

Биоцидные добавки к цементным системам

М.О. Дударева

Московский государственный строительный университет

Аннотация: Материалы на основе портландцементного клинкера занимают одну из ведущих позиций в строительной индустрии. Постоянно растущие объемы строительства и развитие современных технологий предъявляет новые требования к цементным материалам, то есть, возрастает необходимость придания новых многофункциональных характеристик традиционным цементным композитам. Таким образом, введение различного рода добавок в состав цементного композита способно повлиять на его структурообразование, улучшить физико-механические характеристики или придать специальные свойства цементному камню. Добавки классифицируются в соответствии с ГОСТ 24640-91, некоторые из них способны выполнять сразу несколько функций. Перечень добавок постоянно дополняется новыми соединениями, составами, формулами. Ультрадисперсный модифицированный висмутом оксида титана можно рассматривать, как перспективную добавку к цементным системам, обладающую структурообразующими, антибиокоррозионными и фотокаталитическими свойствами.

Ключевые слова: строительные материалы, портландцемент, биоциды, фунгициды, микроскопические грибы, диоксид титана, фотокатализ.

Производители предлагают широкий спектр разнообразных искусственных, природных и композиционных строительных материалов различного назначения в зависимости от предъявляемых к условиям эксплуатации, экономической эффективности, физико-механическим характеристикам, внешнему виду требований. При выборе строительного материала особое значение часто уделяется долговечности объекта, возможности длительного сохранения эстетичного вида изделия или конструкции, а также экологичности материала.

На протяжении длительного времени при строительстве в условиях городской среды занимают искусственные каменные материалы – бетонные и железобетонные конструкции, а также отделочные и ремонтные композиции на основе цементных вяжущих – шпаклевки, штукатурки, затирки, ремонтные составы для заделки швов, применяемые как для наружных, так и для внутренних работ.

К основным факторам, вызывающим коррозию бетона, можно причислить, согласно классификации Москвина В.М. [1], коррозию первого, второго и третьего типов, а именно: коррозию в результате воздействия пресных вод (коррозию выщелачивания); коррозию, возникающую из-за протекания обменных химических реакций между веществами агрессивной среды и компонентами цементного камня; коррозионные разрушения, причиной которых становится возникновение внутренних напряжений в структуре цементного камня, обусловленных процессами кристаллизации в порах бетона солей с увеличением объема твёрдой фазы, или взаимодействием растворов некоторых солей с компонентами цементного камня, в результате чего ослабляется его структура [2].

Немаловажным фактором в процессах разрушения цементного камня можно считать разрушение структуры бетона под воздействием микроорганизмов – разнообразных бактерий, плесневых микроскопических грибов, лишайников [3]. Заселяя поверхность цементного камня, микроорганизмы постепенно проникают внутрь структуры материала, вызывая изменение внешнего вида изделия, шелушения, расслоение поверхностного слоя, ухудшение физико-механических показателей. Кроме того, жизнедеятельность некоторых видов плесневых грибов, например, *Aspergillus niger* способна отрицательно сказываться на здоровье человека и животных, вызывая аллергические реакции, заболевания дыхательных путей и общее снижение иммунитета [4].

Искусственные каменные материалы в меньшей степени подвержены биообрастанию, чем, к примеру, изделия на основе древесины, битумов и полимерных материалов, в силу того, что поверхность затвердевшего бетона имеет сильнощелочную реакцию среды. Кроме того, в процессе твердения цементного раствора его поверхность карбонизируется, вследствие протекания реакции между гидроксидом кальция, выделяющимся в

