

## Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов

*Д.т.н., профессор В.Т. Ерофеев;*

*к.т.н., доцент А.Д. Богатов;*

*к.т.н., доцент С.Н. Богатова\*;*

*к.т.н., доцент С.В. Казначеев,*

*ФГБОУ ВПО Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева;*

*д.б.н., профессор В.Ф. Смирнов,*

*ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*

**Ключевые слова:** бой стекла; цемент; эпоксидная смола; жидкое стекло; биологическое сопротивление; потенциальные биодеструкторы

Прогрессирующая индустриализация производства приводит к таким изменениям биосферы, которые всему живому, в большинстве своем, противопоказаны. В связи с этим все большую актуальность приобретает проблема снижения неблагоприятного воздействия человека на естественную среду его обитания. В последние годы отмечается рост разнообразия и численности микроорганизмов, вызывающих биопоражение материалов и сооружений. Внедрение новых материалов в строительство лишь на первых порах способствует ограничению этого вида разрушения. Биоразрушениям подвержены практически все материалы: металлические, каменные, бетонные и т. д. [1]. Поэтому исследования биодеградации и биологического сопротивления строительных материалов, которые в процессе эксплуатации подвергаются разрушающему действию различных живых организмов, являются актуальными.

Наибольший успех достигнут микробиологами в изучении механизма коррозии бетонных канализационных труб, где ведущим фактором единодушно признаются микроорганизмы [2, 3]. Первичным коррозионным агентом является сероводород ( $H_2S$ ), образуемый главным образом сульфатредуцирующими бактериями. На второй стадии действуют аэробные тионовые бактерии, окисляющие сероводород и другие серосодержащие соединения (тиосульфат, политионаты, серу) до серной кислоты.

А. М. Рожанской [4] были проанализированы 89 образцов корродированных железобетонных конструкций, отобранных на Кировоградском, Каменец-Подольском и Киевском мясокомбинатах. Было установлено присутствие на них аммонифицирующих, нитрифицирующих, денитрифицирующих, тионовых и сульфатредуцирующих бактерий. Наибольшую опасность для данных конструкций, по мнению авторов, представляют тионовые и сульфатредуцирующие бактерии. Ю. И. Орловский и др. [5] исследовали биоповреждение серных бетонов и установили, что коррозию в них вызывают тионовые бактерии, относящиеся к роду *Thiobacillus*. В работах А. В. Чуйко [6, 7] отмечается интенсивное, за 2-3 месяца эксплуатации, биоповреждение асфальтобетонных полов в жировых цехах мясокомбинатов. Э. З. Коваль и др. [8] из разрушающихся участков бетонных и железобетонных конструкций хлебозавода и мясокомбината выделили 23 вида микромицетов, среди которых доминировали представители *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Paecilomyces varioti*, *Penicillium expansum*, *Cladosporium cladosporoides*. Доказано их участие в процессе деструкции, которое проявлялось в снижении поверхностной прочности бетона на 35-43 %.

З. А. Турковой [9] был сделан анализ микрофлоры, развивающейся в процессе эксплуатации строительных материалов на минеральной основе в условиях умеренного климата. Были обнаружены формы плесневых грибов, типичные для засоленных и щелочных почв: *Aspergillus melleus*, *Penicillium coriifillum*, *P. chrysogenum*, *P. notatum*, *P. cyclopium*, что, по предположению автора, может быть обусловлено спецификой состава исследуемых материалов, содержащих окислы щелочных металлов.

Учеными Мордовского государственного университета также проводятся многочисленные исследования, направленные на изучение микробиологической коррозии различных строительных материалов и определение способов борьбы с ней [1, 10-16].

Как показывает статистика, из различных видов микроорганизмов наибольшее повреждающее воздействие на промышленные и строительные материалы оказывают мицелиальные грибы [10-13]. Их высокая деструктивная активность обусловлена способностью адаптироваться к материалам различной химической природы, что связано, прежде всего, с Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов

наличием у них хорошо развитого, мощного и мобильного ферментного комплекса. Метаболические особенности грибов, вызывающих повреждения, заключаются в том, что они обладают системами высокоактивных окислительных, гликолитических и других более или менее специфических ферментов, осуществляющих разнообразные химические превращения сложных субстратов. Расщепление таких субстратов может происходить путем окисления, гидроксирования, разрыва кольца и двойных связей в циклических соединениях, трансформации молекул и соединений, биохимического синтеза и другими путями.

В настоящее время у нас в стране и за рубежом проводятся исследования микробиологической стойкости конструкционных строительных материалов на неорганических и органических связующих [14-18]. Так, например, разрушающее действие микромицетов на каменные строительные материалы, в том числе бетон, обусловлено, по мнению целого ряда авторов, агрессивным воздействием метаболитов грибов (органических кислот, окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов) на отдельные компоненты материалов [19-22]. Такие кислоты, как лимонная и щавелевая, могут накапливаться грибами в большом количестве (до 10 %) [19]. Установлено, что штамм *Aspergillus niger* продуцирует глюконовую и щавелевую кислоты, которые после 11 месяцев контакта вызывают увеличение пористости и потерю связывающей способности цемента [22]. Другой штамм – *Mycelia sterila* продуцирует глюконовую и малоновую кислоты, контакт с которыми приводит к таким же изменениям качества цемента. Максимальное продуцирование кислот культурами грибов происходит при высоких температурах и низких значениях pH [22].

