

А.Д. БОГАТОВ<sup>1</sup>, С.Н. БОГАТОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия

## ГЕОПОЛИМЕРНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТЬЮ

*Аннотация.* В работе предпринята попытка получения геополимерных строительных материалов с повышенной биологической стойкостью на основе отходов стекла для создания альтернативы портландцементу. С использованием современных физических методов исследованы процессы структурообразования цементирующих веществ на основе натриево-калиевых силикатных стекол. Установлено, что при твердении композиционных материалов на основе стеклощелочного связующего образуются соединения сложного щелочного гидроалюмосиликатного состава. Исследована устойчивость разработанных материалов в условиях воздействия биологически активных сред. Выявлены потенциальные биодефекторы материалов, эксплуатирующихся в помещениях с различным микроклиматом, обусловленным производственным процессом.

*Ключевые слова:* стекло, геополимер, структурообразование, микроорганизмы, микроклимат, биологическая стойкость.

A.D. BOGATOV<sup>1</sup>, S.N. BOGATOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

## GEOPOLYMERIC CONSTRUCTION MATERIALS WITH INCREASED BIOLOGICAL RESISTANCE

*Abstracts.* The paper attempted to produce geopolymer construction materials with improved biological resistance based on glass waste to create an alternative to cement. With the use of modern physical methods, processes of structure-forming of cementing substances based on sodium-potassium silicate glasses have been studied. It has been found that when the glass-absorbent binder-based composite materials are solidified, the complex alkaline composition is formed. Stability of developed materials under conditions of exposure to biologically active media was investigated. Potential mechanical devices of materials operated in rooms with different microclimates, provided by the production process, have been identified.

*Keywords:* glass, geopolymer, structure formation, microorganisms, microclimate, biological durability.

### Введение.

Одним из основных препятствий на пути к решению проблемы утилизации побочных продуктов промышленных производств в нашей стране является отсутствие достаточного количества реальных проектов, заключающихся в разработке технологических решений, позволяющих обеспечить повторное использование промышленных отходов при получении продукции различного назначения.

О возможности утилизации отходов стекла за счет индустрии строительных материалов ученые вели разговоры еще с 70-х годов, однако практические исследования в этой области не проводились. В настоящее время целый ряд отечественных и зарубежных вузов и НИИ заняты разработкой строительных композитов с его использованием. Решением подобных задач

занимаются и отечественные ученые. Определенные успехи достигнуты усилиями специалистов Мордовского государственного университета [1, 4].

Основной задачей наших исследований являлась разработка эффективных технологий, позволяющих использовать бой стекла не только в виде заполнителя, но и в качестве основного компонента связующего. Подобные работы проводились и проводятся профессорами А.П. Меркиным, Ю.П. Горловым и их учениками. Ими были разработаны составы бесцементных связующих на основе природных и искусственных стекол, способные отверждаться в условиях гидротермальной обработки [2, 3]. Учитывая высокую энергоемкость, а соответственно и стоимость подобных технологических операций, наиболее перспективным способом утилизации боя стекла за счет индустрии строительных материалов представляется получение связующего и бетонов на его основе, твердеющих при температуре изотермического цикла, не превышающей 90 °С. В настоящей работе приводятся результаты исследования подобных композитов.

Процесс образования цементирующих веществ натриево-калиевых силикатных стекол принципиально отличается от твердения молотого кварца с жидким стеклом при изготовлении кислотоупорных вяжущих и бетонов, от твердения шлакощелочных вяжущих на жидком стекле, щелочи и соде.

Во-первых, в отличие от кварцевого песка щелочные стекла подвержены выщелачиванию водой силикатов щелочных металлов. Взаимодействуют с водой даже силикаты тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn). Они также гидролизуются, но нерастворимые продукты гидролиза, отлагаются в местах своего образования [5]. При температурах выше 60° С вода начинает переводить в раствор также и кремнезем. При ограниченном объеме воды продукты взаимодействия остаются на местах своего образования, концентрация их с течением времени нарастает, и это вызывает вторичные реакции между компонентами стекла и продуктами его разрушения. По своему механизму и результатам происходящие реакции приближаются к действию щелочей на стекла.