результате гидролиза основных клинкерных материалов, с углекислым газом воздуха. Прочная карбонатная пленка на протяжении некоторого времени оказывает защитное действие на поверхности бетона, препятствуя проникновению агрессивных сред и спор микроскопических грибов внутрь материала через поры. Однако, со временем пленка разрушается, и цементные материалы могут в значительной мере заселяться колониями микроорганизмов. Зачастую это происходит в теплых помещениях в условиях повышенной влажности и плохой вентиляции. Пористая поверхность бетонного изделия в теплой и влажной атмосфере становится благоприятной средой для развития микроорганизмов, в частности, бактерий, лишайников и микроскопических грибов [5]. Последние оказывают разрушающее воздействие не только благодаря тому, что прорастают в поры бетона. Также представляет опасность ацидофицирующая активность микромицетов - из-за метаболитов, вырабатываемых грибами, в результате жизнедеятельности появляются многоосновные органические кислоты - щавелевая, лимонная, фумаровая, винная и другие. Эти кислоты способны разрушать цементный камень, вступая в химические реакции с компонентами цементного камня, вызывая ослабление его структуры и дальнейшее разрушение [6]. Существуют данные [7], согласно которым микроскопические грибы способны не только адаптироваться к существующим биоцидам, но даже усиливать способность к продуцированию вызывающих биоповреждения кислот под их воздействием. В итоге, борьба с микроорганизмами на поверхности цементного камня часто приводит к использованию агрессивных химических веществ, что, безусловно, является неблагоприятным фактором в условиях общей современной экологической направленности. Вследствие этого, еще на этапе затворения цементной композиции, необходимо вносить корректировки в её состав, вводя добавки, которые в будущем смогут обеспечить

антибиокоррозионную защиту изделия [8]. Таким образом, поиск новых неагрессивных экологичных добавок, способных повысить сопротивляемость материалов на основе цементного камня к биокоррозии, представляется в значительной мере актуальной.

Добавки, способные предотвратить биологическую коррозию, можно классифицировать следующим образом:

По своей природе:

- химические: органические (фенолы, хлорфенолы, формалин, латексные биоциды, соли высших жирных аминов, полиалкилгуанидины) [9]
- неорганические (ионы металлов, оксидные фотокатализаторы).

По способу введения в состав цементной композиции:

- вносимые в объем цементного раствора, например, вместе с водой затворения;

- наносимые на поверхность затвердевшего изделия (разнообразные защитные покрытия, пропитки, лаки, краски, которые могут обеспечить как механическую изоляцию поверхности бетона от окружающей среды, так и содержать в своем составе активные соединения, препятствующие деструктивному воздействию микроорганизмов).

По механизму воздействия на микроорганизмы:

- биоциды (соединения, способствующие уничтожению микроорганизмов);

- биостатики (вещества, замедляющие рост микроорганизмов).

В настоящей статье представлен обзор существующих химических добавок к цементным системам, обладающих различными механизмами действия в отношении микроскопических грибов, заселяющих поверхность цементного камня, вызывая его механическое разрушение.

Среди неорганических веществ в качестве биоцидных добавок для цементных систем применяются частицы металлов (Cu, Ag) [10] и их оксиды: цинка [11-13], кремния [14] меди [15], серебра [16, 17], титана (IV) [18, 19].

Известны данные о биоцидной активности некоторых солей минеральных кислот, таких как сульфат натрия, фторид натрия [20], а также о совместном синергетическом влиянии компонентов комплексной добавки на основе сульфата натрия, и углеродных нанотрубок [21]. Углеродные нанотрубки (УНТ) - однослойные и многослойные цилиндрические структуры, представляющие собой одну из аллотропных модификаций углерода. При условии равномерного распределения в объеме цементной матрицы, что может быть обеспечено ультразвуковым диспергированием и использованием пластифицирующих агентов, УНТ улучшают прочность образцов цементного камня на растяжение и изгиб, обеспечивают формирование более плотной структуры с минимальным количеством пор [22, 23]. Синергетический эффект, видимо, заключается в том, что воздействие биоцидного компонента усиливается структурно-механическим фактором УНТ, заключающимся в уплотнении цементного камня, который становится более прочным, плотным и менее пористым, что минимизирует прорастание мицелия вглубь материала.

