

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА  
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК66.021.3

DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-150-157 Оригинальная статья / Original Paper

**Исследование различных видов биологической коррозии бетона**

**С.А. Логинова, А.А. Петренко**

Ярославский государственный технический университет,  
150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88, Россия

**Резюме. Цель.** Целью исследования является определение степени развития различных видов микроорганизмов и воздействия их на физико-механические свойства бетона. **Метод.** Оценка возможности бетона служить субстратом для различных видов биодеструкторов проводилась с помощью определения влагопоглощения и pH водной вытяжки бетонных образцов. **Результат.** Экспериментально установлен механизм воздействия различных микроорганизмов на бетон. Определен таксономический состав наиболее агрессивных к бетону микроорганизмов. Проведена оценка влияния биообрастания на физико-механические свойства бетона. **Вывод.** Результаты исследования служат основой для грамотного подбора наиболее эффективных методов антикоррозионной защиты бетонных конструкций, эксплуатирующихся в биологически агрессивных средах.

**Ключевые слова:** биологическая коррозия, биостойкость, бетон, водоросли, бактерии, грибы

**Для цитирования:** С.А. Логинова, А.А. Петренко. Исследование различных видов биологической коррозии бетона. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(2):150-157. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-150-157

**Investigation of various types of biological corrosion of concrete**

**S.A. Loginova, A.A. Petrenko**

Yaroslavl State Technical University,  
88 Moscow Ave., Yaroslavl 150023, Russia

**Abstract. Objective.** Determination of the degree of development of various types of microorganisms and their effect on the physical and mechanical properties of concrete. **Method.** Assessment of the possibility of concrete to serve as a substrate for various types of biodestructors was carried out using the determination of moisture absorption and pH of water drawing of concrete samples. **Result.** Experimental mechanism of action of various microorganisms on concrete is established. Taxonomic composition of microorganisms most aggressive to concrete is determined. The impact of biofouling on the physical and mechanical properties of concrete was assessed. **Conclusion.** The results of the investigation serve as the basis for competent selection of the most effective methods of corrosion protection of concrete structures operating in biologically aggressive environments.

**Keywords:** biological corrosion, bioavailability, concrete, algae, bacteria, mushrooms

**For citation:** S.A. Loginova, A.A. Petrenko. Investigation of various types of biological corrosion of concrete. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2022; 49(2):150-157. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-150-157

**Введение.** В настоящее время бетон является самым широкоприменяемым материалом в строительстве. Несмотря на то, что впервые бетон применили в эпоху расцвета Римской империи, этот материал, благодаря своим уникальным свойствам, был и остается одним из самых часто используемых [1-3]. В коррозионно-агрессивных средах бетоны подвержены разрушению и преждевременному старению. Одним из самых малоизученных видов коррозии бетона по-

прежнему остается биологическая коррозия [4]. Поэтому, изучение коррозионных процессов, развивающихся в бетоне под воздействием различных микроорганизмов, не теряет своей актуальности и по сей день.

К настоящему времени выделяют три вида биологической коррозии бетона: бактериальную, водорослевую и грибковую.

Исследования коррозионного разрушения бетона вызваны необходимостью повышения долговечности и надежности бетонных и железобетонных конструкций; потребностью разработки мер по предупреждению аварийных ситуаций; существенными материальными потерями от коррозионной деградации бетона; проблемой загрязнения окружающей среды продуктами коррозии и метаболитами микроорганизмов-деструкторов [5, 6].

**Постановка задачи.** Биокоррозия бетона – многофакторный процесс, кинетика которого зависит от видового разнообразия биодеструкторов, ряда абиотических факторов и свойств самого бетона. Успешное исследование биологической коррозии бетона возможно только на основе основательного изучения физико-химических процессов, развивающихся в бетоне в результате их повреждения микроорганизмами.

**Методы исследования.** Изучение биологического разрушения бетона проводилось в соответствии с ГОСТ 27677 «Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний».

Суть метода заключается в сравнении параметров, характеризующих коррозионную стойкость бетонных образцов, подверженных биообрастанию, со значениями показателей, характерными для контрольных бетонных образцов [7].

В соответствии с ГОСТ 28206-89 «Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов» экспериментальные образцы предварительно обрабатывались питательным раствором, способствующим развитию водорослей, бактерий и грибов.

Механизмы всех видов биологической коррозии бетонов сводятся к физико-химическим процессам, которые протекают в результате выделения кислых продуктов метаболизма микроорганизмами.

Поэтому для исследования механизмов различных видов биокоррозии бетона были выбраны следующие методы: определение влагопоглощения бетона по массе и по объему, регистрация изменения pH водной вытяжки бетона потенциометрическим методом с помощью рН-метр/иономер Анион-4100.

Для определения таксономического состава биоповреждений брались соскобы с поверхности бетонных образцов. Электронная микроскопия проводилась с помощью микроскопа Meiji Techno (Япония) [8, 9].

