

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2023, Том 10, № 4 / 2023, Vol. 10, Iss. 4 <https://t-s.today/issue-4-2023.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/21SATS423.pdf>

DOI: 10.15862/21SATS423 (<https://doi.org/10.15862/21SATS423>)

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

Биологическое сопротивление ячеистых и поризованных стеклокомпозитов

¹Мешалкин В.П., ²Ерофеев В.Т., ³Богатова С.Н.,
³Богатов А.Д., ³Морозов Е.А., ⁴Смирнов В.Ф., ⁵Санягина Я.А.

¹ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университет имени Д.И. Менделеева», Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», Саранск, Россия

⁴ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет имени Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород, Россия

⁵ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Мешалкин Валерий Павлович, e-mail: vpmeshalkin@gmail.ru

Аннотация. Широкое применение для изготовления мостовых конструкций находят различные типы бетонов. Щелочно-активированные вяжущие в настоящее время часто предлагаются взамен цементных и других связующих. Они образуются в результате реакции алюмосиликатного материала со щелочным агентом, таким как гидроксид натрия.

В настоящее время большее внимание уделяется исследованиям устойчивости материалов в условиях воздействия биологически активных сред. В статье подробно описана методика испытания материалов на грибостойкость и фунгицидные свойства.

В настоящей работе представлены результаты исследований биологического сопротивления составов вяжущих и ячеистых композитов на основе боя стекла в сравнении с традиционными материалами неорганической и органической природы. Кроме контрольных бездобавочных составов ячеистого стеклощелочного композита были рассмотрены составы, модифицированные биоцидными добавками типа «Тефлекс» и «Биоцик-Т», а также были проведены исследования по изучению влияния процесса

старения стеклощелочного связующего и традиционных материалов на их биологическую стойкость.

Было выявлено, что введение биоцидных добавок не повлияло на биологическую стойкость материала и лишь в некоторых случаях привело к увеличению радиуса зоны ингибирования. Полученные в ходе эксперимента результаты свидетельствуют о том, что максимальное снижение биологической стойкости материалов происходит после воздействия на них водного раствора серной кислоты.

Сравнение результатов эксперимента по исследованию биостойкости связующих на основе отходов стекла с аналогичными показателями композитов на основе портландцемента, эпоксидных смол показывает целесообразность использования разработанного вяжущего при изготовлении изделий, эксплуатирующихся в условиях воздействия биологически активных сред.

Ключевые слова: биосопротивление; мицелиальные грибы; стеклощелочное связующее; ячеистые и поризованные стеклокомпозиты; стеклобой; старение; цемент; гипс; эпоксидные композиты

Biological resistance of cellular and porous glass composites

¹Valery P. Meshalkin, ²Vladimir T. Erofeev, ³Svetlana N. Bogatova,
³Andrey D. Bogatov, ³Evgeny A. Morozov, ⁴Vasily F. Smirnov, ⁵Yana A. Sanyagina

¹D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

³National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

⁴National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

⁵Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia

Corresponding author: Valery P. Meshalkin, e-mail: vpmeshalkin@gmail.ru

Abstract. Various types of concrete are widely used for the manufacture of bridge structures. Alkali-activated binders are now often offered in place of cement and other binders. They are formed as a result of the reaction of an aluminosilicate material with an alkaline agent such as sodium hydroxide.

Currently, more attention is being paid to research on the stability of materials under the influence of biologically active media. The article describes in detail the method of testing materials for fungal resistance and fungicidal properties.

This paper presents the results of studies of the biological resistance of the compositions of binders and cellular composites based on glass in comparison with traditional materials of inorganic and organic nature. In addition to the control additive-free compositions of cellular stellated composite, compositions modified with biocidal additives such as «Teflex» and «Biocic-T» were considered, and studies were conducted to study the effect of the aging

process of a glass-alkali binder and traditional materials on their biological resistance.

It was found that the introduction of biocidal additives did not affect the biological stability of the material and only in some cases led to an increase in the radius of the inhibition zone. The results obtained during the experiment indicate that the maximum decrease in the biological resistance of materials occurs after exposure to an aqueous solution of sulfuric acid.

A comparison of the results of an experiment to study the biostability of binders based on glass waste with similar indicators of composites based on Portland cement, epoxy resins shows the consistency of using the developed binder in the manufacture of products operated under the influence of biologically active media.