Разрушение стекол растворами щелочей является следствием превращения кремнезема стекла при их воздействии в стабильные анионы  $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$  и  $\text{SiO}_3^{2-}$ . Находящиеся в стекле катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  и другие образуют гидроокиси или соединения типа алюминатов при наличии аниона  $\text{AlO}_3^{3-}$  или  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ , цинкатов, при наличии  $\text{ZnO}^{2+}$ . Помимо указанных процессов в растворах гидроокисей щелочноземельных металлов Ca, Mg, Ba образуются стойкие в щелочах гидросиликаты. Образование последних, можно полагать характерно для стекла ламп накаливания, с повышенным содержанием CaO (5–6 %), MgO (3,2–3,8 %) и BaO (2,2–5,5). Гидросиликаты также образуются при воздействии щелочи на молотое тарное стекло, в котором CaO – 5,2 %, MgO – 3,2 %. Гидросиликаты кальция практически отсутствуют в гидролизованном хрустальном стекле из-за отсутствия MgO, BaO и очень малом содержании CaO (1 %).

Важно то, что по интенсивности воздействия различные гидроокиси при одинаковой нормальности растворов располагаются в следующей последовательности  $\text{NaOH} > \text{KOH} > \text{LiOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Увеличение концентрации щелочи от 0,5 н до 10 н (20–400 г/л) сказывается на разрушении поверхности стекла следующим образом:

- толщина стравливаемого слоя в стеклах, богатых кремнеземом (тарное, ламповое) возрастает пропорционально логарифму концентрации;
- разрушение стекол, содержащих Ca, Ba, Sr не зависит от концентрации;
- разрушение стекол, содержащих Pb, Mg сначала увеличивается, проходит через максимум при 6–7 н концентрации, а затем начинает уменьшаться.

Концентрация 6–7 н соответствует 160–200 г NaOH в 1 л воды затворения.

В связи с этим, наиболее оптимальной концентрацией NaOH будет его количество 6 % от массы молотого стекла при В/Т отношении равном 0,4.

Рассмотренное воздействие NaOH относится к разрушению стекол с поверхности [5].

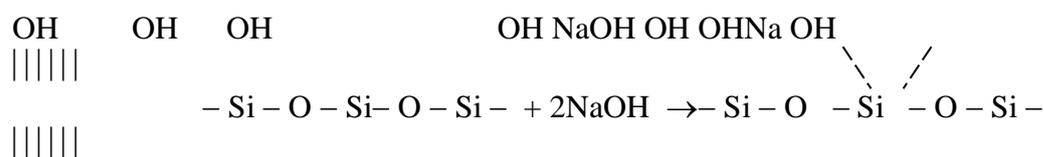
Вероятно, скорость воздействия NaOH на мельчайшие частицы молотого стекла будет несравненно выше.

Преобразование тонкодисперсного порошка связующего на основе боя стекла в камневидное тело происходит в результате взаимодействия компонентов, входящих в его состав, с водными растворами щелочей. Для уточнения механизма твердения подобного связующего рассмотрим процесс взаимодействия водных растворов, имеющих повышенный уровень водородного показателя, с кремнеземом (основным компонентом вяжущего).

Данный процесс представляет собой гетерогенную реакцию и состоит из ряда стадий, главными из которых являются, диффузия компонентов жидкой среды к поверхности раздела фаз, процесс адсорбции гидратированных катионов щелочных металлов на активных участках поверхности кремнезема (сорбция в общем случае сопровождается изменением состояния кремнекислородных тетраэдров, что влечет за собой деполимеризацию кремнекислоты за счет разрыва кремнекислотных связей), последующий акт химического взаимодействия и, наконец, отвод продуктов реакции в межзерновой объем [6].

