

УДК 691.327:502

**ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ БИОКОРРОЗИИ  
ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ****А.А. ШАУРО***(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЁНОВА)*

*Отмечается комплексность воздействия биоорганизмов на цементные бетоны, включая механическое разрушение за счет разрастающегося мицелия, изменение упруго-прочностных свойств за счет выделения продуктов метаболизма агрессивных к бетону, использование микроорганизмами компонентов бетона в качестве источника энергии. Обобщены материалы исследований, посвященных рассмотрению особенностей протекания процессов биокоррозии цементных бетонов. Отмечено, что сульфат-редуцирующие бактерии приносят наибольший вред, поскольку сульфаты образуют этtringит и таумасит, ускоряющие разрушение цементных бетонов.*

**Введение.** Поражение плесневыми грибами не только старых, но и новых зданий является актуальной современной проблемой. Характерными проявлениями плесени является затхлый запах в помещениях, темные пятна на стенах и потолке в ванных комнатах, на оконных откосах, за шкафами и стенками, под подоконниками. Появление плесени может быть вызвано как объективными причинами (строительными дефектами, установкой пластиковых стеклопакетов в старых домах, нарушающих вентиляцию), так и неправильной эксплуатацией (искусственное создание высокой влажности, неправильный температурный режим отопления и плохое проветривание).

Идеальные условия для развития микроорганизмов на материалах – повышенная влажность воздуха выше 95%, относительно высокие температуры плюс 20° С и более, отсутствие вентиляции, обилие пыли и загрязнений органической природы. Основным фактором, способствующим развитию микроорганизмов на материалах, является вода. Причем влага может вноситься за счет самих микробных клеток, которые содержат ее 80% и более. При попадании спор на сырую поверхность они начинают интенсивно прорастать тончайшими нитями, образуя грибной мицелий.

Бетон является потенциально благоприятной средой обитания для микроорганизмов (бактерий, грибов, лишайников и т.д.), что оказывает влияние как декоративные свойства, так и на физико-механические свойства и срок их службы. Проблема борьбы с биокоррозией бетонов на сегодняшний день важна и актуальна. В связи с этим рассмотрение особенностей протекания процессов биологического разрушения бетонов является важной составляющей в поиске наиболее эффективных средств защиты.

**Основная часть.** При воздействии биоорганизмов разрушение строительных материалов носит более сложный характер, чем при воздействии чисто химических сред. Так, например, в результате действия грибов может происходить механическое разрушение за счет разрастающегося мицелия, изменение упруго-прочностных свойств за счет выделения продуктов метаболизма агрессивных к строительному материалу, использование микроорганизмами компонентов материалов в качестве источника энергии (пищи) [1].

Как особо активные коррозионные элементы себя проявляют тионовые и нитрифицирующие бактерии, в результате жизнедеятельности которых создаются агрессивные среды за счет накопления продуктов их метаболизма: серной и азотной кислот. Они реагируют с цементным камнем бетона, полностью разрушая его [2]. А также сульфаторедуцирующие бактерии, образующие коррозионноактивные метаболиты (NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, органические кислоты). Для мицелиальных грибов характерными метаболитами являются органические кислоты, окислительно-восстановительные и гидролитические ферменты. Наиболее существенно страдают бетонные и стальные конструкции подземных сооружений. Наблюдается снижение прочности и полной деструкции бетона в поверхностном слое, повышение водопоглощения, снижение pH жидкой фазы, вплоть до 1 [2].

В работе [3] выявлены отличия и особенности протекания биокоррозии цементных бетонов в сравнении с известными видами коррозионных процессов. Наиболее существенными отличиями являются следующие. При биокоррозии повышение температуры среды может приводить как к ускорению, так и замедлению или прекращению разрушения материала. Высокие температуры убивают многие микроорганизмы, а соответственно и источники продуцирования агрессивных сред.