Keywords: bio-resistance; mycelial fungi; glass-alkali binder; cellular and porous glass composites; cullet; aging; cement; gypsum; epoxy composites

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

Один из самых динамично развивающихся сегментов индустриального рынка — промышленное производство композиционных строительных материалов на полимерных, битумных, цементных, известковых, гипсовых, шлакощелочных, биологических и других связующих, используемых при изготовлении строительных изделий и конструкций для зданий различного назначения, инженерных сооружений, автодорог и т. д. Вместе с тем разработка новых композиционных материалов с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками, повышающих эффективность и производительность производства, понижающих его трудоемкость и расход материалов является важнейшей задачей в области строительного материаловедения. Использование улучшенных материалов, обладающих низкой средней плотностью, в частности ячеистых и поризованных композитов, способствуют решению проблемы экономного расхода энергоресурсов на поддержание заданного температурного режима объектов строительства.

При изготовлении мостовых конструкций широко применяются различные типы бетонов [1–5], основными эксплуатационными показателями которых, наравне с физическими и механическими свойствами, являются стойкость к агрессивным средам и долговечность. Щелочно-активированные вяжущие часто предлагаются вместо цементных и других связующих [6–8]. Они образуются в результате реакции алюмосиликатного материала со щелочным агентом, таким как гидроксид натрия [9–16]. Преимущество щелочных связующих заключается в том, что при их применении можно снизить выбросы углекислого газа до 80 % [17], а также снизить стоимость производства композитных материалов [18] и теплоту гидратации [17], укрепить границу раздела заполнитель — матрица [19].

При воздействии агрессивной среды на материал с вяжущим на основе стеклобоя, равно как и с другими его видами, происходят такие физико-химические преобразования, которые обуславливают диффундирование в структуру материала агрессивной жидкости, вступающей в химическое взаимодействие с его компонентами [20; 21]. При воздействии агрессивных сред низкой концентрации внутренние физические процессы имеют решающее значение лишь в начальный период. Со временем интенсивность изменения прочностных свойств снижается, и при полном насыщении композита процессы деструкции определяются скоростью протекания химических реакций. С возрастанием концентрации деструктивной среды влияния химических процессов на снижение структурной прочности увеличивается.

В последнее время большой интерес вызывает изучение устойчивости строительных материалов в условиях воздействия микробиологических деструкторов [22; 23] — бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов. Наиболее опасными разрушителями являются грибы, которые взаимодействуют с материалом и разрушают его в результате непосредственного потребления отдельных его химических компонентов, а также за счет химических преобразований материала продуктами жизнедеятельности, к которым в первую очередь относятся водные растворы органических кислот, аминокислоты и разнообразные ферменты. Известно, что вред, причиняемый зданиям и сооружениям в результате обрастаний плесенью, составляет ежегодно многие десятки миллиардов долларов [23].

Методика испытания материалов на грибостойкость и фунгицидность

Methods of testing materials for fungal resistance and fungicide

Испытания материалов на обрастаемость мицелиальными грибами и оценка показателей микробиологической стойкости проводились в соответствии с ГОСТ 9.049-91. В качестве штамма мицелиальных биодеструкторов использовались следующие виды микромицетов: *Aspergillus niger* vgn Tieghem, *Aspergillus oryzae* (Ahlburg) Cohn, *Aspergillus terreus* Thom, *Penicillium cyclopium* Westling, *Penicillium funiculosum* Thom, *Penicillium chrysogenum* Thom, *Trichoderma viride*, *Paecilomyces varioti* Bainier, *Chaetomium globosum* Kunze. Исследования обрастания после заселения штамма грибов проводились двумя методами — без дополнительных источников питания (метод 1) и на полной питательной среде Чапека-Докса (метод 3). Их сущность заключалась в выдерживании образцов материалов размером 10×10×30 мм, зараженных спорами плесневых грибов, в условиях оптимальных для их развития, фиксации оптимального температурно-влажностного режима, притоке воздуха (для чего каждую неделю на 3 мин приоткрывали крышку эксикатора) с последующей оценкой через заданный промежуток времени показателей обрастания поверхности образцов и анализом грибостойкости материала. Методом 1 устанавливалось, служит ли исследуемый материал питательной средой для грибов. Методом 3 определялись наличие у образца биоцидных свойств. Твердая питательная среда состояла из следующих компонентов: вода дистиллированная — 1 л; сахароза — 30 г; агар — 20 г; NaNO₃ — 2,0 г; KCl — 0,5 г; MgSO₄ — 0,5 г; KH₂PO₄ — 0,3 г; FeSO₄ — 0,01 г. Образцы выдерживались в стерильных чашках Петри в течение 90 суток, при этом оценка обрастания по методу 3 фиксировалась не ранее 14-х суток, а методу 1 — не ранее 84-х. В каждую чашку