Процесс деполимеризации кремнезема связан с явлением адсорбции и объясняется привлечением представления о координационной ненасыщенности атомов кремния. Гидроксил ион OH<sup>-</sup> гидроксилует поверхность кремнезема таким образом, что группы OH образуют с атомом кремния координационную связь.

Механизм, согласно которому происходит взаимодействие NaOH с SiO<sub>2</sub> на стадии деполимеризации кремнезема [7], можно представить следующим образом:



Моменту адсорбции двух гидроксид ионов на силановом участке поверхности атома кремния, который находится в тетраэдрическом окружении, соответствует увеличение координационного числа кремния до шести. С достижением последнего происходит перераспределение энергии связей. Образование такого переходного комплекса приводит к ослаблению ≡Si—O—Si≡ связей. Частица, соответствующая мономеру, в таком переходном состоянии удерживается менее прочно своими соседями, и, таким образом, создаются условия для перехода ее в раствор. С увеличением температуры возрастает подвижность элементов кремнекислородного скелета, уменьшается жесткость связей, и, следовательно, требуется меньшая энергия для отрыва тетраэдра.

С учетом описанных выше процессов, происходящих при взаимодействии водных растворов щелочей с кремнеземом, механизм твердения связующего на основе боя стекла представляется следующим образом. Первоначально под воздействием щелочи и повышенной температуры с поверхности частиц стекла растворяется тонкодисперсный аморфный кремнезем, в результате чего повышается его концентрация в растворе, конденсируется пар, что приводит к понижению pH среды и вызывает реакцию поликонденсации с образованием геля поликремниевой кислоты, который склеивает не полностью растворившиеся частицы стекла и зерна заполнителя. Дальнейшее воздействие температуры в процессе термовлажностной обработки приводит к кристаллизации геля кислоты с образованием труднорастворимых гидроалюмосиликатных соединений.

#### **Результаты исследования и их анализ**

С целью экспериментального подтверждения данного теоретического предположения нами были проведены исследования процессов структурообразования композитов на уровнях микро- и макроструктуры с использованием метода рентгеноструктурного анализа.

Результаты исследования сырьевых материалов показали, что на дифрактограмме боя стекла в интервале углов  $2\theta$  8-40° наблюдается аморфное гало, характерное для неупорядоченных структур, обладающих лишь ближним порядком в расположении частиц.

Кроме стеклофазы в образце присутствует небольшое количество кристаллических фаз, о чем свидетельствует неполный набор дифракционных рефлексов слабой интенсивности ( $d = 0,424; 0,334; 0,228$  нм), соответствующий кристаллической фазе  $\text{SiO}_2$  в форме кварца и полевого шпата ( $d = 0,322$  нм).

На рентгенограмме, отражающей фазовый состав минеральной добавки, входящей в состав связующего, наблюдается ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам кварца ( $d = 0,424; 0,228$  нм), полевого шпата ( $d = 0,652; 0,424; 0,356; 0,346; 0,326; 0,322; 0,299$  нм) и монтмориллонита ( $d = 0,242; 0,168; 0,150$  нм). На дифрактограммах отвержденных образцов связующего фиксируются линии кристаллических новообразований с  $d$ , равным  $0,707; 0,404; 0,318; 0,268$  нм, соответствующие цеолиту  $\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_9\text{O}_{30} \times 9\text{H}_2\text{O}$  и щелочным алюмосиликатам типа альбита  $-\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  ( $d = 0,374; 0,321; 0,292$  нм), а также ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам  $\text{SiO}_2$  в форме низкотемпературных модификаций кварца ( $d = 0,424; 0,334; 0,228$  нм).

Как известно, физико-механические свойства бетона во многом определяются структурой контакта между матричным материалом и заполнителем. Под влиянием процессов, протекающих на границе контакта связующего с поверхностью заполняющей части, происходит формирование структуры окаймляющих и омоноличивающих слоев вокруг зернистого заполнителя. Характер и полнота этих процессов зависят от многих факторов: природы минерального вяжущего и наполнителя, дисперсности наполнителя, кристаллохимических свойств и структуры минералов, содержания жидкой среды в смеси, присутствия в системе поверхностно активных и других добавок, температуры отверждения, степени уплотнения и т. д.