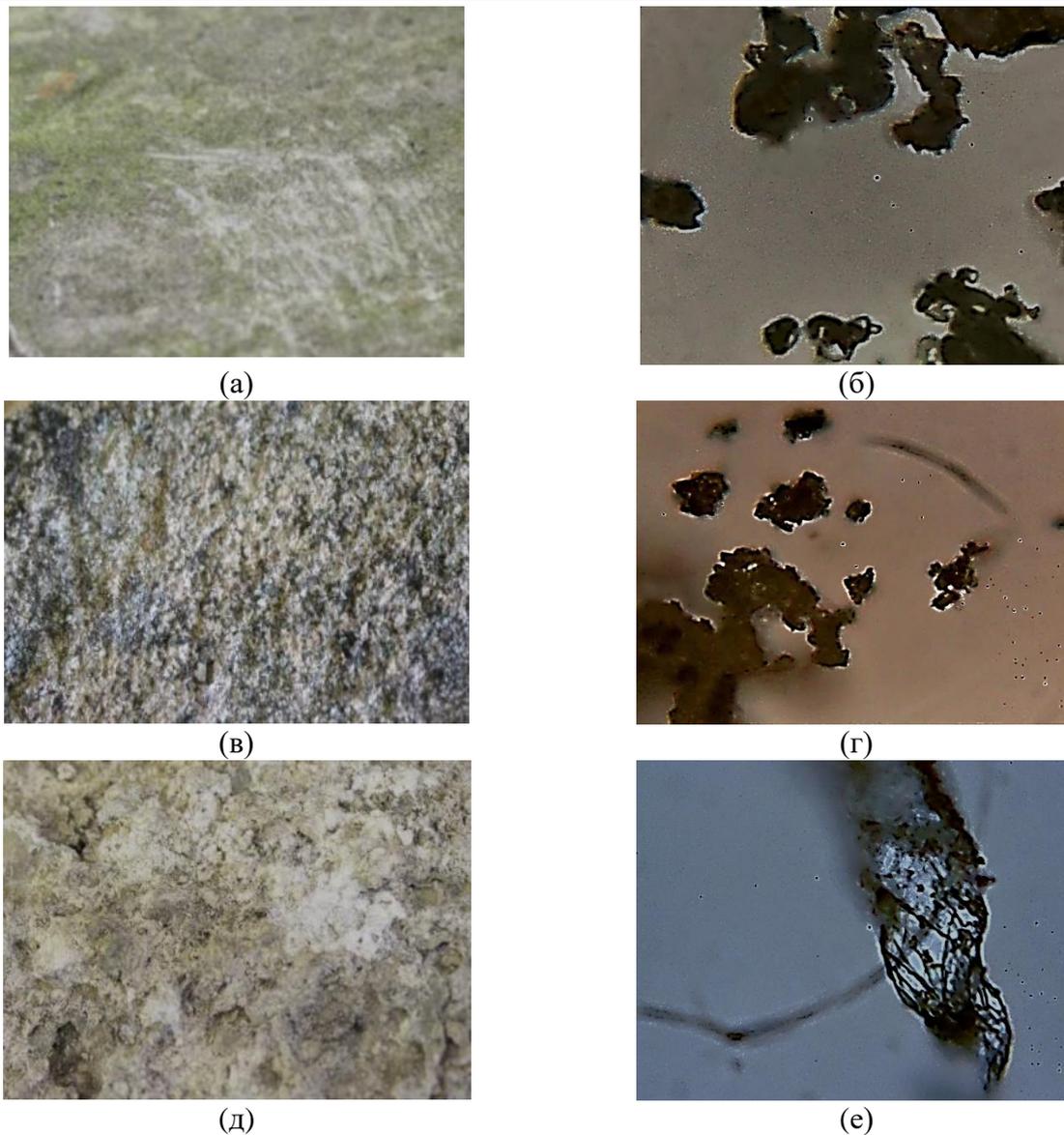
**Обсуждение результатов.** На биостойкость исследовались бетонные образцы, часть из которых не имели визуально определяемого биологического загрязнения. Методом электронной микроскопии на всех образцах было обнаружено биоповреждение (рис.1).

На образцах, подверженных водорослевой коррозии, был обнаружен налет зеленого цвета с сероватыми включениями, которые хорошо видны невооруженным глазом. Методом электронной микроскопии на поверхности бетона были зафиксированы большие скопления водорослей (рис. 1, а, б).

С помощью определителей [10-12] был установлен таксономический состав биоты, а именно, водоросли родов *Gloeocapsa*, *Chlorococum*, *Chlorella* (рис. 2).

Водоросли производят кислород в качестве побочного продукта фотосинтеза. Их сине-зеленый цвет обусловлен наличием хлорофилла и фикоцианина, поэтому иногда их называют сине-зелеными водорослями. Поверхность бетонных образцов, подверженных бактериальной коррозии, была сильно повреждена. Методом световой микроскопии и с помощью определителей [10-12] удалось идентифицировать палочковидные бактерии.