Активно применяются также различные органические добавки. Широко применяется для различных видов строительных материалов состав на основе полигексаметиленгуанидина стеарата, обладающего ярко выраженной фунгицидной активностью и пролонгированным действием [8, 20].

Авторы [24] предлагают применять в качестве биоцидного компонента для цементных систем 0,5% раствор глутарового альдегида. Введение добавки в указанном количестве способствует также проявлению улучшенных прочностных характеристик образцов в возрасте трёх суток.

Еще одним примером модифицирующей добавки для цементного камня можно назвать диоксид титана. TiO_2 кристаллизуется в трех аллотропных модификациях: анатаз, рутил и брукит. Известно, что диоксид титана в модификации анатаз обладает фотокаталитической активностью, то есть, под воздействием УФ-излучения на поверхности частиц анатаза формируются высокореакционные кислородосодержащие частицы-окислители (активные формы кислорода, АФК), такие, как гидроксильный радикал $\text{OH}\cdot$ и O_2^- , способные окислять некоторые соединения, например, органические загрязнители и оксиды азота до нетоксичных производных [25, 26]. Авторы статьи [27] провели ряд исследований, касающихся биоцидной активности TiO_2 относительно различных видов микроорганизмов (грам-положительный и грам-отрицательных бактерий, микроскопических грибов, водорослей и вирусов) и пришли к выводу, что биоцидное действие фотокатализатора проявляется в разрушении клеточных мембран микроорганизмов при контакте с частицами АФК. Однако, данный механизм достаточно точно подтверждён для бактерий, тогда как микроскопические грибы оказались более устойчивы к их воздействию [28].

Усилить фунгицидную активность оксида титана можно при помощи легирования его ионами металлов, например, железа, серебра и стронция [29]: АФК будут вырабатываться на поверхности частиц диоксида титана не только при ультрафиолетовом, но и при дневном освещении. Кроме этого, можно выбрать ионы, которые изначально будут обладать биоцидной активностью: это ионы меди, серебра и цинка. Известно, что висмут также обладает угнетающим действием в отношении кишечной палочки и золотистого стафилококка, и, возможно, окажет фунгицидное действие на микроскопические грибы. Таким образом, тонкодисперсный оксид титана, легированный висмутом, можно рассматривать в качестве перспективной биоцидной добавки к цементным системам.

Литература

1. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
2. Саидов Д.Х., Умаров У.Х. Влияние минерально-химических добавок на коррозионностойкость цементных бетонов с применением промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. №2. 2013. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634.
3. Строкова В.В., Нелюбова В.В., Сивальнева М.Н., Рыкунова М.Д., Шаповалов Н.А. Устойчивость вяжущих систем различного состава к действию плесневых грибов // Строительные материалы. 2020. № 11. С. 41-46. DOI:10.31659/0585-430X-2020-786-11-41-46.
4. Ilinskaya O., Bayazitova A., Yakovleva G. Biocorrosion of materials and sick building syndrome // Microbiology Australia. 2018. № 39. pp. 129-132. DOI: 10.1071/MA18040
5. Светлов Д. А. Микробиологическая коррозия строительных материалов // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6. № 4. С. 18. DOI: 10.15862/19SATS419.
6. Строганов В. Ф. Биоповреждение строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 5-9.
7. Сазанова К.В. Органические кислоты грибов и их эколого-физиологическое значение. Автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук. СПб, 2014. 159 с.
8. Родин А. И., Ерофеев В. Т., Пустовгар А. П., Еремин А.В., Пашкевич С.А., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Адамцевич А.О. Кинетика набора прочности биоцидных цементов // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 88-97.
9. Гаврильчик А.В. К вопросу о применении биоцидных добавок при изготовлении эффективных бетонных смесей и бетонов // Гродненский государственный университет им. Я. Купалы. С.41-42.

10. Sharafutdinov K.B, Saraykina K.A., Kashevarova G.G., Erofeev V.T. The Use of Copper Nanomodified Calcium Carbonate as a Bactericidal Additive for Concrete // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. 18(2). pp. 143–155. DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-2-143-155.