Фазовый состав новообразований в зоне контакта стеклощелочного связующего с заполнителями в настоящее время малоизучен. Отличительной особенностью подобных систем является повышенный уровень водородного показателя матричной составляющей. Едкие щелочи, участвующие в процессе гидратации вяжущего, активно взаимодействуют с минералами глин и другими силикатными веществами, что позволяет использовать в качестве заполнителей широкий спектр естественных и искусственных заполнителей, включая отходы производств.

В наших исследованиях в качестве заполнителей рассматривались гранитный и известняковый щебень, керамзитовый гравий, бой глиняного кирпича и стекла ламп накаливания. Учитывая тот факт, что в начальный период гидратации и структурообразования влияние заполнителя на состав образующихся фаз контакта незначительное, исследования проводились после шести месяцев выдерживания бетонов на основе стеклощелочного связующего при нормальных условиях. В ходе эксперимента установлено, что на рентгенограмме, отражающей фазовый состав зоны контакта гранитного щебня со связующим наблюдается ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам гидросиликата кальция  $\text{C}_2\text{SH}_2$  ( $d = 0,303$  нм) и щелочного алюмосиликата типа анальцима  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \times \text{H}_2\text{O}$  ( $d = 0,343; 0,174$  нм). При использовании в качестве заполнителя керамзитового гравия и боя глиняного кирпича в зоне контакта присутствуют новообразования дисиликата натрия  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$  ( $d = 0,263$  нм); цеолитового соединения  $\text{Na}_2\text{Al}_2 \times \text{SiO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$  ( $d = 0,300; 0,271; 0,245$  нм), гидрата нефелина ( $d = 0,274; 0,224; 0,191; 0,187$  нм). Зона контакта связующего со стеклянным заполнителем представлена закристаллизованным силикатом натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ( $d = 0,530; 0,355; 0,304$  нм), гидросиликатом кальция тоберморитовой группы  $\text{C}_2\text{SH}_2$  ( $d = 0,303$  нм) и анальцимом. Новообразования в зоне контакта известнякового заполнителя и вяжущего представлены карбосиликатом кальция  $\text{Ca}_5\text{Si}_2\text{O}_7(\text{CO}_3)_2$  ( $d = 0,307; 0,301; 0,297; 0,280; 0,210$  нм), карбонатом кальция в форме кальцита ( $d = 0,303; 0,250; 0,228; 0,208$  нм), гидросиликатом кальция тоберморитовой группы и гидроалюмосиликатным соединением типа анальцима.

Таким образом, с учетом полученных результатов можно сделать вывод, что на поздней стадии твердения композиционных материалов на основе стеклощелочного связующего заполнители способствуют образованию весьма плотной и однородной структуры контактной зоны из соединений сложного щелочного и щелочно-щелочноземельного гидроалюмосиликатного состава.

В последнее время все большее внимание уделяется исследованию эксплуатационной надежности строительных материалов и в частности, их устойчивости в условиях воздействия биологически активных сред [8-20]. К подобным средам относятся бактерии, грибы, актиномицеты.

Как показывает статистика, из различных видов микроорганизмов наибольшее повреждающее воздействие на промышленные, и строительные материалы оказывают мицелиальные грибы [8, 9]. Их высокая деструктивная активность обусловлена способностью адаптироваться к материалам различной химической природы, что связано, прежде всего, с 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.

Нами проведены исследования стойкости 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).

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

В таблице 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 срока выдерживания в условиях испытаний при наличии постоянной действующей питательной среды во время испытаний.

Результаты, приведенные в таблице 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 воздействия биосреды при наличии питательной среды для мицелиальных грибов способствует росту биообрастания материалов.

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 таблице 2.