Стойкость цементных бетонов в условиях воздействия биологических сред во многом определяется пористостью материала, при увеличении которой повышается его проницаемость для микроорганизмов, и в результате снижается прочность композитов. Результаты исследований биологического сопротивления связующих на основе боя стекла показали [13, 14], что компоненты связующих не обладают фунгицидными свойствами, однако известняк, молотые стекло, керамзит и полуводный гипс грибостойки. За счет того, что затворение осуществляется щелочным раствором, pH среды возрастает до значений, неблагоприятных для роста и размножения микроорганизмов, что значительно повышает биологическое сопротивление композиций.

Синтетические полимеры и материалы на их основе существенно превосходят по биостойкости природные полимеры (целлюлозу, коллаген и др.) и такие материалы, как древесина, бумага, хлопчатобумажные ткани и др. Однако полимерные материалы в определенных условиях эксплуатации повреждаются биологическими агентами, основными среди которых являются микроскопические грибы. Чаще всего на них встречаются *Aspergillus flavus*, *A. versicolor*, *A. niger*, *Penicillium funiculosum*, *P. brevicompactum*, *P. lanosum*, *P. commune*, *P. cyclopium*, *Paecilomyces varioti*, *Trichoderma lignorum*, *Alternaria alternata*, *Chaetominum globosum*, *Fusarium oxysporum* [12, 23].

В строительных материалах могут одновременно существовать грибы от двух до двенадцати видов. Плесневые грибы попадают в них при изготовлении, хранении и эксплуатации, способны длительно сохраняться, а при благоприятных условиях и размножаться.

Развитие и жизнедеятельность микроорганизмов тесно связаны с условиями среды, в которой они обитают. Внешняя среда может стимулировать или подавлять рост биодеструкторов. Разрушения материалов грибами зависят от их состава. В первую очередь повреждаются материалы, содержащие питательные вещества для грибов. Органические соединения, которые служат источниками питания для грибов, входят в состав многих строительных и промышленных материалов, что и является причиной их заселения грибами. Кроме того, источником органических веществ могут служить различного рода загрязнения, попадающие на материалы, которые по своему химическому составу не могут служить источниками энергии и углерода (металлы, полимеры и др.).

### Цель и задачи исследований

Целью наших исследований является установление влияния условий эксплуатации на биологическую стойкость строительных материалов.

Основные задачи исследования формулируются следующим образом:

- определение грибостойкости и фунгицидных свойств строительных материалов;
- исследование изменения прочности при сжатии вяжущих во времени после воздействия мицелиальных грибов в присутствии питательной среды Чапека–Докса;

- выявление потенциальных биодеструкторов вяжущих после выдерживания в воздушно-сухих условиях в течение длительного времени;
- выявление потенциальных биодеструкторов вяжущих после выдерживания в свиноводческих и птицеводческих зданиях, в картофелехранилище и солодовенном цехе пивного производства, расположенных на территории Республики Мордовия.

### Лабораторные исследования

На начальном этапе была определена стойкость композитов на основе различных видов вяжущих в условиях воздействия мицелиальных грибов. Испытания материалов проводились в соответствии с ГОСТ 9.049–91 по двум методам: 1 (без дополнительных источников питания) и 3 (с применением твердой питательной среды Чапека–Докса). Сущность заключалась в выдерживании материалов, зараженных спорами плесневых грибов, в оптимальных для их развития условиях с последующей оценкой грибостойкости и фунгицидности образцов. Методом 1 устанавливалось, является ли материал питательной средой для микромицетов. Методом 3 определялись наличие у материала фунгицидных свойств и влияние внешних загрязнений на его грибостойкость. Твердая питательная среда состояла из следующих компонентов:  $\text{NaNO}_3$  – 2,0 г;  $\text{KCl}$  – 0,5 г;  $\text{MgSO}_4$  – 0,5 г;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,3 г;  $\text{FeSO}_4$  – 0,01 г; сахароза – 30 г; агар – 20 г; вода дистиллированная 1 л.

В табл. 1 приведены результаты исследований, показывающие кинетику изменения биологической стойкости композитов на основе различных видов вяжущих после выдерживания в воздушно-сухих условиях в течение трех и двенадцати месяцев, а также количественные показатели их биостойкости после длительного выдерживания в постоянно действующей питательной среде во время испытаний.