погружалось по одному образцу, причем все составы исследовались в пяти опытах. Поверхность образцов обрызгивали водной суспензией тест-грибов путем равномерного ее нанесения с помощью пульверизатора, после чего их загружали в чашки Петри и помещали в специальные камеры, эксплуатирующиеся в режиме температуры $(29 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ при влажности воздуха свыше 90 %. Оценку обрастания проводили по шестибалльной шкале: ноль — при осмотре под микроскопом на поверхности рост плесневых грибов отсутствует; один — при осмотре под микроскопом на поверхности материала наблюдаются проросшие споры грибов и незначительно развитый мицелий в виде неветвящихся гиф; два — при осмотре под микроскопом на поверхности образца виден хорошо развитый мицелий в виде ветвящихся гиф и возможно спороношение; три — при осмотре невооруженным глазом рост грибов на поверхности материала едва заметен, но отчетливо виден под микроскопом; четыре — при осмотре невооруженным глазом рост мицелиальных грибов отчетливо виден и покрывает до 25 % поверхности испытуемого образца; пять — при осмотре невооруженным глазом отчетливо виден рост грибов, покрывающий более 25 % поверхности материала.

Материал считается грибостойким, если получает оценку от нуля до двух по методу 1, т. е. он не является питательной средой и содержит в своей структуре такой объем питательных веществ, который обеспечивает лишь незначительное развитие грибов. Материал обладает фунгицидными свойствами, если по методу 3 на поверхности образцов не наблюдается роста грибов или он получает оценку не более 1 балла.

Постановка задачи исследования

Setting the research task

Целью настоящей работы являлось изучение биологического сопротивления ячеистых и поризованных стеклокомпозитов. Данные исследования перекликаются с ранее осуществленными работами авторов¹ и дают системную возможность применения разработанных составов в транспортных сооружениях.

В целом задачи исследований состояли в следующем.

1. Установление показателей биологической стойкости разработанных стеклощелочных вяжущих в сравнении с традиционными.

¹ Богатова С.Н. Легкие и особолегкие бетоны на основе отходов стекла: учеб. пособие / С.Н. Богатова, А.Д. Богатов, В.Т. Ерофеев. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. — 1,49 Мб.

2. Выявление причин высокой биостойкости композитов на основе боя стекла.
3. Исследование влияния модификаторов («Тефлекс» и «Биоцик-Т») на биологическую стойкость ячеистого стеклокомпозита.
4. Проведение испытаний на грибостойкость и фунгицидность стеклощелочного связующего и ячеистого стеклокомпозита заданной плотности на его основе, возраст которых составил два года. Анализ результатов испытаний.
5. Выявление у эксплуатируемых изделий потенциальных биодеструкторов стеклощелочного связующего, ячеистых и поризованных стеклокомпозитов.
6. Изучение процесса старения изделий на основе стеклощелочного связующего под воздействием агрессивных факторов окружающей среды и его влияния на их биологическую стойкость.

Результаты исследований

Research results

Наиболее часто используемыми материалами для строительства и ремонта различных инженерных сооружений являются портландцемент и эпоксидные полимерные материалы. Мы провели сравнение биологической стойкости традиционных материалов и материалов на основе стеклощелочного связующего. Ниже приведены результаты исследований (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Сравнительные данные биологической стойкости
стеклощелочного связующего с традиционными видами

Comparative data on the biological resistance
of glass-alkaline binders with traditional types