В ходе эксперимента было зафиксировано, что основными возбудителями бактериальной коррозии при длительной эксплуатации бетона являются представители рода *Bacillus*. При грибковой коррозии поверхность бетонных образцов была сильно разрушена и покрыта беловато-серым налетом с черными включениями в углублениях (рис. 1, д, е).

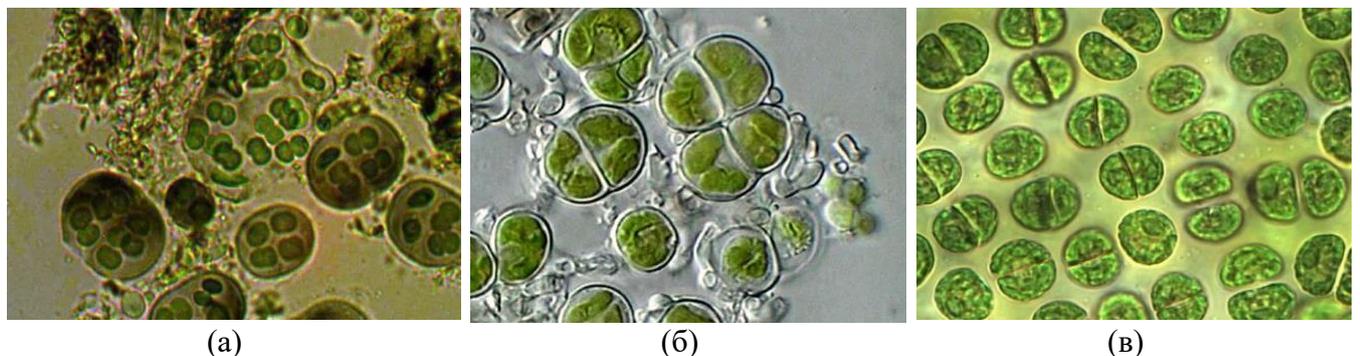


**Рис.1. Поверхность бетонного образца:**

(a) – при водорослевой коррозии, (б) – при бактериальной коррозии; (д) – при грибковой коррозии; (в), (г), (е) – при увеличении 300 крат

**Fig. 1. Surface of concrete sample:**

(a) – in case of algal corrosion, (b) – in case of bacterial corrosion; (e) – in case of mushrooms corrosion; (c), (d), (e) – at increase of 300 crats



**Рис. 2. Водоросли: а – род Gloeocapsa; б – род Chlorococcum; в – род Chlorella**  
**Fig. 2. Algae: a – genus Gloeocapsa; b – genus Chlorococcum; c – genus Chlorella**

Таксономический состав микромицетов показал наличие в пробах грибов родов: *Mucor*, *Penicillium*, *Aspergillus* (рис. 3). Грибы гетеротрофны и не имеют хлорофилла, поэтому зависят от доступных органических веществ. Они прикрепляются к поверхности субстрата и обычно выглядят как пушистые пятна серого, зеленого, черного или коричневого цвета [13].

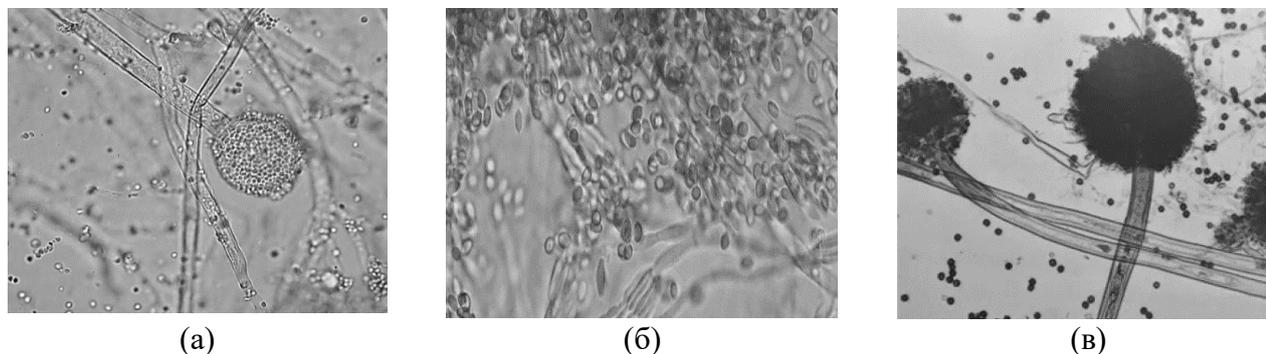


Рис. 3. Грибы: а – род *Mucor*; б – род *Penicillium*; в – род *Aspergillus*  
Fig. 3. Mushrooms: a – genus *Mucor*; b – genus *Penicillium*; c – genus *Aspergillus*

Исходя из экспериментальных данных, можно сделать вывод, что в качестве наиболее агрессивных биодеструкторов к бетону выступают именно грибки и бактерии. В тоже время, на некоторых образцах были обнаружены скопления, как бактерий, так и грибков.