Если давление среды оказывает большое влияние на скорость химических реакций и на этом основании даже разработаны специальные способы изменения структуры, а соответственно и свойств цементных бетонов, то на скорость их биокоррозии влияние давления незначительно. Микроорганизмы в отличие от других сред могут стимулировать коррозию в широких интервалах температур и относитель-

ной влажности. Они могут создать местные условия, например локально повышать влажность, температуру, что ускоряет коррозию материала. Обычная химически активная среда такими свойствами не обладает.

Авторами работы [3] показано, что особенностью биокоррозии является также ее избирательность к материалу и возможность адаптации микроорганизмов в случае его совершенствования. Появление защищенных от биокоррозии цементных бетонов ускоряет эволюцию микроорганизмов. Они совершенствуют свой аппарат по выработке ферментов и усиливают агрессивность продуктов метаболизма, в результате чего защита материала также должна с течением времени совершенствоваться.

Отмечается особенность микробиологических трансформаций по сравнению с химическими реакциями и процессами. Трансформации осуществляются, как правило, действием нескольких ферментов. В результате жизнедеятельности микроорганизмов продуцируется сочетание агрессивных сред (например, органических кислот). Грибы на загрязненных цементных материалах могут образовывать биоценозы, т.е. сообщества разных видов грибов или совместно с бактериями. Известно, что эти сообщества оказывают на цементные материалы более разрушительное действие, чем каждый вид в отдельности [3].

Если скорость обычной химической реакции при определенном соотношении взаимодействующих веществ непрерывно уменьшается с течением времени, так как эти вещества постепенно расходуются и концентрации их становятся все меньше и меньше. При биокоррозии, в результате развития микроорганизмов и выделения продуктов их жизнедеятельности концентрации агрессивных реагентов могут пополняться.

Одним из отличительных признаков грибов как среды является наличие мицелия. Отдельные его участники могут превращаться в специальные образования, служащие для сохранения или для размножения вида. При этом росте развивается высокое давление, а поскольку цементный бетон имеет капиллярно-пористое строение, то мицелий может проникать на значительное расстояние в материал, при этом нарушая его целостность и приводя к разрушению. Сделано предположение [3], что в этом случае должно происходить специфическое разрушение цементного бетона в начальный период времени. Отмечается, что в результате нарушения поверхностной целостности материала, а соответственно уменьшения его поверхностной энергии, предсказуемо значительное снижение прочности.

Приведенные в работе [3] отличительные признаки, позволили сделать вывод, что биокоррозия является самостоятельным, особым видом коррозии. Выделение биокоррозии цементных бетонов в особый отдельный вид определяет и особые меры защиты материала (механические, физические, химические, биологические), которые по своей сути в корне отличаются от мероприятий, используемых для борьбы с коррозией I, II и III видов.

Разрушение цементных бетонов при биокоррозии, как и при других видах, определяются процессами массопереноса и химических реакций [3]. Для оценки и прогнозирования сопротивления цементных бетонов при действии на них микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности можно применить выражение:

$$R_{\delta,c} = f(V_m, V_p, L, t), \quad (1)$$

где  $R_{\delta,c}$  – функция биологического сопротивления;  
 $V_m$  – скорость массопереноса микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности;  
 $V_p$  – скорость химических реакций составляющих материала и среды;  
 $L$  – характерный размер тела;  
 $t$  – время.

Механизм воздействия микроорганизмов на бетон, по мнению Б.Л. Исаченко [4], можно представить следующим образом. При твердении бетон покрывается защитной пленкой, образованной углекислым кальцием. Пока пленка цела, она препятствует диффузии воды внутрь бетонной кладки и тем самым защищает бетон от разрушения. Тионовые бактерии, поселяющиеся на поверхности карбонатного слоя, разрушают его, изменяя pH прилегающей воды за счет образуемой ими кислоты. Кроме того, тионовые бактерии приносят вред продуцированием сульфатов, поскольку последние образуют этtringит и таумасит, ускоряющие разрушение данного материала.