Таблица 2 - 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>Aspergillusustus</i>	1/1
Гипсовый камень	<i>Aspergillus ustus, Penicillium nigricans, Mucor corticola, Chaetomium globosum, Verticillium nigrescens</i>	5/5
Отвержденная эпоксидная смола	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Penicillium nigricans, Mucor corticola</i>	4/3
<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

После выдерживания в течение 3 месяцев образцов на портландцементе обнаружен 1 род гриба – *Aspergillusustus*, гипсового камня – 5 родов грибов (*Aspergillus, Penicillium, Mucor, Chaetomium, Verticillium*), отвержденной эпоксидной смолы – 3 рода грибов (*Aspergillus, Penicillium, Mucor*). Увеличение срока выдерживания образцов способствовало расширению видового состава грибов. Из таблицы 2 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 обнаружены на образцах, но развиваются медленно и находятся в угнетенном состоянии.

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. Развиваясь на материалах, грибы выделяют массу спор и различных продуктов жизнедеятельности, которые способны вызывать ряд серьезных заболеваний человека.

С целью выявления потенциальных биодеструкторов вяжущих, эксплуатирующихся в свиноводческих и птицеводческих зданиях, в картофелехранилище и солодовенном цехе пивного производства, были проведены исследования по определению видового состава микроорганизмов, заселяющих их. Эксперимент проводился в натуральных условиях в течение 6 месяцев. В качестве объектов на которых производилась экспозиция материалов рассматривались: свиноводческое помещение, птицеводческое помещение, помещение для хранения картофеля, солодовенный цех.

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 из большого многообразия микроскопических организмов наибольший вред промышленным и строительным материалам, изделиям и конструкциям приносят грибы видов – *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum* [8, 10]. 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*.

Экспериментальные исследования поведения композиционных строительных материалов (КСМ) в условиях воздействия микроскопических организмов показали снижение прочностных показателей и изменение массосодержания композитов на цементных, стеклощелочных и полимерных связующих. 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 биодеградации 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.

Результаты проведенных экспериментов позволили выделить основные биодеструкторы строительных материалов и 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 на них микроскопических организмов.

### Выводы

1. Показана возможность использования боя стекла для получения безавтоклавных строительных композитов.
2. Исследованы процессы структурообразования строительных материалов на основе стеклощелочного связующего.
3. Исследована биологическая стойкость разработанных материалов.
4. Выявлены потенциальные биодеструкторы материалов, эксплуатирующихся в помещениях с различным микроклиматом, обусловленным производственным процессом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. Цементные композиты, наполненные стеклобоем // Изв. вузов. Стр.-во. 1997. № 9. С. 72-76.
2. Жаростойкие бетоны на основе композиций из природных и техногенных стекол / Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, М.И. Зейфман, Б.Д. Тотурбиев. М.: Стройиздат, 1986. 144 с.
3. Меркин А.П., Зейфман М.И. Бетоны и изделия на основе кислых вулканических стекол // Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. Киев, 1979. С. 15-16.
4. Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Строительные композиты на основе техногенных отходов // Вестник отделения строительных наук РААСН. М., 1999. Вып. 2. С. 142-150.
5. Стекло. Справочник. Под ред. Н.М. Павлушкина. М.: Стройиздат, 1973. 487 с.
6. Анацкий Ф.И. Исследование кинетики и механизма взаимодействия активного кремнезема с едкими щелочами и гидроокисью кальция в системе  $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  и частных системах при температурах до 100 °С: Автореф. дис. канд. хим. наук. Киев, 1972. 20 с.
7. Айлер К. Химия кремнезема / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. –421 с.
8. Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Ерофеев В.Т. Строительные биотехнологии и биокомпозиты / МИИТ. М., 1998. 165 с.
9. Каневская И.Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. Л.: Наука, 1984. 230 с.
10. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. и др. Биологическое сопротивление материалов. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 196 с.
11. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А., Гусев Б.В. Оценка коррозии стеклощелочных композитов, прогнозирование их физико-химического сопротивления и способы его повышения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 2 (374). С. 238-246.
12. Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д. Исследование биостойкости строительных материалов, модифицированных биоцидными добавками // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 48-53.
13. Долговечность бетона и железобетона в природных агрессивных средах / В.М. Латыпов, Т.В. Латыпова, Е.В. Луцык, П.А. Федоров. Уфа : РИЦ УГНТУ, 2014. 288 с.
14. Ерофеев В.Т., А.П. Федорцов, А.Д. Богатов, В.А. Федорцов Биокоррозия цементных бетонов, особенности её развития, оценки и прогнозирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-4. С. 708-716.
15. Биоповреждения в строительстве / под ред. Ф. М. Иванова, С. Н. Горшина. М. : Стройиздат, 1984. 320 с.
16. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Вопросы коррозионной стойкости бетона при воздействии биологических активных сред // Бетон и железобетон – взгляд в будущее : науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону: в 7 т. Т. 3. М.: МГСУ, 2014. С. 367-376.
17. Степанова В.Ф. Фаликман В.Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Бетон и железобетон взгляд в будущее: пленар. докл. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. М., 2014. С. 275–289.
18. Исследование биостойкости строительных материалов с учетом их старения / В.Т. Ерофеев, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, В.Ф. Смирнов, Е.А. Захарова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 22 (41). С. 73-78.
19. Sand W.; Microbial corrosion and its inhibition. In: Rehm H.J. (Ed.) // Biotechnology. 2001. Vol. 10. 2nd ed. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.. P. 267-316.
20. Vincke E., Boon N., Verstraete W. Analysis of the microbial communities on corroded concrete sewer pipes – a case study // Applied Microbiology and Biotechnology. 2001. 57. P. 776-785.