11. Schifano E., Cavallini D., Bellis G., Bracciale M.P, Felici A.C., Santarelli M.L., Sarto M.B. and Uccelletti D. Antibacterial Effect of Zinc Oxide-Based Nanomaterials on Environmental Biodeteriogens Affecting Historical Buildings // Nanomaterials 2020. 10(2):335. URL: mdpi.com/642476. DOI: 10.3390/nano10020335.

12. Mohsen A., Ramadan M., Gharieb M., Yahya A., Soltan A., Hazem M.M. Rheological behaviour, mechanical performance, and anti-fungal activity of OPC-granite waste composite modified with zinc oxide dust // Journal of Cleaner Production. 2022. Volume 341. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622005157](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622005157). DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130877.

13. Singh V.P., Sandeep K., Kushwaha H.S., Powar S., Vaish R. Photocatalytic, hydrophobic and antimicrobial characteristics of ZnO nano needle embedded cement composites // Construction and Building Materials. 2018. Volume 158. pp. 285-294. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.

14. Klapiszewska I., Parus A., Ławniczak L., Jesionowski T., Klapiszewski L., Ślosarczyk A. Production of antibacterial cement composites containing ZnO/lignin and ZnO–SiO₂/lignin hybrid admixtures // Cement and Concrete Composites. 2021. Volume 124. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946521003188](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946521003188). DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104250.

15. Grass G., Rensing Ch., Solioz M. Metallic Copper as an Antimicrobial Surface // Applied and environmental microbiology. 2010. Vol. 77. pp. 1541-1547. DOI: 10.1128/AEM.02766-10.

16. Григорьев А.И., Орлов О.И., Мауджери У.О., Джузеппе, Беклемышев В.И., Махонин И.И., Абрамян А.А., Солодовников В.А. Наноструктурная композиция биоцида. Патент на изобретение № 2 407 289 С1 // заявл. 13.05.2009: опубл. 27.12.2010. URL: elibrary.ru/item.asp?id=37709130.

17. Просеков А.Ю., Дышлок Л.С., Иванова С.А., Сухих С.А., Васильченко Н.В. Композиция для защиты строительных материалов от биоповреждений. Патент на изобретение № 2700066 С1 // заявл. 29.10.2018: опубл. 12.09.2019 . URL: elibrary.ru/item.asp?id=40881471.

18. Bond J. Antimicrobial compositions and methods. Patent US № 20160143292A1 // 2016. URL: patents.google.com/patent/US20160143294.

19. Ganji N., Allahverdi A., Naeimpoor F., M.Mahinroosta. Photocatalytic effect of nano-TiO₂ loaded cement on dye decolorization and Escherichia coli inactivation under UV irradiation. Research on Chemical Intermediates. 2016. 42. pp. 5395–5412. DOI: 10.1007/s11164-015-2374-x.

20. Ерофеев В. Т., Родин А. И., Богатов А. Д., Казначеев С. В., Смирнов В. Ф., Светлов Д. А. Физико-механические свойства и биостойкость цементов, модифицированных серноокислым натрием, фтористым натрием и полигексаметиленгуанидин стеаратом // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 7. Ч. 2. С. 292-310.

21. Сураева Е.Н., Ерофеев В.Т., Королев Е.В. Исследование биостойких сухих строительных смесей, модифицированных нанотрубками углерода // Вестник МГСУ. 2015. № 4. с. 104—114.

22. Козлова, И. В. Структурные модели и механизм влияния стабилизированных суспензий нано- и ультрадисперсных добавок на

свойства цементных композиций : специальность 05.16.09
"Материаловедение (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук / Козлова Ирина Васильевна. –
Москва, 2017. – 22 с. – EDN ZQETKP.

23. Ляшенко В.А., Перфилов Д.А., Весова Л.М. Мелкозернистый наномодифицированный бетон // Инженерный вестник Дона. 2022 №10.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7928.