**Таблица 1. Результаты исследования биостойкости вяжущих**

| Наименование материала   | Метод 1 | Метод 3            | Результат    |
|--|---------|--------------------|--------------|
| <i>после набора марочной прочности</i>   |         |                    |              |
| Стеклощелочное вяжущее   | 0       | 0 ( $R^* = 45$ мм) | фунгициден   |
| Портландцементный камень   | 0       | 3                  | грибостоек   |
| Гипсовый камень  | 4       | 5                  | негрибостоек |
| Отвержденная эпоксидная смола  | 2       | 5                  | грибостоек   |
| <i>после выдерживания в течение 3 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>        |         |                    |              |
| Стеклощелочное вяжущее   | 0       | 0 ( $R = 15$ мм)   | фунгициден   |
| Портландцементный камень   | 0       | 3                  | грибостоек   |
| Гипсовый камень  | 4       | 5                  | негрибостоек |
| Отвержденная эпоксидная смола  | 2       | 5                  | грибостоек   |
| <i>после выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>       |         |                    |              |
| Стеклощелочное вяжущее   | 0       | 2                  | грибостоек   |
| Портландцементный камень   | 0       | 4                  | грибостоек   |
| Гипсовый камень  | 4       | 5                  | негрибостоек |
| Отвержденная эпоксидная смола  | 4       | 5                  | негрибостоек |
| <i>после выдерживания в течение 3 месяцев в питательной среде Чапека–Докса</i> |         |                    |              |
| Стеклощелочное вяжущее   | –       | 1                  | фунгициден   |
| Портландцементный камень   | –       | 5                  | нефунгициден |
| Гипсовый камень  | –       | 5                  | нефунгициден |
| Отвержденная эпоксидная смола  | –       | 5                  | нефунгициден |

\*R – радиус зоны ингибирования роста грибов

Результаты, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что после набора марочной прочности только образцы стеклощелочного вяжущего обладают фунгицидными свойствами. Высокая биостойкость вяжущего на основе боя стекла объясняется повышенным уровнем основности системы. Старение материалов уменьшает их биостойкость, так, например, у образцов стеклощелочного вяжущего радиус зоны ингибирования роста грибов снижается, а отвержденная эпоксидная смола становится негрибостойкой. Выдерживание материалов в условиях биологического воздействия при наличии питательной среды для мицелиальных грибов способствует росту биообрастания.

Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов

Значительный интерес представляет установление процессов изменения свойств материалов при воздействии мицелиальных грибов в присутствии питательной среды Чапека–Докса. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Изменение прочности при сжатии вяжущих после воздействия мицелиальных грибов в присутствии питательной среды Чапека–Докса**

| Наименование материала        | Относительная прочность при сжатии, усл. ед.,<br>при длительности выдерживания, мес. |      |      |      |      |
|-------------------------------|--|------|------|------|------|
|                               | 0  | 1    | 3    | 6    | 12   |
| Стеклощелочное вяжущее        | 1  | 0,9  | 0,86 | 0,82 | 0,8  |
| Портландцементный камень      | 1  | 1,1  | 1,08 | 1    | 0,98 |
| Гипсовый камень               | 1  | 0,97 | 0,95 | 0,78 | 0,7  |
| Отвержденная эпоксидная смола | 1  | 1,15 | 1,0  | 0,92 | 0,87 |

Экспериментальные исследования поведения композиционных строительных материалов в условиях воздействия микроскопических организмов показали снижение прочностных показателей и изменение массосодержания композитов на цементных, гипсовых, стеклощелочных и полимерных связующих [10]. Из результатов изменения массосодержания следует, что взаимодействие материалов с микроорганизмами и продуктами их метаболизма протекает по различным механизмам. Так, композиты на цементных и гипсовых связующих характеризуются уменьшением, а материалы на полимерных связующих – увеличением массосодержания. Эти данные подтверждают, что при биодegradации интенсивность коррозионных разрушений протекает аналогично деградации от химически агрессивных сред и определяется скоростью химических реакций на поверхности материала, внутренней диффузией микроорганизмов и продуктов их метаболизма в структуру материала и прохождением при этом химических реакций. Только в этом случае следует дополнительно учитывать характер взаимодействия микроорганизмов с компонентами материала.

С целью выявления потенциальных биодеструкторов вяжущих после выдерживания в воздушно-сухих условиях были проведены исследования по определению видового состава микроорганизмов, заселяющих их. Задачей исследований являлось установление количества родов грибов из присутствующих в воздухе помещения, способных использовать вяжущие вещества в качестве источника питания, а также определение конкретных видов – представителей данного рода. Видовой состав грибов приведен в табл. 3.

После выдерживания в течение 3 месяцев в образцах на портландцементе обнаружен 1 род гриба – *Aspergillus ustus*, в гипсовом камне – 5 родов грибов (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Chaetomium*, *Verticillium*). Увеличение срока выдерживания образцов способствовало расширению видового состава грибов. Из табл. 3 видно, что количество грибов, которые были обнаружены на поверхностях исследуемых составов после выдерживания в воздушно-сухих условиях в течение 12 месяцев, резко увеличилось. На стеклощелочном вяжущем при выдерживании в нормальных условиях в течение 3 месяцев колонии грибов не обнаружены, а после 12 месяцев колонии грибов хотя и имеются на образцах, но развиваются медленно и находятся в угнетенном состоянии.