Этот факт косвенно подтверждает утверждение о том, что микроорганизмы чаще всего образуют биоценозы. Как правило, первыми в этих сообществах появляются хемолитотрофные бактерии, которые способны получать аденозинтрифосфорную кислоту в результате использования энергии, выделяющейся при реакциях окисления-восстановления неорганического субстрата - бетона. Образующиеся в результате жизнедеятельности хемолитотрофных бактерий скопления органических веществ, служат субстратом для жизнедеятельности грибков [14-16].

Процесс обрастания поверхности бетона можно разделить на 5 стадий [17]:

1. Формирование биопленки на поверхности бетона в короткие сроки;
2. Отложение одноклеточных микроорганизмов;
3. Колонизация;
4. Вторичное отложение более высокого уровня микроорганизмов;
5. Непрерывное увеличение биомассы на поверхности бетона с элементами отмирания некоторых микроорганизмов.

Скорость образования биопленки может быть различной. Согласно литературным источникам биопленка может образовываться за считанные минуты при контакте субстрата с водой, содержащей различные метаболиты [18-21].

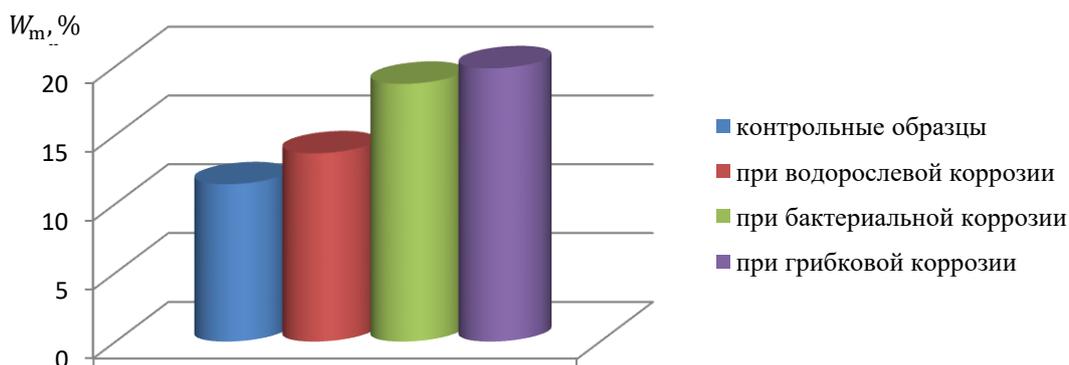
С целью изучения степени воздействия на бетон различных видов микроорганизмов был проведен ряд исследований по определению водопоглощения бетонных образцов по массе. Результаты приведены на рис. 4.

Водопоглощение бетона отдельного образца по массе определяли по формуле:

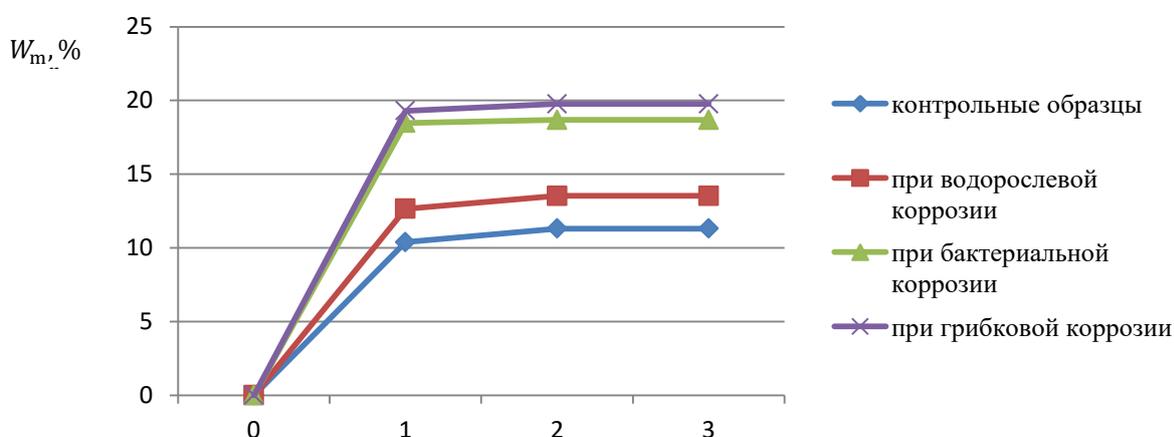
$$W_M = \frac{m_c - m_b}{m_c} \times 100, \% \quad (1)$$

где:  $W_M$  – водопоглощение образца по массе, %;  $m_c$  – масса высушенного образца, г;  $m_b$  – масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение образцов бетона по массе для контрольных образцов составило – 11,41%, для образцов, подверженных водородсерной коррозии, - 13,66%, для образцов, поврежденных бактериальной и грибковой коррозией, - 16,71% и 19,84% соответственно. Из графика видно, что бактериальная и грибковая коррозия приводят к значительному увеличению водопоглощения по массе.