Состав <i>Compound</i>	Метод 1 <i>Method 1</i>	Метод 3 <i>Method 3</i>	Радиус зоны ингибирования, мм <i>Inhibition zone radius, mm</i>	Результат <i>Result</i>
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	0	45	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
Ячеистый бетон на стеклощелочном связующем <i>Cellular concrete with glass-alkali binder</i>	0	0	24	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	0	3	—	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	2	5	—	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>

Составлено авторами / Compiled by the authors

Результаты исследований свидетельствуют, что составы вяжущих и ячеистых стеклокомпозитов в отличие от традиционных материалов (портландцемент и отвержденная эпоксидная смола) обладают фунгицидными свойствами. Причиной высокой биологической стойкости стеклокомпозитов служит повышенный уровень водородного показателя системы, что является основным ингибирующим фактором, препятствующим заселению и развитию микроскопических организмов на поверхности материала. Как известно, оптимальной для размножения мицелиальных грибов является слабокислая среда.

В ходе последующих испытаний нами были проведены исследования на биостойкость ячеистого стеклокомпозита общеизвестных биоцидных добавок «Тефлекс» и «Биоцик-Т». Сравнивались контрольные бездобавочные составы с модифицированными стеклокомпозитами. Варьировались концентрация биоцидных добавок, а также вид модифицирующего вещества. Влияние модификаторов на биологическую стойкость материалов представлено в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

**Исследования биологической стойкости
ячеистого бетона, модифицированного биоцидными добавками**

Research on the biological resistance of cellular concrete modified with biocidal additives

Состав <i>Compound</i>	Метод 1 <i>Method 1</i>	Метод 3 <i>Method 3</i>	Радиус зоны ингибирования, мм <i>Inhibition zone radius, mm</i>	Результат <i>Result</i>
Бездобавочный <i>Additive-free</i>	0	0	23	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ «Тефлекс-реставратор» 1 % <i>+ «Teflex restorer» 1 %</i>	0	0	26	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ то же 3 % <i>+ the same 3 %</i>	0	0	26	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ то же 5 % <i>+ the same 5 %</i>	0	0	20	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ то же 7 % <i>+ the same 7 %</i>	0	0	20	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ «Тефлекс-антиплесень» 1 % <i>+ «Teflex anti-mold» 1 %</i>	0	0	20	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ то же 3 % <i>+ the same 3 %</i>	0	0	20	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ то же 5 % <i>+ the same 5 %</i>	0	0	22	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ то же 7 % <i>+ the same 7 %</i>	0	0	25	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ «Биоцик-Т» 1 % <i>+ «Biocik-T» 1 %</i>	0	0	25	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
+ то же 2 % <i>+ the same 2 %</i>	0	0	25	Фунгициден <i>Fungicidal</i>

Составлено авторами / *Compiled by the authors*

Результаты исследований свидетельствуют о том, что все образцы ячеистого стеклокомпозиционного материала, как модифицированного изучаемыми биоцидными добавками, так и бездобавочные, обладают

фунгицидными свойствами. Следует отметить, что лишь в некоторых случаях введение добавок привело к увеличению радиуса зоны ингибирования, но в общем не повлияло на биологическую стойкость материала. В то же время интересными оказались параллельно определяемые результаты изменения физико-механических свойств стеклокомпозитов при введении в их состав добавки «Тефлекс-реставратор». При ее использовании выявлено снижение значения средней плотности на 20 % при незначительной потере прочностных показателей. Это, возможно, связано с тем, что, помимо придания строительным материалам защитных свойств, вышеназванное вещество обладает пластифицирующим эффектом и может способствовать процессам порообразования.

В последующем нами согласно указанной выше методике были осуществлены испытания на обрастание под действием биологически активной среды, стеклощелочного связующего и ячеистого композита на его основе, возраст которых составил два года. Их результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

**Исследования биологической стойкости стеклощелочного
связующего и ячеистого бетона на его основе (возраст 2 года)**

**Research on the biological resistance
of glass-alkali binder and cellular concrete based on it (age 2 years)**

Состав <i>Compound</i>	Метод 1 <i>Method 1</i>	Метод 3 <i>Method 3</i>	Результат <i>Result</i>
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	2	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Ячеистый бетон на стеклощелочном связующем <i>Cellular concrete with glass-alkali binder</i>	0	2	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>

Составлено авторами / Compiled by the authors

Результаты испытаний подтвердили высказанное ранее предположение, что основной причиной значительной микробиологической стойкости композитов на основе стеклощелочного связующего является высокий уровень водородного показателя поверхности материала. При его уменьшении в условиях эксплуатации материал теряет фунгицидные свойства, оставаясь при этом грибостойким.