24. Strokova V.V., Le Saoutb G., Nelubova V.V., Ogurtsova Y.N.
Composition and properties of cement system with glutaraldehyde // Magazine of
Civil Engineering. 2021. 103(3). URL: hal.archives-ouvertes.fr/hal-03211067. DOI:
10.34910/MCE.103.7.

25. Строчкова В. В., Антоненко М. В., Огурцова Ю. Н., Губарева Е. Н.
Вяжущее с фотокаталитическим композиционным материалом // Белгород :
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.
Шухова. 2021. 115 с.

26. Хела Р., Боднарлова Л. Исследование возможности тестирования
эффективности фотокатализа TiO_2 в бетоне // Строительные материалы. 2015.
с. 77-81.

27. Foster H.A., Ditta I.B., Varghese S. et al. Photocatalytic disinfection
using titanium dioxide: spectrum and mechanism of antimicrobial activity // Appl.
Microbiol. Biotechnol. 2011. 90, 1847–1868. DOI: 10.1007/s00253-011-3213-7.

28. Giannantonio D, Kurth J.C., Kurtis K.E., Sobecky P.A. Effects of
concrete properties and nutrients on fungal colonization and fouling // International
Biodeterioration and Biodegradation. 2009. Volume 63(3). pp. 252-259. DOI:
10.1016/j.ibiod.2008.10.002.

29. Russa M., Macchia A., Ruffolo S.A., Leo F., Barberio M., Barone P.,
Crisci G.M., Urzi C. Testing the antibacterial activity of doped TiO_2 for preventing
biodeterioration of cultural heritage building materials // International

Biodeterioration & Biodegradation. 2014. Volume 96. pp. 87-96. DOI: 10.1016/j.ibiod.2014.10.002.

References

1. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Korrozija betona i zhelezobetona. Metody ih zashhity [Corrosion of concrete and reinforced concrete. Methods of their protection]. Moskva: Strojizdat. 1980. 536 p.
2. Saidov D.H., Umarov U.H. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634.
3. Stokova V.V., Neljubova V.V., Sival'neva M.N., Rykunova M.D., Shapovalov N.A. Stroitel'nye materialy. 2020. № 11. pp. 41-46. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-786-11-41-46.
4. Ilinskaya O., Bayazitova A., Yakovleva G. Microbiology Australia. 2018. № 39. pp. 129-132. DOI: 10.1071/MA18040.
5. Svetlov D. A. Transportnye sooruzhenija. 2019. № 4 (6). pp. 18. DOI: 10.15862/19SATS419.
6. Stroganov V. F. Stroitel'nye materialy. 2015. № 5. pp. 5-9.
7. Sazanova K.V. Organicheskie kisloty gribov i ih jekologo-fiziologicheskoe znachenie. Avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk [Organic acids of fungi and their ecological and physiological significance. Abstract for the degree of Candidate of Biological Sciences]. Sankt-Peterburg, 2014. 159 p.
8. Rodin A. I., Erofeev V. T., Pustovgar A. P., Eremin A.V., Pashkevich S.A., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V., Adamcevic A.O. Vestnik MGSU. 2014. № 12. pp. 88-97.
9. Gavril'chik A.V. Grodnenskij gosudarstvennyj universitet im. Ja. Kupaly. pp.41-42.

10. Sharafutdinov K.B, Saraykina K.A., Kashevarova G.G., Erofeev V.T. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. №18(2). pp. 143–155. DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-2-143-15.

11. Schifano E., Cavallini D., Bellis G., Bracciale M.P, Felici A.C., Santarelli M.L., Sarto M.B., Uccelletti D. Nanomaterials 2020. №10(2):335. URL: mdpi.com/642476. DOI: 10.3390/nano10020335.

12. Mohsen A., Ramadan M., Gharieb M., Yahya A., Soltan A., Hazem M.M. Journal of Cleaner Production. 2022. Volume 341. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622005157. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130877.