**Рис. 4. Водопоглощение бетона по массе W<sub>m</sub>, %**  
**Fig. 4. Water absorption of concrete by weight W<sub>m</sub>, %**



**Рис. 5. Изменение скорости водопоглощения по массе**  
**Fig. 5. Change in water absorption rate by weight**

На рис. 5 видно, что образцы, подверженные грибковой и бактериальной коррозии, насыщались водой уже на первые сутки выдержки, в то время как контрольные образцы и образцы, подвергавшиеся водорослевой коррозии, достигали постоянной массы лишь на вторые - третьи сутки выдерживания в воде.

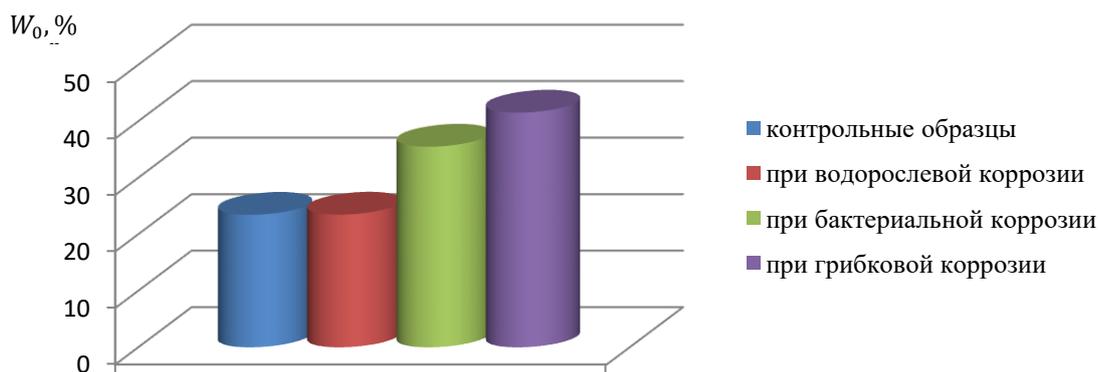
Характер кривой изменения скорости водопоглощения по массе образцов, подвергавшихся водорослевой коррозии, практически повторял кривую, описывающую данный процесс для контрольной серии образцов. Описанные на рис. 5 процессы могут быть следствием различной пористости и плотности образцов. Большой объем и размер пор образцов, подвергавшихся грибковому и бактериальному воздействию, служит прямым доказательством большей агрессивности к бетону грибов и бактерий, нежели водорослей.

Наряду с этим, был проведен ряд экспериментов по определению водопоглощения образцов по объему. Водопоглощение образцов бетона по объему определяли по формуле:

$$W_o = \frac{W_m \times \rho_o}{\rho_v}, \quad (2)$$

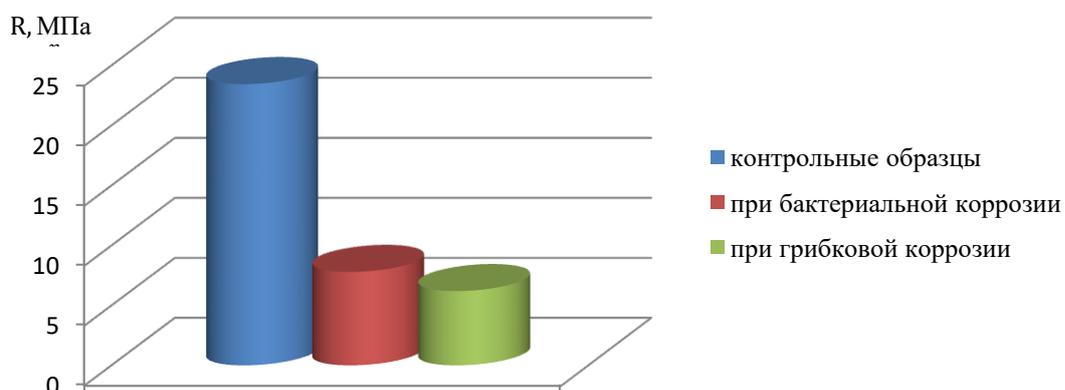
где: W<sub>o</sub> – водопоглощение образца по объему, %; W<sub>m</sub> – водопоглощение образца по массе, %; ρ<sub>o</sub> – плотность сухого бетона, кг/м<sup>3</sup>; ρ<sub>v</sub> – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup>.