**REFERENCES**

1. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Mitina E.A. Cementnye kompozity, napolnennyye stekloboem [Cement composites filled with glass] // *Izv. vuzov. Str-vo.* 1997. № 9. S. 72-76. (rus)
2. Zharostojkie betony na osnove kompozicij iz prirodnyh i tekhnogennyh stekol [Heat-resistant concrete based on natural and man-made glass compositions]. YU.P. Gorlov, A.P. Merkin, M.I. Zeffman, B.D. Toturbiev. M.: Strojizdat, 1986. 144 s. (rus)
3. Merkin A.P., Zeffman M.I. Betony i izdeliya na osnove kislyh vulkanicheskikh stekol [Concrete and products based on acid volcanic glasses] *SHlakoshche-lochnyye cementy, betony i konstrukcii: Tez. dokl. Vsesoyuz. nauch. konf. Kiev, 1979.* S. 15-16. (rus)
4. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Stroitel'nye kompozity na osnove tekhnogennyh othodov [Building composites based on man-made waste]. *Vestnik otdeleniya stroitel'nyh nauk RAASN. M., 1999.* Vyp. 2. S. 142-150. (rus)
5. Steklo [glass]. *Spravochnik. Pod red. N. M. Pavlushkina. M.: Strojizdat, 1973.* 487 s. (rus)
6. Anackij F.I. Issledovanie kinetiki i mekhanizma vzaimodejstviya aktivnogo kremnezema s edkimi shchelochami i gidrookis'yu kal'ciya v sisteme  $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\text{-CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  i chastnyh sistemah pri temperaturah do 100 °C [Investigation of kinetics and mechanism of interaction of active silica with caustic alkalis and hydro-calcium oxide in  $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\text{-CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  and private systems at temperatures up to 100 °C]: Avtoref. dis. kand. him. nauk. Kiev, 1972. 20 s. (rus)
7. Ajler K. Himiya kremnezema [Silicon dioxide chemistry] Per. s angl. M.:Mir, 1982. 421 s.
8. Solomatov V.I., Cherkasov V.D., Erofeev V.T. Stroitel'nye biotekhnologii i biokompozity [Construction biotechnology and biocomposites]. MIIT. M., 1998. 165 s. (rus)
9. Kanevskaya I.G. Biologicheskoe povrezhdenie promyshlennyh materialov [Biological damage to industrial materials]. L.: Nauka, 1984. 230 s. (rus)
10. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Smirnov V.F. i dr. Biologicheskoe soprotivlenie materialov [Biological resistance of materials]. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2001. 196 s. (rus)
11. Erofeev V.T., Fedorcov A.P., Bogatov A.D., Fedorcov V.A., Gusev B.V. Ocenka korrozii stekloshche-lochnyyh kompozitov, prognozirovaniye ih fiziko-himicheskogo soprotivleniya i sposoby ego povysheniya [Evaluation of corrosion of glass-absorbent composites, prediction of their physical and chemical resistance and methods of its increase]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti.* 2018. № 2 (374). S. 238-246. (rus)
12. Erofeev V.T., Bogatova S.N., Bogatov A.D. Issledovanie biostojkosti stroitel'nyh materialov, modifitsirovannyh biocidnymi dobavkami [Study of bio-resistance of building materials modified with biocidal additives]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo.* 2018. № 8. S. 48-53. (rus)