Следующая задача заключалась в проведении исследований по изучению влияния процессов старения стеклощелочного связующего и традиционных материалов (портландцементный камень и отвержденная эпоксидная смола) под воздействием факторов окружающей среды в условиях эксплуатации на микробиологическую стойкость материалов (табл. 4).

На обрастаемость материала и физиологическую активность грибов влияют многие факторы внешней среды: влажность, температура, степень аэробности среды, свет, кислотность, давление и др. Основным же

показателем, способствующим развитию мицелиальных грибов на материале или конструкции, является вода, или, точнее, влажность материала. Если она низкая, то сначала на поверхности материала могут развиваться менее требовательные к влажности виды мицелиальных грибов, а затем уже появиться более влаголюбивые виды или такие, для которых ранее заселившиеся служат питательной средой. Влажность может повышаться за счет самих микробных клеток, которые продуцируют ее в процессе жизнедеятельности. Рост отдельных видов штаммов может провоцировать и стимулировать воздушная среда, содержащая этанол, углекислоту, аммиак и другие соединения.

Таблица 4 / Table 4

Сравнительные данные изменения биологической стойкости стеклощелочного связующего и традиционных видов в результате воздействия агрессивной среды

Comparative data on changes in the biological resistance of glass-alkaline binders and traditional types as a result of exposure to an aggressive environment

Состав <i>Compound</i>	Метод 1 <i>Method 1</i>	Метод 3 <i>Method 3</i>	Результат <i>Result</i>
Время выдерживания в среде в течение 1 месяца <i>Keeping time in the environment for 1 month</i>			
<i>После выдерживания в воде</i> <i>After soaking in water</i>			
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	2	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	1	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	1	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
<i>После выдерживания в 2 % растворе серной кислоты</i> <i>After soaking in 2 % sulfuric acid solution</i>			
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	2	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	2	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
<i>После выдерживания в 2 % растворе едкого натра</i> <i>After soaking in 2 % sodium hydroxide solution</i>			
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	2	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	1	3	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Гипсовый камень <i>Gypsum stone</i>	1	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	1	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Время выдерживания в среде в течение 3 месяцев <i>Storage time in the environment for 3 months</i>			
<i>После выдерживания в воде</i> <i>After soaking in water</i>			
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	2	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	0	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>

Состав <i>Compound</i>	Метод 1 <i>Method 1</i>	Метод 3 <i>Method 3</i>	Результат <i>Result</i>
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	2	5	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
<i>После выдерживания в 2 % растворе серной кислоты</i> <i>After soaking in 2 % sulfuric acid solution</i>			
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	4	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	4	4	Негрибостоек
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	3	5	Негрибостоек
<i>После выдерживания в 2 % растворе едкого натра</i> <i>After soaking in 2 % sodium hydroxide solution</i>			
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	2	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	0	3	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	2	5	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
<i>После выдерживания в воздушно-сухих условиях</i> <i>After aging in air-dry conditions</i>			
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	0	0 (R = 10 мм) 0 (R = 10 mm)	Фунгициден <i>Fungicidal</i>
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	0	3	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	2	5	Грибостоек <i>Mushroom resistant</i>

Составлено авторами / Compiled by the authors

Внедрение мицелиальных грибов и повреждение материалов начинается, как правило, с небольших участков, где имеются загрязнения, протечки, конденсат и т. д. Даже на биостойких и фунцидных материалах могут фиксироваться незначительные колонии плесневых грибов, поселившихся на загрязнениях биологического или другого происхождения. Комфортными для роста микромицетов являются условия повышенной влажности и затрудненного воздухообмена, которые нередко создаются при плохо функционирующей системе вентиляции и неудовлетворительном теплоснабжении зданий и сооружений, а также в закрытых помещениях. При различных способах загрязнений поверхности материалов и изделий рост и развитие мицелиальных грибов не заканчивается до полного устранения источника обрастания.

