Cementitious Materials and Microorganisms: a Key to Sustainable and Safe Concrete Structures in Various Contexts]. *Materials and Structure*, 2014, vol. 47, pp. 1787–1806.
3. Alexander M.G., Fourie C. [Performance of Sewer Pipe Concrete Mixtures with Portland and Calcium Aluminate Cements Subject to Mineral and Biogenic Acid Attack]. *Materials and Structure*, 2011, vol. 44, no. 1, pp. 313–330.
4. Magniont C., Coutand M., Bertron A., Cameleyre X., Lafforgue C., Beaufort S., Escadeillas G. [A New Test Method to Assess the Bacterial Deterioration of Cementitious Materials]. *Cement Concrete Research*, 2011, vol. 41, no. 4, pp. 429–438.
5. Peyre Lavigne M., Bertron A., Auer L., Hernandez-Raquet G., Foussard J.-N., Escadeillas G., Cockx A., Paul E. [An Innovative Approach to Reproduce the Biodeterioration of Industrial Cementitious Products in a Sewer Environment]. *Cement Concrete Research*, 2014.
6. Monteny J., Vincke E., Beeldens A., De Belie N., Taerwe L., Van Gemert D., Verstraete W. [Chemical, Microbiological, and in Situ Test Methods for Biogenic Sulfuric Acid Corrosion of Concrete] *Cement Concrete Research*, 2000, vol. 30, no. 4, pp. 623–634.
7. Tran T.H. Govin A., Guyonnet R., Grosseau P., Lors C., Damidot D., Deves O., Ruot B. [Influence of the Intrinsic Characteristics of Mortars on their Biofouling by Pigmented Organisms: Comparison between Laboratory and Field-Scale Experiments]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2014, vol. 86, pp. 334–342.
8. Wiktor V. De Leo, Urzi C., Guyonnet R., Grosseau P., Garcia-Diaz E. [Accelerated Laboratory Test to Study Fungal Biodeterioration of Cementitious Matrix]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2009, vol. 63, no. 8, pp. 1061–1065.
9. Peyre Lavigne M. Bertron A., Botanch C., Auer L., Hernandez-Raquet G., Cockx A., Foussard J.-N., Escadeillas G., Paul E. [An Innovative Approach to Reproduce the Biodeterioration of Industrial Cementitious Products in a Sewer Environment. Part II: Validation on CAC and BFSC Linings]. *Cement Concrete Research*, 2014.
10. Vasil'eva N.V., Elinov N. P. *Mikroorganizmy - kontaminanty i patogeny - induktory protsessov stareniya bol'nichnykh zdaniy i pomeshcheniy meditsinskogo naznacheniya, a takzhe vzbuditeli nekotorykh zabolevaniy lyudey* [Microorganisms – Contaminants and Pathogens – Pathogenic Agents and Factors Inducing Ageing of Hospitals]. Saint Petersburg, 2009. 224 p.]
11. Mudarri D., Fisk W.J. [Public Health and Economic Impact of Dampness and Mold]. *Indoor Air*, 2007, vol. 17, no. 3, pp. 226–235.
12. Verdier T., Coutand M., Bertron A., Roques C. [A review of Indoor Microbial Growth Across Building Materials Andsampling and Analysis Methods]. *Building and environment*, 2014, vol. 80, pp. 136–149.
13. Fatykhova Yu.N. *Rol' struktury soobshchestv khemolitotrofnyykh mikroorganizmov v razrushenii stroitel'nykh silikatnykh materialov*. Kand. diss. [Role of Chemolithotrophic Microbiocenosis Structure in Silicate Building Material Deterioration. Cand. sci. diss.]. Tomsk, 2006. 125 p.
14. Bellanger A-P., Reboux G., Roussel S., Grenouillet F., Didier-Scherer E., Dalphin J.-C. [Indoor Fungal Contamination of Moisture-Damaged and Allergic Patient Housing Analysed Using Real-Time PCR]. *Letters in Applied Microbiology*, 2009, vol. 49, pp. 260–266.
15. GOST 9.053–75. *Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya (ESZKS). Materialy nemetallicheskie i izdeliya s ikh primeneniem. Metod ispytaniy na mikrobiologicheskuyu stoykost' v prirodnykh usloviyakh v atmosfere (s Izmeneniyem 1)* [USCAP. Non-Metallic Materials and Articles with their Application. Method of Microbiological Resistance Tests Under Natural and Atmospheric Conditions]. Moscow, 1975.
16. GOST 9.049-91 *Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya (ESZKS). Materialy polimernye i ikh komponenty. Metody laboratornykh ispytaniy na stoykost' k vozdeystviyu plesnevykh gribov* [Unified System of Corrosion and Ageing Protection. Polymer Materials and their Components. Methods of Laboratory Tests for Mould Resistance]. Moscow, Gosstandart SSSR Publ., 1992.
17. GGTM. P040. [Method for Measuring Microbial Resistance from Various Sources (based on ASTM D6329)]. Available at: [http://greenguard.org/Libraries/GG\\_Documents/GGTM\\_P040\\_Method\\_for\\_Measuring\\_Microbial\\_Resistance\\_from\\_Various\\_Sources\\_071221.sflb.ashx](http://greenguard.org/Libraries/GG_Documents/GGTM_P040_Method_for_Measuring_Microbial_Resistance_from_Various_Sources_071221.sflb.ashx).
18. Khan B.A., Warner P., Wang H. [Antibacterial Properties of Hemp and Other Natural Fibre Plants: a Review]. *Bio Resources*, 2014, vol. 9, no. 2, pp. 3642–3659.
19. Pacheco-Torgal F., Jalali S. [Cementitious Building Materials Reinforced with Vegetable Fibres: a Review]. *Construction Building Material*, 2011, vol. 25, no. 2, pp. 575–581.
20. Maury-Ramirez A., De Muynck W., Stevens R., Demeestere K., De Belie N. [Titanium Dioxide Based Strategies to Prevent Algal Fouling on Cementitious Materials]. *Cement Concrete Composition*, 2013, vol. 36, pp. 93–100.