В образцах, подвергавшихся водорослевой коррозии, не выявлено достоверных изменений водопоглощения по объему, по сравнению с контрольной серией образцов. Бактериальная и грибковая коррозии сопровождались значительным увеличением водопоглощения по объему образцов бетона (рис.6).



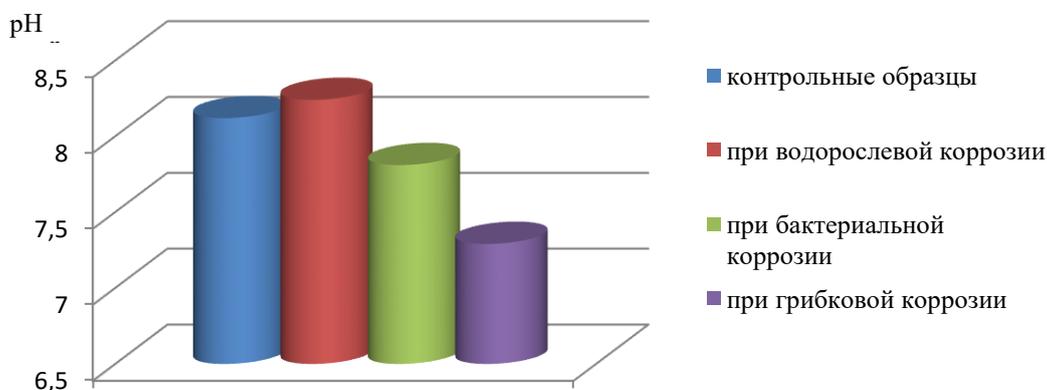
**Рис. 6. Изменение водопоглощения бетона по объему**  
**Fig. 6. Change in water absorption of concrete by volume**

Увеличение водопоглощения бетона по объему у образцов, подвергавшихся воздействию бактерий и грибов, подтверждает высокую степень агрессивности данных биологических агентов. Как следствие, повышение пористости и уменьшение плотности бетона, приводит к потере прочности, что отчетливо видно на рис. 7.



**Рис. 7. Изменение прочности на сжатие бетонных образцов**  
**Fig. 7. Change in compression strength of concrete samples**

Экспериментально полученные значения pH водной вытяжки образцов позволили определить степень коррозионной активности различных биодеструкторов (бактерий, грибов, водорослей). Результаты представлены на рис. 8.



**Рис. 8. Значения pH водной вытяжки бетонных образцов**  
**Fig. 8. Values of concrete samples water drawing pH**

Уменьшение рН водной вытяжки бетонных образцов свидетельствует о том, что бактерии и грибы, по сравнению с водорослями, более агрессивны к бетону, за счет своих метаболитов, которые, в основном, представлены органическими кислотами (щавелевой, лимонной, янтарной и т.д.). Органические кислоты выступают в качестве катализаторов коррозионного разрушения бетона.

Из рис. 8 видно, что рН водной вытяжки при бактериальной и грибковой коррозии ниже контрольных значений.

**Вывод.** Наиболее коррозионно-активными биодеструкторами по отношению к бетону являются грибы и бактерии.

1. Основной причиной разрушения бетона при биоповреждении является действие на него метаболитов микроорганизмов, представляющих собой смесь органических кислот.
2. Воздействие на бетон водорослей, бактерий и грибов сопровождается увеличением его пористости и снижением плотности, что приводит к значительному ухудшению физико-механических характеристик бетона.
3. Защита бетона от биоповреждений возможна путем своевременной обработки поверхности материала различными противомикробными составами и путем получения бетонов пониженной пористости.