Коррозия бетона в морской воде детально изучалась Л.И. Рубенчиком и И.И. Колкером [5]. Из образцов поврежденного бетона портов Черного моря ими был выделен широкий спектр микроорганизмов: сульфатредуцирующие, тионовые, нитрифицирующие, денитрифицирующие, уrolитические, гнилостные, целлюлозоразлагающие бактерии. Л.И. Рубенчик, пришел к выводу, что нитрифицирующие и маслянокислые бактерии способствуют выщелачиванию кальция из цемента и снижению вследствие этого механической прочности исследуемых цементных образцов. Разрушающее действие на цемент он объяснял тем, что в результате жизнедеятельности микроорганизмов образуются органические и неорганические

ские кислоты, растворяющие защитную карбонатную пленку на поверхности бетона и открывающие сульфатам доступ вглубь бетона, где происходит образование гидросульфатоалюмината кальция.

Наибольший успех достигнут микробиологами в изучении механизма коррозии бетонных канализационных труб. Это, пожалуй, единственный случай, когда ведущим фактором в коррозии строительных материалов единодушно признаются микроорганизмы. К. Паркер [4, 6] предложил двухступенчатую схему коррозии бетонных канализационных труб. Согласно этой схеме, первичным коррозионным агентом является  $H_2S$ , образуемый главным образом сульфатредуцирующими бактериями. На второй стадии действуют аэробные тионовые бактерии, окисляющие сероводород и другие серосодержащие соединения (тиосульфат, политионаты, серу) до серной кислоты. Из продуктов коррозии К. Паркер выделил три вида тиобацилл, принимающих участие в коррозионных процессах. На первой стадии при  $pH = 11 \dots 9$  действуют факультативные автотрофы, и затем в пределах  $pH = 9 \dots 5$  интенсивно развиваются виды *Thiobacillus*. На конечном этапе коррозии образуется серная кислота, таким образом, коррозия бетонных канализационных труб наступает в результате функционирования специфического биоценоза: микрофлоры, минерализующей органическую серу до сульфатов и других неорганических соединений; сульфатредуцирующих бактерий, восстанавливающих сульфат-ион до сероводорода; автотрофных тионовых бактерий, окисляющих сероводород до серной кислоты, разрушающей бетон [4].

**Выводы.** Микроорганизмы в отличие от других сред стимулируют коррозию в широких интервалах температур и относительной влажности, легко адаптируются и эволюционируют к средствам защиты цементных бетонов от биокоррозии и усиливают агрессивность продуктов метаболизма с течением времени. Особо опасными для цементных бетонов являются тионовые и нитрифицирующие бактерии, которые разрушают защитную карбонатную пленку на поверхности бетона, продуцируют образование сульфатов, тем самым ускоряя разрушение бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фатыхова, Ю.Н. Экологические аспекты биокоррозии строительных силикатных материалов в условиях урбанизированных территорий / Ю. Н. Фатыхова // Молодой ученый ; Ин-т экономики и менеджмента Балт. федер. ун-та им. И. Канта. – 2015. – № 21. 1 (101.1). – С. 55.
2. Злочевская, И.В. Биоповреждения каменных строительных материалов микроорганизмами и низшими растениями в атмосферных условиях / И.В. Злочевская // Биоповреждения в строительстве. – М., 1984. – С. 257–271.
3. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования / В.Т. Ерофеев [и др.] // Фундам. исслед. Техн. науки. – 2014. – № 12-4. – С. 708–716.
4. Биологическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – С. 196.
5. Сураева, Е.Н. Разработка сухих строительных смесей с биоцидными свойствами : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Е.Н. Сураева. – Саранск, 2015. – С. 170.
6. Андреюк, Е.И. Микробная коррозия подземных сооружений / Е.И. Андреюк, И.А. Козлова, Ж.П. Коптева // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве : материалы Второй Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – С. 79–99.