**Таблица 3. Видовой состав колоний грибов, заселяющих вяжущие**

| Наименование материала  | Виды грибов  | Общее количество видов грибов / количество родов |
|---|--|--|
| <i>после выдерживания в течение 3 месяцев в воздушно-сухих условиях</i> |  |  |
| Стеклощелочное вяжущее  | Грибов нет   | 0  |
| Портландцементный камень  | <i>Aspergillus ustus</i>   | 1/1  |
| Гипсовый камень   | <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Penicillium nigricans</i> , <i>Mucor corticola</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Verticillium nigrescens</i> | 5/5  |
| Отвержденная эпоксидная смола   | <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Penicillium nigricans</i> , <i>Mucor corticola</i>                                    | 4/3  |

| Наименование материала   | Виды грибов   | Общее количество видов грибов / количество родов |
|--|---|--|
| <i>после выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях</i> |   |  |
| Стеклощелочное вяжущее   | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Penicillium notatum, Penicillium claviforme, Penicillium cyclopium, Penicillium ochrochloron, Penicillium nigricans, Fusarium moniliforme, Cladosporium elatum</i>   | 9/4  |
| Портландцементный камень   | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Alternaria brassicae, Cladosporium elatum</i>  | 4/3  |
| Гипсовый камень  | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus fumigatus, Aspergillus clavatus, Aspergillus oryzae, Penicillium notatum, Cladosporium elatum, Fusarium sambucinum, Chaetomium dolichotrichum, Mucor corticola, Mucor circinelloides, Alternaria brassicae</i> | 12/7   |
| Отвержденная эпоксидная смола  | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus fumigatus, Aspergillus ruber, Penicillium notatum, Alternaria brassicae, Alternaria pluriseptata, Fusarium moniliforme, Cladosporium elatum</i>  | 9/5  |

В этой связи применение стеклощелочных композитов в зданиях с биологически активными средами является наиболее предпочтительным, т. к. в этом случае наряду с повышением долговечности конструкций и изделий улучшается экологическая ситуация в зданиях и сооружениях. Поселяясь на поверхности строительных материалов и конструкций, микроорганизмы приводят к возникновению запаха плесени в помещениях и выделяют токсичные продукты, аллергены [11]. Развиваясь на материалах, грибы выделяют массу спор и различных продуктов жизнедеятельности, которые способны вызывать ряд серьезных заболеваний человека.

### Натурные испытания

Интенсивное развитие коррозии строительных композитов наблюдается в условиях техногенных сред на предприятиях агропромышленного комплекса (мясокомбинатах, молоко-, хлебо- и винозаводах, птицефабриках, животноводческих фермах и др.) [1]. Высокая влажность воздуха, наличие органических веществ (белков, жиров, углеводов и продуктов их гидролиза), мочевины, аммиака, углекислого газа, растворов солей создают благоприятные условия для интенсивного развития активных в коррозионном отношении микроорганизмов. При этом совмещаются процессы химической коррозии в результате воздействия агрессивных веществ, содержащихся в контактирующей со строительным материалом среде (моче, крови, молоке, жире, вине и т. д.), с биологической коррозией вследствие выделения органических веществ, аминокислот, ферментов и других продуктов метаболизма микроорганизмов, развивающихся на поверхности материалов.

Одна из весомых причин появления и развития биоповреждений строений – конденсационные процессы. Конденсат может образовываться не только на поверхности материалов, но и внутри них. Условия повышенного влагосодержания внутренних поверхностей помещений при сопутствующих колебаниях температуры неизбежно приводят к повреждению материалов.

Промышленные отходы, газовые выбросы, сточные воды, высолообразование на стеновых ограждающих конструкциях, пониженное теплосопротивление стеновых материалов с аномалией образования «точки росы» внутри структуры материала способны инициировать развитие коррозионных процессов строительных материалов несущих конструкций, а также защитных и декоративно-отделочных материалов [1].

С целью выявления потенциальных биодеструкторов вяжущих, эксплуатирующихся в свиноводческих и птицеводческих зданиях, в картофелехранилище и солодовенном цехе пивного производства, расположенных на территории Республики Мордовия, были проведены исследования по определению видового состава микроорганизмов, заселяющих их. Эксперимент проводился в натуральных условиях в течение 6 месяцев. Результаты исследований приведены в табл. 4.

К родам грибов, обнаруженных на исследуемых материалах при их эксплуатации во всех вышеназванных условиях, относятся *Aspergillus*, *Penicillium* и *Mucor*. При этом преобладают в значительной степени рода *Aspergillus* и *Penicillium*. Многолетние исследования в области биологической стойкости композиционных строительных материалов свидетельствуют о том, что

Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов



из большого многообразия микроскопических организмов наибольший вред промышленным и строительным материалам, изделиям и конструкциям приносят грибы видов *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum* [11].