В ходе эксперимента нами было выявлено, что максимальное снижение биологической стойкости исследуемых стеклокомпозитов и традиционных материалов происходит после воздействия на них водного раствора серной кислоты. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что слабокислая среда, создающаяся в этом случае на поверхности материалов, является оптимальной для развития штамма мицелиальных грибов.

С целью выявления потенциальных биодеструкторов стеклощелочного связующего были проведены исследования по определению видового состава заселяющих его микроорганизмов. Задачей исследований являлось установление количества родов мицелиальных грибов, способных заселять и, возможно, использовать стеклощелочное вяжущее в качестве источника питания, а также определение конкретных видов представителей данного рода. В процессе проведенного испытания установлены роды и виды грибов, поселившихся на поверхности образцов материала за время пребывания в нормальных условиях в течение трех месяцев после набора марочной прочности. Видовой состав мицелиальных грибов приведен в таблице 5

Таблица 5 / Table 5

Видовой состав колоний грибов, заселяющих вяжущие
при выдерживании в воздушно-сухих условиях в течение 3 месяцев

**Species composition of fungal colonies colonizing
binders when kept in air-dry conditions for 3 months**

Наименование материала <i>Name of material</i>	Виды грибов <i>Types of mushrooms</i>	Общее количество видов грибов / количество родов <i>Total number of mushroom species/number of genera</i>
Стеклощелочное вяжущее <i>Slag-alkaline binder</i>	Грибов нет <i>No mushrooms</i>	—
Портландцементный камень <i>Portland cement stone</i>	<i>Aspergillus ustus</i>	1/1
Отвержденная эпоксидная смола <i>Cured epoxy resin</i>	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Penicillium nigricans</i> , <i>Mucor corticola</i>	4/3

Составлено авторами / Compiled by the authors

В ходе испытаний на определение потенциальных биодеструкторов стеклощелочного связующего и ячеистого стеклокомпозита на его основе, возраст которых составлял два года, выявлено, что колоний грибов на их поверхности не появилось.

Заключение

Conclusion

Сравнение результатов эксперимента по исследованию биостойкости связующих на основе отходов стекла с аналогичными показателями композитов на основе портландцемента и отвержденной эпоксидной смолы свидетельствует о целесообразности использования разработанного стеклощелочного вяжущего при изготовлении изделий, эксплуатирующихся в условиях воздействия биологически активных сред.

Показана возможность использования боя стекла для получения безавтоклавных ячеистых и поризованных бетонов. Приведены показатели биологической стойкости бездобавочных и модифицированных стеклощелочных композитов, в том числе после воздействия на них агрессивных факторов окружающей среды.

Разработаны рациональные составы ячеистых и поризованных стеклокомпозитов, стойких при воздействии микроорганизмов в различных эксплуатационных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Jungwirth J.** Underspanned bridge structures in reactive powder concrete (RPC) / J. Jungwirth, A. Muttoni // 4th International PhD Symposium in Civil Engineering / Мюнхен: Springer V D I Verlag GmbH & Co. KG, 2002. — URL: https://www.researchgate.net/publication/37452025_Underspanned_Bridge_Structures_in_Reactive_Powder_Concrete_RPC. (дата обращения: 04.11.2023).
2. **Erofeev, V.** Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments / V. Erofeev. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.877> // Procedia Engineering. — 2016. — Т 165. — С. 1444–1447. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816342382>. (дата обращения: 04.11.2023).
3. **Erofeev, V.** Biological Resistance of Cement Composites Filled with Limestone Powders / V. Erofeev, V. Kalashnikov, D. Emelyanov [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.871.22> // Materials Science Forum. — 2016. — Т 871. — С. 22–27. — URL: <https://www.scientific.net/MSF.871.22>. (дата обращения: 04.11.2023).
4. **Erofeev, V.** Physical and Mechanical Properties of the Cement Stone Based on Biocidal Portland Cement with Active Mineral Additive / Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S. [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.871.28> // Materials Science Forum. — 2016. — Т 871. — С. 28–32. — URL: <https://www.scientific.net/MSF.871.28>. (дата обращения: 04.11.2023).
5. **Bobrishev, A.A.** Study of effects of redispersable latex powders on hardening kinetics of cement-sand composites / A.A. Bobrishev, L.N. Shafigullin, M.I. Sotnikov [и др.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. — 2016. — Т 7. — № 4. — С. 795–802. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27582831>. — EDN XFPMBD. (дата обращения: 04.11.2023).
6. **Bulgakov A.** Innovative production technology of binding and building composite materials on the basis of glass wastes / A. Bulgakov, V. Erofeev, A. Bogatov [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.1201/9781315641645> // Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation. Proceedings of the Sixth International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, Cape Town, South Africa, 5–7 September 2016. / Под ред. Alphose Zingoni. Лондон: CRC Press, 2016. — URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781315641645-281/innovative-production-technology-binding-building-composite-materials-basis-glass-wastes-bulgakov-erofeev-bogatov-smirnov-schach?context=ubx&refId=88819ca3-cbac-4907-886b-666ff95d21ee>. (дата обращения: 01.11.2023).
7. **Erofeev, V.** Biocidal Binders for the Concretes of Unerground Constructions / V. Erofeev, A. Rodin, N. Rodina [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.878> // Procedia Engineering. — 2016. — Т 165. — С. 1448–1454. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816342394>. (дата обращения: 04.11.2023).
8. **Erofeev, V.** Bioresistant Building Composites on the Basis of Glass Wastes / V.T. Erofeev, A. D. Bogatov, S.N. Bogatova [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.13005/bbra/1710> // Biosciences Biotechnology Research Asi. — 2015. — Т 12. — № 1. — С. 661–669. — URL: <https://www.biotech-asia.org/vol12no1/bioresistant-building-composites-on-the-basis-of-glass-wastes/>. (дата обращения: 04.11.2023).