21. Suraeva E.N. *Razrabotka sukhikh stroitel'nykh smesey s biotsidnymi svoystvami*. Kand. diss. [Dry Building Mixes with Biocide Properties Formulation Design. Cand. sci. diss.]. Saransk, 2015. 170 p.
22. Rodin A.I. *Razrabotka biotsidnykh tsementov i kompozitov na ikh osnove*. Kand. diss. [Design of Biocide Cement and Biocide Cement-Based Composite Materials. Cand. sci. diss.]. Saransk, 2013. 205 p.
23. Manso S., De Muynck W., Segura I., Aguado A., Steppe K., Boon N., De Belie N. [Bioreceptivity Evaluation of Cementitious Materials Designed to Stimulate Biological Growth]. *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 481, pp. 232–241.
24. Wiktor V., Jonkers H.M. [Quantification of Crack-Healing in Novel Bacteria-Based Self-Healing Concrete]. *Cement Concrete Composition*, 2011, vol. 33, no. 7, pp. 763–770.
25. Belie N.D. [Microorganisms Versus Stony Materials: a Love–Hate Relationship]. *Materials and Structures*, 2010, vol. 43, no. 9, pp. 1191–1202.
26. Decho A.W. [Overview of Biopolymer-Induced Mineralization: What Goes on in Biofilms?]. *Ekol Engineering*, 2010, vol. 36, no. 2, pp. 137–144.
27. Soleimani S., Isgor O.B., Ormeci B. [Resistance of Biofilm-Covered Mortars to Microbiologically Influenced Deterioration Simulated by Sulfuric Acid Exposure]. *Cement Concrete*, 2013.

Received 13 April 2017

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Уряшева, Н.Н. Взаимодействие микроорганизмов с каменными строительными материалами / Н.Н. Уряшева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 65–71. DOI: 10.14529/build170310

**FOR CITATION**

Uryasheva N.N. Interaction between Microorganisms and Stone Building Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, no. 3, pp. 65–71. (in Russ.). DOI: 10.14529/build170310