**Таблица 4. Видовой состав колоний грибов, заселяющих вяжущие вещества**

| Наименование материала          | Виды грибов  | Общее количество видов грибов / количество родов |
|---------------------------------|--|--|
| 1                               | 2  | 3  |
| <i>Свиноводческое помещение</i> |  |  |
| Стеклощелочное вяжущее          | <i>Aspergillus ustus, Aspergillus versicolor, Aspergillus rubber, Penicillium nigricans, Penicillium tardum, Penicillium cyclopium, Alternaria dianthi, Alternaria alternate, Mucor hiemalis, Fusarium heterosporum, Fusarium sambucinum, Chaetomium globosum, Paecilomyces variotii</i>   | 13/7   |
| Портландцементный камень        | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus fumigatus, Aspergillus clavatus, Aspergillus terreus, Aspergillus oryzae, Aspergillus penicilloides, Penicillium godlewskii, Penicillium cyclopium, Penicillium urticae, Alternaria alternate, Alternaria dianthi, Mucor corticola, Mucor circinelloides, Mucor hiemalis, Cladosporium elatum, Cladosporium macrocarpum, Fusarium avenaceum, Rhizopus cohnii, Chaetomium dolichotrichum</i>   | 20/8   |
| Гипсовый камень                 | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus sydowi, Aspergillus oryzae, Aspergillus nidulans, Aspergillus terreus, Penicillium claviforme, Penicillium godlewskii, Penicillium cyclopium, Penicillium lanosum, Penicillium notatum, Penicillium expansum, Penicillium meleagrinum, Mucor corticola, Mucor circinelloides, Fusarium avenaceum, Fusarium sambucinum, Alternaria alternate, Alternaria pluriseptata, Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium bostrychodes, Trichoderma koningii, Cladosporium macrocarpum, Cladosporium elatum</i> | 25/8   |
| Отвержденная эпоксидная смола   | <i>Aspergillus niger, Aspergillus oryzae, Aspergillus nidulans, Aspergillus ustus, Aspergillus sydowi, Mucor corticola, Mucor hiemalis, Mucor circinelloides, Cladosporium macrocarpum, Penicillium godlewskii, Penicillium cyclopium, Penicillium claviforme, Penicillium notatum, Penicillium corylophilum, Chaetomium dolichotrichum</i>  | 15/5   |
| <i>Птицеводческое помещение</i> |  |  |
| Стеклощелочное вяжущее          | <i>Aspergillus ustus, Aspergillus versicolor, Penicillium nigricans, Penicillium cyclopium, Penicillium claviforme, Penicillium godlewskii, Mucor hiemalis, Mucor corticola, Cladosporium macrocarpum, Cladosporium elatum, Alternaria brassicae, Alternaria pluriseptata, Chaetomium globosum</i>   | 13/6   |
| Портландцементный камень        | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus oryzae, Aspergillus sydowi, Penicillium godlewskii, Penicillium cyclopium, Penicillium expansum, Penicillium nigricans, Penicillium corylophilum, Penicillium notatum, Penicillium chrysogenum, Penicillium claviforme, Mucor corticola, Mucor hiemalis, Alternaria alternate, Alternaria pluriseptata, Alternaria brassicae, Cladosporium macrocarpum, Cladosporium herbarum, Chaetomium dolichotrichum, Fusarium sambucinum</i>   | 21/7   |
| Гипсовый камень                 | <i>Aspergillus ustus, Aspergillus niger, Aspergillus rubber, Aspergillus clavatus, Aspergillus penicilloides, Penicillium godlewskii, Penicillium nigricans, Penicillium lanosum, Penicillium cyclopium, Mucor corticola, Mucor circinelloides, Alternaria alternate, Alternaria brassicae, Cladosporium macrocarpum, Cladosporium elatum, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium bostrychodes, Trichoderma viride, Paecilomyces variotii</i>   | 19/8   |