9. Патент № 2081073 С1 Российская Федерация, МПК С04В 7/00. Вяжущее: № 95119615/03: заявл. 21.11.1995: опубл. 10.06.1997 / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, В.Д. Черкасов [и др.]; заявитель Акционерное общество открытого типа "Лисма-Саранский электроламповый завод". — EDN WKGHAV.
10. Патент № 2168480 С2 Российская Федерация, МПК С04В 28/24. вяжущее: № 98102320/03: заявл. 27.01.1998: опубл. 10.06.2001 / В.Т. Ерофеев, В.Д. Черкасов, В.И. Соломатов [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество ОАО "Лисма". — EDN STSNWA.
11. Патент № 2317959 С2 Российская Федерация, МПК С04В 7/00, С04В 7/345, С04В 7/51. Вяжущее и способ его получения: № 2003131934/03: заявл. 30.10.2003: опубл. 27.02.2008 / А.Д. Богатов, В.Т. Ерофеев, Е.А. Морозов [и др.]; заявитель Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева. — EDN XLDOGI.
12. **Bajpai, R.** Environmental impact assessment of fly ash and silica fume based geopolymers / R. Bajpai, K. Choudhary, A. Srivastava [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120147> // Journal of Cleaner Production. — 2020. — Т 254. — С. 120147. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620301943>. (дата обращения: 09.11.2023).
13. **Kushartomo, W.** Mechanical Behavior of Reactive Powder Concrete with Glass Powder Substitute / W. Kushartomo, I. Bali, B. Sulaiman. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.082> // Procedia Engineering. — 2015. — Т 125. — С. 617–622. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815033998>. (дата обращения: 09.11.2023).
14. **Sadrekarami, A.** Development of a Light Weight Reactive Powder Concrete / A. Sadrekarami. — DOI <https://doi.org/10.3151/jact.2.409> // Journal of Advanced Concrete Technology. — 2004. — Т 2. — № 3. — С. 409–417. — URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/2/3/2_3_409/article. (дата обращения: 09.11.2023).
15. **Salahuddin, H.** Effect of recycled fine aggregates on performance of Reactive Powder Concrete / H. Salahuddin, L.A. Qureshi, A. Nawaz, S.S. Raza. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118223> // Construction and Building Materials. — 2020. — Т 243. — С. 118223. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820302282>. (дата обращения: 09.11.2023).
16. **Soliman, N.A.** Development of ultra-high-performance concrete using glass powder — Towards ecofriendly concrete / N.A. Soliman, A. Tagnit-Hamou. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.073> // Construction and Building Materials. — 2016. — Т 125. — С. 600–612. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816313368>. (дата обращения: 09.11.2023).
17. **Pacheco-Torgal, F.** Durability of alkali-activated binders: A clear advantage over Portland cement or an unproven issue? / F. Pacheco-Torgal, Z. Abdollahnejad, A.F. Camoes [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.017> // Construction and Building Materials. — 2012. — Т 30. — С. 400–405. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811006945>. (дата обращения: 09.11.2023).
18. **So, H.S.** Properties of Strength and Pore Structure of Reactive Powder Concrete Exposed to High Temperatures / H.S. So, J.B. Yi, J. Khulgadai, S.Y. So. — DOI <http://dx.doi.org/10.14359/51686580> // ACI Materials Journal. — 2014. — Т 111. — № 3. — URL: https://www.researchgate.net/publication/285031253_Properties_of_Strength_and_Pore_Structure_of_Reactive_Powder_Concrete_Exposed_to_High_Temperatures. (дата обращения: 09.11.2023).
19. **Scrivener, K.L.** The Interfacial Transition Zone (ITZ) Between Cement Paste and Aggregate in Concrete / K.L. Scrivener, A.K. Crumbie, P. Laugesen. — DOI <https://doi.org/10.1023/B:INTS.0000042339.92990.4c> // Interface Science. — 2004. — Т 12. — С. 411–421. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:INTS.0000042339.92990.4c>. (дата обращения: 09.11.2023).
20. **Erofeev, V.** Getting Fired Material with Vitreous Binder Using Frame Technology / V. Erofeev, S. Korotaev, A. Bulgakov, I. Tretiakov, A. Rodin. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.606> // Procedia Engineering. — 2016. — Т 164. — С. 166–171. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816339479>. (дата обращения: 09.11.2023).
21. Оценка коррозии стеклощелочных композитов, прогнозирование их физико-химического сопротивления и способы его повышения / В.Т. Ерофеев, А.П. Федорцов, А.Д. Богатов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2018. — № 2. — С. 238–246. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35405780>. — EDN LXXTRB. (дата обращения: 09.11.2023).