13. Singh V.P., Sandeep K., Kushwaha H.S., Powar S., Vaish R. Construction and Building Materials. 2018. Volume 158, pp. 285-294. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.

14. Klapiszewska I., Parus A., Ławniczak L., Jesionowski T., Klapiszewski L., Ślosarczyk A. Cement and Concrete Composites. 2021. Volume 124. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946521003188. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104250.

15. Grass G., Rensing Ch., Solioz M. Applied and environmental microbiology. 2010. Vol. 77. pp. 1541-1547. DOI: 10.1128/AEM.02766-10.

16. Grigor'ev A.I., Orlov O.I., Maudzheri U.O., Dzhuzeppe, Beklemyshev V.I., Mahonin I.I., Abramjan A.A., Solodovnikov V.A. Nanostrukturnaja kompozicija biocida [Nanostructural composition of biocide]. Patent № 2 407 289. 2010. URL: elibrary.ru/item.asp?id=37709130.

17. Prosekov A.Ju., Dyshljuk L.S., Ivanova S.A., Suhih S.A., Vasil'chenko N.V. Kompozicija dlja zashhity stroitel'nyh materialov ot biopovrezhdenij [Composition for the protection of building materials from bio-deterioration]. Patent № 2700066 C1. 2019. URL: elibrary.ru/item.asp?id=40881471.

18. Bond J. Antimicrobial compositions and methods. Patent US № 20160143292A1. 2016. URL: patents.google.com/patent/US20160143294.

19. Ganji N., Allahverdi A., Naeimpoor F., M.Mahinroosta. Research on Chemical Intermediates. 2016. 42. pp. 5395–5412. DOI: 10.1007/s11164-015-2374-x.

20. Erofeev V. T., Rodin A. I., Bogatov A. D., Kaznacheev S. V., Smirnov V. F., Svetlov D. A. Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. 2013. 7(2). pp. 292-310.

21. Suraeva E.N., Erofeev V.T., Korolev E.V. Vestnik MGSU. 2015. № 4. pp. 104—114.

22. Kozlova, I. V. Strukturnye modeli i mehanizm vlijaniya stabilizirovannyh suspenzij nano- i ul'tradispersnyh dobavok na svojstva cementnyh kompozicij : special'nost' 05.16.09 "Materialovedenie (po otrasljam)" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. [Structural models and mechanism of influence of stabilized suspensions of nano- and ultrafine admixtures on the properties of cement compositions: specialty 05.16.09 "Materials Science": abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences]. Kozlova Irina Vasil'evna. Moskva, 2017. 22 p.

23. Ljashenko V.A., Perfilov D.A., Vesova L.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7928.

24. Strokova V.V., Le Saoutb G., Nelubova V.V., Ogurtsova Y.N. Magazine of Civil Engineering. 2021. 103(3). URL: hal.archives-ouvertes.fr/hal-03211067. DOI: 10.34910/MCE.103.7.

25. Strokova V. V., Antonenko M. V., Ogurtsova Ju. N., Gubareva E. N. Vjazhushhee s fotokataliticheskim kompozicionnym materialom [Binder with photocatalytic composite material]. Belgorod: Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova. 2021. 115 p.

26. Hela R., Bodnarova L. Stroitel'nye materialy. 2015. p. 77-81.



27. Foster H.A., Ditta I.B., Varghese S., Steele A. Applied Microbiology and Biotechnology. 2011. 90. pp. 1847–1868. DOI: 10.1007/s00253-011-3213-7.
28. Giannantonio D, Kurth J.C., Kurtis K.E., Sobecky P.A. International Biodeterioration and Biodegradation. 2009. 63(3). pp. 252-259. DOI: 10.1016/j.ibiod.2008.10.002.
29. Russa M., Macchia A., Ruffolo S.A., Leo F., Barberio M., Barone P., Crisci G.M., Urzi C. International Biodeterioration and Biodegradation. 2014. 96. pp. 87-96. DOI: 10.1016/j.ibiod.2014.10.002.