| Наименование материала   | Виды грибов   | Общее количество видов грибов / количество родов |
|--|---|--|
| 1  | 2   | 3  |
| Отвержденная эпоксидная смола                                  | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus sydowi, Aspergillus clavatus, Aspergillus fumigatus, Penicillium godlewskii, Penicillium notatum, Penicillium cyclopium, Penicillium chrysogenum, Penicillium corylophilum, Alternaria alternate, Alternaria dianthi, Cladosporium elatum, Cladosporium herbarum, Cladosporium macrocarpum, Mucor circinelloides, Mucor corticola, Trichoderma koningii</i>  | 18/6   |
| <i>Помещение для хранения картофеля</i>                        |   |  |
| Стеклощелочное вяжущее   | <i>Aspergillus penicilloides, Aspergillus sydowi, Aspergillus nidulans, Aspergillus versicolor, Aspergillus clavatus, Aspergillus oryzae, Aspergillus ustus, Aspergillus fumigatus, Penicillium canescens, Penicillium godlewskii, Penicillium lanosum, Penicillium nigricans, Penicillium cyclopium, Penicillium claviforme, Penicillium urticae, Fusarium heterosporum, Fusarium moniliforme, Fusarium sambucinum, Alternaria brassicae, Mucor circinelloides, Verticillium album, Cladosporium elatum, Cladosporium macrocarpum</i>  | 23/7   |
| Портландцементный камень                                       | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus sydowi, Penicillium corylophilum, Penicillium clavigerim, Penicillium urticae, Penicillium claviforme, Penicillium canescens, Penicillium godlewskii, Penicillium cyclopium, Mucor corticola, Mucor circinelloides, Cladosporium macrocarpum, Cladosporium elatum, Fusarium sambucinum, Trichoderma koningii, Trichoderma viride</i>   | 17/6   |
| Гипсовый камень  | <i>Aspergillus ustus, Aspergillus penicilloides, Aspergillus niger, Aspergillus clavatus, Aspergillus sydowi, Aspergillus fumigatus, Aspergillus nigricans, Penicillium lanosum, Penicillium oxalicum, Penicillium puberulum, Penicillium corylophilum, Penicillium canescens, Penicillium claviforme, Penicillium cyclopium, Alternaria alternate, Alternaria brassicae, Alternaria dianthi, Cladosporium macrocarpum, Cladosporium elatum, Paecilomyces variotii, Fusarium sambucinum, Fusarium avenaceum, Verticillium tenerum, Rhizopus cohnii, Trichoderma viride, Mucor corticola, Mucor hiemalis, Botrytis cinerea</i> | 28/11  |
| Отвержденная эпоксидная смола                                  | <i>Aspergillus ustus, Aspergillus penicilloides, Aspergillus fumigatus, Penicillium oxalicum, Penicillium nigricans, Penicillium godlewskii, Penicillium lanosum, Penicillium cyclopium, Penicillium corylophilum, Penicillium expansum, Penicillium claviforme, Penicillium meleagrinum, Alternaria brassicae, Fusarium moniliforme, Fusarium sambucinum, Fusarium avenaceum, Cladosporium macrocarpum, Cladosporium elatum, Trichoderma viride, Verticillium tenerum, Mucor corticola, Mucor hiemalis</i>   | 22/8   |
| <i>Солодовенный цех ОАО «САН ИнБев» (филиал в г. Саранске)</i> |   |  |
| Стеклощелочное вяжущее   | <i>Aspergillus ustus, Penicillium meleagrinum, Fusarium moniliforme, Alternaria alternata, Alternaria pluriseptata, Alternaria dianthi, Cladosporium sphaerospermum, Mucor corticola</i>  | 8/6  |
| Портландцементный камень                                       | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Penicillium meleagrinum, Alternaria pluriseptata, Alternaria dianthi, Alternaria brassicae, Fusarium avenaceum, Chaetomium dolichotrichum, Cladosporium sphaerospermum, Cladosporium cladosporioides, Mucor corticola</i>  | 11/7   |
| Гипсовый камень  | <i>Aspergillus terreus, Aspergillus fumigatus, Fusarium moniliforme, Cladosporium cladosporioides, Cladosporium sphaerospermum, Cladosporium herbarum, Verticillium album, Mucor hiemalis, Mucor corticola, Mucor circinelloides</i>  | 10/5   |
| Отвержденная эпоксидная смола                                  | <i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus oryzae, Aspergillus clavatus, Penicillium notatum, Penicillium tardum, Penicillium claviforme, Alternaria alternata, Alternaria pluriseptata, Alternaria dianthi, Alternaria brassicae, Fusarium avenaceum, Fusarium moniliforme, Chaetomium dolichotrichum, Cladosporium cladosporioides, Cladosporium sphaerospermum</i>   | 16/6   |

Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов

Полученные результаты свидетельствуют о том, что только на образцах стеклощелочного вяжущего ни в одном из случаев не были обнаружены данные виды мицелиальных грибов. На поверхности гипсового камня при эксплуатации в свиноводческих и птицеводческих зданиях, в картофелехранилище обнаружен лишь *Aspergillus niger*. На поверхностях портландцементного камня и отвержденной эпоксидной смолы при эксплуатации в птицеводческом здании выявлены оба вида данных вредоносных грибов, а при выдерживании в солодовенном цехе пивного производства – *Aspergillus niger*.

### Выводы

В ходе проведенных исследований были получены следующие результаты:

- определены грибостойкость и фунгицидность стеклощелочного вяжущего, портландцементного камня, гипсового камня и отвержденной эпоксидной смолы; установлено, что образцы стеклощелочного вяжущего обладают фунгицидными свойствами;
- выявлены изменения прочности при сжатии вяжущих во времени после воздействия мицелиальных грибов в присутствии питательной среды Чапека–Докса, которые показали, что все исследуемые составы, кроме гипсового камня, устойчивы в исследуемой среде в течение 12 месяцев;
- определены потенциальные биодеструкторы вяжущих после выдерживания в воздушно-сухих условиях в течение длительного времени и установлено, что наиболее устойчивыми к воздействию микроорганизмов оказались образцы стеклощелочного связующего;
- выявлены потенциальные биодеструкторы вяжущих после выдерживания в свиноводческих и птицеводческих зданиях, в картофелехранилище и солодовенном цехе пивного производства, расположенных на территории Республики Мордовия и установлено, что только на образцах стеклощелочного вяжущего ни в одном из случаев не были обнаружены такие вредоносные виды грибов, как *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum*.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов подтвердили, что даже содержащиеся в воздухе помещений административных и гражданских зданий споры микроскопических грибов могут заселяться на их поверхностях и развиваться, используя имеющиеся на них загрязнения в качестве питательного субстрата. При наличии в зданиях и сооружениях биотехнологических производственных процессов развитие микроскопических организмов активизируется, а количество их родов и видов увеличивается. Это еще раз подтверждает необходимость избирательного подхода при выборе строительных материалов и защитных покрытий в зависимости от конкретных условий эксплуатации и проведения профилактических мероприятий, предотвращающих или сводящих к минимуму вероятность заселения их микроскопическими организмами.

Совокупность экстремальных изменений окружающей природной среды, проявляющая себя в виде различных процессов инфицирования населения и биодеградации материалов и строительных конструкций, представляет серьезную угрозу безопасности жизнедеятельности людей и препятствует внутригосударственным мерам по защите их здоровья [1]. Риск возникновения и развития биоповреждений следует исключить на самой ранней стадии, т. е. уже при проектировании строительных изделий и конструкций, так как внешне безобидные пятна плесени, разрушающие материалы, могут представлять серьезную опасность для людей и животных. Не исключено, что микроорганизмы, для которых питательной средой являются вещества, вредные для человека, находясь в ней, становятся значительно более вредными для человека и животных, чем сами эти вещества.