#### Библиографический список:

1. Семенов С.А. Биоповреждения материалов и изделий техники // Вестник МИХТ. – 2007. – Т.2. - №6. – С.3-26.
2. Ерофеев, В.Т. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования / В.Т. Ерофеев, А.П. Федорцов, А.Д. Богатов, В.А. Федорцов // Фундаментальные исследования, 2014, №12. С.708-716.
3. Иванов, С.Н. Биоповреждения в строительстве. Стройиздат, 1984. - 320 с.
4. Соломатов, В.И. Микроорганизмы разрушители материалов и изделий / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, Е.А. Морозов // Изв. вузов. Строительство.- 2001. - №8. - С. 4 – 12
5. Чеснокова Т.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А. Моделирование процесса биоразрушения бетона на предприятиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 1 (385). С. 206-212.
6. Дергунова А.В., Светлов Д.А., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. Микробиологическая стойкость строительных материалов // Приволжский научный журнал – Н.Новгород: ННГАСУ, №2(10), 2009. - С. 108-113
7. Чеснокова Т.В., Киселев В.А. Оценка влияния различных видов биологической коррозии на бетон // Сб. материалов III Всеросс. научно-практич.конф. с междунар.уч. «Актуальные вопросы естествознания» Иваново, ФГБОУ ВО Ивановская пожарноспасательная Академия ГПС МЧС России, 2018, С.68.
8. Fedosov S., Loginova S. Mathematical model of concrete biological corrosion // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 7 (99). С. 9906. DOI: 10.18720/MCE.99.6
9. Строганов В.Ф. Метод испытания минеральных строительных материалов на биостойкость в модельных агрессивных средах / В.Ф.Строганов, Д.А.Куколева, Л.Р. Бараева // Вестник Казанского государственного архитектурно-строительного университета.- 2011. - №3. - С. 153 – 161.
10. Стейниер, Р. Э. Эдельберг, Дж. Ингрэм Мир микробов. в 3 т. М.: Мир, 1979, Т.1, 320 с., Т.2, 334 с., Т.3, 486 с.
11. Определитель бактерий Берджи: в 2 т. / [Р. Беркли и др.]; под ред. Дж. Хоулта и др.; пер. с англ. под ред. Г. А. Заварзина. М.: Мир, 1997. - 432 с.
12. Красильников, Н.А. Определитель бактерий и актиномицетов // Акад. наук СССР. Ин-т микробиологии. - Москва, Ленинград: Изд-во и 2-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР, 1949. - 832 с.
13. Чеснокова Т.В., Логинова С.А., Киселев В.А. Анализ воздействия биологической коррозии различной длительности на бетон // Сб материалов Инженерно-технические науки – машиностроение и технологии «Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение» Иваново, ФГБОУ Ивановский государственный политехнический университет, 2018, №2, С.98.
14. Adnan M., Alshammari E., Patel M., Amir Ashraf S., Khan S., Hadi S. Significance and potential of marine microbial natural bioactive compounds against biofilms/biofouling: necessity for green chemistry. – 2018. PeerJ6:e5049 <https://doi.org/10.7717/peerj.5049>
15. Chai W., Li W. and Ba H. Experimental study on predicting service life of concrete in the marine environment // Open Civil Eng. J. – V. 5, 2011. P. 93...99. DOI:10.2174/1874149501105010093
16. De Muynck W., De Belie N., and Verstraete W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review // Ecological Engineering. – 2010, 36(2). P. 118...136
17. Mardhiah Ismail, Norhazilan Md Noor, Nordin Yahaya, Akrima Abu Bakar, Muhammad Khairool Fahmy Mohd Ali and Arman Abdullah. Statistical Investigation on Anaerobic Sulphate-Reducing Bacteria Growth by Turbidity Method // International Journal of Biological Chemistry. – 9 (4), 2015. P. 178...187. DOI: 10.3923/ijbc.2015.178.187
18. Рахимбаев Ш.М. Кинетика процессов коагуляции при химической коррозии цементных систем // Бетон и железобетон. – 2012, № 6. С. 16...17
19. Логинова С.А., Гоглев И.Н. Моделирование кинетики и динамики протекания массопереноса при различных видах коррозии цементных бетонов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2020. № 6 (99). С. 22-35. DOI: 10.23859/1994-0637-2020-6-99-2

20. Giannantonio, D.J., J.C. Kurth, K.E. Kurtis, and P.A. Sobecky, Effects of concrete properties and nutrients on fungal colonization and fouling. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2009. 63(3): p. 252-259.
21. Pepe, O., Sannino, L., Palomba, S., Anastasio, M., Blaiotta, G., Villani, F., Moschetti, G. Heterotrophic microorganisms in deteriorated medieval wall paintings in southern Italian churches. *Microbiological Research*. 2010. 165(1). Pp. 21–32. DOI: 10.1016/j.micres.2008.03.005
22. Mullard, J.A., Stewart, M.G. Corrosion-induced cover cracking: New test data and predictive models. *ACI Structural Journal*. 2011. 108(1). Pp. 71–79. DOI: 10.14359/51664204