13. Dolgovechnost' betona i zhelezobetona v prirodnyh agressivnyh sredah [Durability of concrete and reinforced concrete in natural aggressive environments] / V.M. Latypov, T.V. Latypova, E.V. Lucyk, P.A. Fedorov. Ufa : RIC UGNTU, 2014. 288 s. (rus)
14. Erofeev V.T., Fedorcov A.P., Bogatov A. D., Fedorcov V.A. Biokorroziya cementnyh betonov, osobennosti eyo razvitiya, ochenki i prognozirovaniya [Biocorrosion of cement concrete, peculiarities of its development, evaluation and forecasting] // *Fundamental'nye issledovaniya.* 2014. № 12-4. S. 708-716. (rus)
15. Biopovrezhdeniya v stroitel'stve [Biodamages to construction] / pod red. F. M. Ivanova, S. N. Gorshina. M. : Strojizdat, 1984. 320 s. (rus)
16. Rozental' N.K., ChEkhnij G.V. Voprosy korroziionnoj stojkosti betona pri vozdeystvii biologicheskikh aktivnyh sred [Issues of corrosion resistance of concrete when exposed to biological active media] // *Beton i zhelezobeton – vzglyad v budushchee : nauch. tr. III Vseros. (II Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu : v 7 t. T. 3. M. : MGSU, 2014.* S. 367-376. (rus)
17. Stepanova V.F., Falikman V.R. Sovremennyye problemy obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij [Modern problems of ensuring durability of reinforced concrete structures] // *Beton i zhelezobeton vzglyad v budushchee : plenar. dokl. III Vseros. (II Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu. M., 2014.* S. 275–289. (rus)
18. Issledovanie biostojkosti stroitel'nyh materialov s uchetom ih stareniya [Study of bio-resistance of building materials taking into account their ageing]. V.T. Erofeev, A.D. Bogatov, S.N. Bogatova, V.F. Smirnov, E.A. Zaharova // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhi-tekturno-stroitel'nogo universiteta.* 2011. № 22 (41). S. 73-78. (rus)
19. Sand W.; Microbial corrosion and its inhibition. In: Rehm H.J. (Ed.) // *Biotechnology.* 2001. Vol. 10. 2nd ed. Wiley-VCH Verlag, Weinheim. P. 267-316.
20. Vincke E., Boon N., Verstraete W. Analysis of the microbial communities on corroded concrete sewer pipes – a case study // *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2001. 57. P. 776-785.

### Информация об авторах:

**Богатов Андрей Дмитриевич**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,  
г. Саранск, Россия,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий.

E-mail: [bogatovad@list.ru](mailto:bogatovad@list.ru)

**Богатова Светлана Николаевна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,  
г. Саранск, Россия,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий.

E-mail: [bogatovasn@mail.ru](mailto:bogatovasn@mail.ru)

### Information about authors:

**Bogatov Andrey D.**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,

candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of construction materials and technology.

E-mail: [bogatovad@list.ru](mailto:bogatovad@list.ru)

**Bogatova Svetlana N.**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,

candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of construction materials and technology.

E-mail: [bogatovasn@mail.ru](mailto:bogatovasn@mail.ru)