### Литература

1. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина / под ред. П. Г. Комохова, В. Т. Ерофеева, Г. Е. Афиногенова. СПб : Наука, 2010. 192 с.
2. Андрюк Е. И. Микробная коррозия и ее возбудители / Е. И. Андрюк, В. И. Билай, Э. З. Коваль и др. Киев: Наук. думка, 1980. 287 с.
3. Sand W., Bock E. Biodeterioration of concrete by thiobacilli and nitrifying bacteria // Mater. et Techn. 1990. Vol. 78. Pp. 70–72.

Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов



4. Рожанская А. М., Козлова И.А., Андреюк Е.И. Бициды в борьбе с коррозией бетона // Биоповреждения и защита материалов бицидами. 1988. С. 82–91.
5. Исследование местных строительных материалов: Сб. науч. тр. / Уфим. науч.-исслед. и конструкт. ин-т пром. стр-ва. Под ред. А. А. Орловской. Уфа, 1990. 94 с.
6. Чуйко А. В., Ромоданов А.Н. О коррозии бетона на мясоперерабатывающих предприятиях // Бетон и железобетон. 1963. №5. С. 219–221.
7. Чуйко А. В. Органогенная коррозия. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1978. 232 с.
8. Коваль Э. З., Сидоренко Л. П. Микодеструкторы промышленных материалов. Киев: Наук. думка, 1989. 192 с.
9. Туркова З. А. Микрофлора материалов на минеральной основе и вероятные механизмы их разрушения // Микология и фитопатология. 1974. Т. 8. Вып. 3. С. 219–226.
10. Соломатов В. И., Черкасов В. Д., Ерофеев В. Т. Строительные биотехнологии и биокомпозиты // МИИТ. 1998. 165 с.
11. Каневская И. Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. Л.: Наука, 1984. 230 с.
12. Ерофеев В. Т., Богатов А. Д., Богатова С. Н., Смирнов В. Ф., Захарова Е. А. Исследование биостойкости строительных материалов с учетом их старения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. №22(41). С. 73-78.
13. Ерофеев В. Т., Богатов А. Д., Богатова С. Н., Смирнов В. Ф. Влияние старения вяжущих на их биологическую стойкость // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. №2(14). С. 213-217.
14. Соломатов В. И., Ерофеев В. Т., Смирнов В. Ф. и др. Биологическое сопротивление материалов. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 196 с.
15. Биоповреждения и биокоррозия в строительстве. Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саранск, 2004. 256 с.
16. Биоповреждения и биокоррозия в строительстве. Материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Саранск, 2006. 288 с.
17. Анисимов А. А., Семичева А. С., Александрова И. Ф. и др. Биохимические аспекты проблемы защиты промышленных материалов от биоповреждений микроорганизмами // Актуальные проблемы биоповреждений. М., 1983. С. 77–101.
18. Горленко М. В. Некоторые биологические аспекты биодеструкции материалов и изделий // Биоповреждения в строительстве. 1984. С. 9–17.
19. Злочевская И. В. Биоповреждения каменных строительных материалов микроорганизмами и низшими растениями в атмосферных условиях // Биоповреждения в строительстве. 1984. С. 257–271.
20. Palmer R., Siebert J., Hirsch P. Biomass and organic acids in sandstone of a weathering building: production by bacterial and fungal isolates // Microbiol. Ecol. 1991. Vol. 21. № 3. Pp. 253–266.
21. Popescu A., Ionescu-Homoriceanu S. Biodeterioration aspects at a brick structure and bioprotection possibilities / A. Popescu // Ind. Ceram. 1991. Vol. 11, № 3. Pp. 128–130.
22. Perfettini I. V., Revertegat E., Hangomazino N. Evaluation of the cement degradation induced by the metabolic products of two fungal strains // Mater. et Techn. 1990. № 78. Pp. 59–64.
23. Haraguchi T., Hayashi E., Takahachi V. et al. Degradation of lignin-related polystyrene derivatives by soil microflora and micromonospora sp. // Proc. 4<sup>th</sup> Intern. Biodeterior. Symp. L., 1980. Pp. 123–126.

*\* Светлана Николаевна Богатова, г. Саранск, Россия*

*Тел. раб.: +7(8342)48-25-68; эл. почта: bogatovasn@mail.ru*

© Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф., 2012

doi: 10.5862/MCE.33.3

## Influence of the operational environment on biological firmness of building composites

V.T. Erofeev,  
A.D. Bogatov,  
S.N. Bogatova,  
S.V. Kaznacheev,  
Mordovian State University, Saransk, Russia

V.F. Smirnov,  
Nizhny Novgorod State University, N. Novgorod, Russia  
+7(8342)48-25-68; e-mail: protectfun@mail.ru

### Key words

breakage of glass; cement; epoxide resin; liquid glass; biological resistance; potential biological decomposers

### Abstract

In modern conditions durability and reliability of buildings are demanded more and more. According to it the special attention starts to be given to the danger of biological degradation of materials and constructions.