#### References:

1. Semenov S.A. Biodamage of materials and equipment. *Vestnik MIREA*. 2007; 2(6):.3-26. (In Russ)
2. Erofeev, V.T. Biocorrosion of cement concrete, features of its development, assessment and forecasting/V.T. Erofeev, A.P. Fedortsov, A.D. Bogatov, V.A. Fedortsov. *Basic research*, 2014;12:708-716. (In Russ)
3. Ivanov, S.N. Bio-damage in construction. *Stroyizdat*, 1984: 320. (In Russ)
4. Solomatov, V.I. Microorganisms destroyers of materials and products/V.I. Solomatov, V.T. Erofeev, E.A. Morozov//Izv. universities. *Construction*. 2001; 8: 4 – 12 (In Russ)
5. Chesnokova T.V., Rummyantseva V.E., Loginova S.A. Modeling the process of concrete biodegradation at textile enterprises. *News of higher educational institutions. Textile Technology*. 2020; 1(385): 206-212. (In Russ)
6. Dergunova A.V., Svetlov D.A., Erofeev V.T., Smirnov V.F. Microbiological stability of building materials. *Volga Scientific Journal*. N. Novgorod: NNGASU, 2009; 2(10):108-113 (In Russ)
7. Chesnokova T.V., Kiselev V.A. Assessment of the Impact of Various Types of Biological Corrosion on Concrete. Collection of Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Topical Issues of Natural Science" Ivanovo, FSBEI HPO Ivanovo Fire Rescue Academy Service MMMES of Russia, 2018:68. (In Russ)
8. Fedosov S., Loginova S. Mathematical model of concrete biological corrosion. *Magazine of Civil Engineering*. 2020; 7 (99):. 9906. DOI: 10.18720/MCE.99.6
9. Stroganov V.F. Method of Testing Mineral Building Materials for Bio-Resistance in Model Aggressive Environments/V.F. Troganov, D.A.Kukoleva, L.R. Baraeva. *Bulletin of Kazan State University of Architecture and Construction*. 2011; 3: 153 – 161. (In Russ)
10. Steinier R. World of microbes / R. Steinier, E. Edelberg, J. Ingram / in 3 v. M.: *Mir*, 1979; 1:320., 2: 334., 3: 486. (In Russ)
11. Bergie's bacterial determinant: in 2 v./[ R. Berkeley et al.]; ed. J. Hoult et al.; translation from English ed. G. A. Zavarzin. M.: World, 1997: 432.
12. Krasilnikov N.A. Determinant of bacteria and actinomycetes. Academician of Sciences of the USSR. Institute of Microbiology. Moscow, Leningrad: Publishing house and type 2 Publishing house of the USSR Academy of Sciences. 1949: 832. (In Russ)
13. Chesnokova T.V., Loginova S.A., Kiselev V.A. Analysis of the effects of biological corrosion of various durations on concrete//Collection of materials Engineering and technical sciences - mechanical engineering and technologies "Modern knowledge-intensive technologies. Regional application" Ivanovo, FSBEI HPO Ivanovo State Polytechnic University, 2018; 2:98. (In Russ)
14. Adnan M., Alshammari E., Patel M., Amir Ashraf S., Khan S., Hadi S. Significance and potential of marine microbial natural bioactive compounds against biofilms/biofouling: necessity for green chemistry. 2018. PeerJ6:e5049 <https://doi.org/10.7717/peerj.5049>
15. Chai W., Li W. and Ba H. Experimental study on predicting service life of concrete in the marine environment. *Open Civil Eng. J*. 2011; 5: 93-99. DOI:10.2174/1874149501105010093
16. De Muynck W., De Belie N., and Verstraete W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review. *Ecological Engineering*. 2010, 36(2):118...136
17. Mardhiah Ismail, Norhazilan Md Noor, Nordin Yahaya, Akrima Abu Bakar, Muhammad Khairool Fahmy Mohd Ali and Arman Abdullah. Statistical Investigation on Anaerobic Sulphate-Reducing Bacteria Growth by Turbidity Method. *International Journal of Biological Chemistry*. 2015; 9 (4):178-187. DOI: 10.3923/ijbc.2015.178.187
18. Rakhimbayev Sh.M. Kinetics of colmatation processes during chemical corrosion of cement systems. *Concrete and reinforced concrete*. 2012; 6: 16-17 (In Russ)
19. Loginova S.A., Goglev I.N. Modeling of kinetics and dynamics of mass transfer under various types of corrosion of cement concrete. *Bulletin of Cherepovets State University*. 2020; (99): 22-35. DOI: 10.23859/1994-0637-2020-6-99-2 (In Russ)
20. Giannantonio, D.J., J.C. Kurth, K.E. Kurtis, and P.A. Sobecky, Effects of concrete properties and nutrients on fungal colonization and fouling. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2009. 63(3): p. 252-259.
21. Pepe, O., Sannino, L., Palomba, S., Anastasio, M., Blaiotta, G., Villani, F., Moschetti, G. Heterotrophic microorganisms in deteriorated medieval wall paintings in southern Italian churches. *Microbiological Research*. 2010; 165(1): 21–32. DOI: 10.1016/j.micres.2008.03.005
22. Mullard, J.A., Stewart, M.G. Corrosion-induced cover cracking: New test data and predictive models. *ACI Structural Journal*. 2011; 108 (1): 71–79. DOI: 10.14359/51664204

#### Сведения об авторах:

Светлана Андреевна Логинова, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций; sl79066171227@yandex.ru

Анна Андреевна Петренко, студентка; greatann-2002@yandex.ru

#### Information about authors:

Svetlana A. Loginova, Cand. Sci. (Eng)), Assoc. Prof., Department of Building Structures; sl79066171227@yandex.ru

Anna Andreevna Petrenko, Student; greatann-2002@yandex.ru

#### Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 26.03.2022.

Одобрена после рецензирования / Revised 25.04.2022.

Принята в печать/ Accepted for publication 25.04.2022.