Microorganisms are capable to occupy the surfaces of all tested kinds of widely used binding agents. However, the specific and quantitative compositions of microorganisms are various under identical service conditions.

Having compared the quantity of kinds and types of the fungi developing on the samples of binders, it is possible to evaluate the efficiency of application of those or other building composites and to choose the most suitable materials for corresponding service conditions. It was experimentally shown that composites on a basis of alkaline glass binding agents possess the raised stability in the biologically corrosive environment.

### References

1. *Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot biopovrezhdeniy biotsidnymi preparatami na osnove guanidine* [Protection of buildings and constructions against biodamages by biocidal preparations on a basis of guanidine]. Edited by P. G. Komoxova, V. T. Yerofeeva, G. E. Afinigenova. Saint-Petersburg: Nauka, 2010. 192 p. (rus)
2. Andreyuk E. I. *Mikrobnaya korroziya i ee vzbuditeli* [Microbic corrosion and its activators]. E. I. Andreyuk, Bilay V. I., Koval E. Z. and others. Kiev: Nauk. dumka, 1980. 287 p. (rus)
3. Sand W. Biodeterioration of concrete by thiobacilli and nitroifying bacteria. W. Sand, E. Bock. *Mater. et Techn.* 1990. Vol. 78. Pp. 70–72.
4. Rozhanskaya A. M. *Biopovregdeniya i zashchita materialov biotsidami* [Biodamages and protection of materials by biocides]. 1988. Pp. 82–91. (rus)
5. *Issledovanie mestnykh stroitelnykh materialov* [Research of local construction materials]. Edited by A. A. Orlovskoy. Ufa, 1990. 94 p. (rus)
6. Chuyko A. V. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 1963. No. 5. Pp. 219–221. (rus)
7. Chuyko A. V. *Organogennaya korroziya* [Organogeny corrosion]. A. V. Chuyko. Saratov: Izd-vo Saratovskogo un-ta, 1978. 232 p. (rus)
8. Koval E. Z. *Mikodestruktory promyshlennykh materialov* [Mikodestruktors of industrial materials]. Kiev: Nauk. dumka, 1989. 192 p. (rus)
9. Turkowa Z. A. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology]. 1974. Vol. 8, No. 3. Pp. 219–226. (rus)
10. Solomatov V. I., Cherkasov V. D., Yerofeev V. T. *Stroitelnie biotexnologii i biokompositi* [Construction biotechnologies and biocomposites]. 1998. 165 p. (rus)
11. Kanevskaya I. G. *Biologicheskoe povregdenie promichlennykh materialov* [Biological damage of industrial materials]. Leningrad: Nauka, 1984. 230 p. (rus)

Erofeev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N., Kaznacheev S.V., Smirnov V.F. Influence of the operational environment on biological firmness of building composites

12. *Vestn. Volgograd. gos. arhitekturno-stroit. un-ta* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. 2011. No.22 (41). – Pp. 73-78. (rus)
13. Yerofeev V. T., Bogatov A. D., Bogatova S. N., Smirnov V. F. *Izvestiya Kazan. gos. arhitekturno-stroit. un-ta* [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2010. No. 2 (14). Pp. 213-217. (rus)
14. *Biologicheskoe soprotivlenie materialov* [Biological resistance of materials]. V.I. Solomatov, V.T. Yerofeev, V. F. Smirnov and others. Saransk, Publishers of the Mordovian university, 2001. 196 p. (rus)
15. *Biopovregdenie and biocorroziya v stroitelstve* [Biodamages and biocorrosion in building sphere]. Saransk, 2004. 256 p. (rus)
16. *Biopovregdenie i biocorroziya v stroitelstve* [Biodamages and biocorrosion in building sphere]. Saransk, 2006. 288 p. (rus)
17. *Aktualnie problemi biolopovregdenii* [Actual problems of biodamages]. 1983. Pp. 77–101. (rus)
18. Gorlenko M. V. *Biolopovregdeniya v stroitelstve* [Biodamages in building sphere]. 1984. Pp. 9–17. (rus)
19. Zlochevskaya I. V. *Biolopovregdenie v stroitelstve* [Biodamages in building sphere]. 1984. Pp. 257–271. (rus)
20. Palmer R., Siebert J., Hirsch P. Biomass and organic acids in sandstone of a weathering building: production by bacterial and fungal isolates. *Microbiol. Ecol.* 1991. Vol. 21. No. 3. Pp. 253–266.
21. Popescu A., Ionescu-Homoriceanu S. Biodeterioration aspects at a brick structure and bioprotection possibilities. *A. Popesc. Ind. Ceram.* 1991. Vol. 11. No. 3. Pp. 128–130.
22. Perfettini I. V., Revertegat E., Hangomazino N. Evaluation of the cement degradation induced by the metabolic products of two fungal strains. *Mater. et Techn.* 1990. No. 78. Pp. 59–64.
23. Haraguchi T., Hayashi E., Takahachi V. et al. Degradation of lignin-related polystyrene derivatives by soil microflora and micromonospora sp. *Proc. 4 Intern. Biodeterior. Symp. L.*, 1980. Pp. 123–126.

**Full text of this article in Russian: pp. 23-31**