22. **Erofeev, V.T.** Modeling of influence of microbiological aggressive media on corrosion of cement stone / V.T. Erofeev, A.P. Fedortsov, A.D. Bogatov [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.5937/jaes18-27802> // Journal of Applied Engineering Science. — 2020. — Т 18. — № 3. — С. 458–462. — URL: <https://scindeks.ceon.rs/Article.aspx?artid=1451-41172003458B>. (дата обращения: 09.11.2023).
23. **Erofeev, V.T.** Simulation of a biological degradation / V.T. Erofeev, E.A. Morozov // Biotechnology and the Ecology of Big Cities / Nova Science Publishers, Inc., 2011. — С. 29–36. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21881033>. — EDN SKVJXX. (дата обращения: 09.11.2023).

Сведения об авторах:

Мешалкин Валерий Павлович — доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор Международного института логистики и ресурсосбережения и технологической инноватики, ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», Москва, Россия, e-mail: vpmeshalkin@gmail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6956-6705>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=8548

Ерофеев Владимир Трофимович — доктор технических наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры «Строительного материаловедения», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия, e-mail: erofeevvt@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-8144>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=161483

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/A-7827-2017>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56662851300>

Богатова Светлана Николаевна — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», Саранск, Россия, e-mail: bogatovasn@mail.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=582427

Богатов Андрей Дмитриевич — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», Саранск, Россия, e-mail: bogatovad@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9070-9870>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=5056

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55996641900>

Морозов Евгений Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», Саранск, Россия, e-mail: morosovea@mail.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=160716

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7005066562>

Смирнов Василий Филиппович — доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией микробиологического анализа, профессор кафедры «Биохимии и биотехнологии ИББМ», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород, Россия, e-mail: biodeg@mail.ru

Санягина Яна Андреевна — соискатель, ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», Москва, Россия, e-mail: sanyagina@mail.ru

Статья получена: 02.12.2023. Принята к публикации: 19.02.2024. Опубликовано онлайн: 12.03.2024.

Вклад авторов:

Мешалкин Валерий Павлович — алгоритмическое обеспечение исследований.

Ерофеев Владимир Трофимович — концепция, методология, постановка задач исследования, выбор математического инструмента, обсуждение результатов.

Богатова Светлана Николаевна — исследование физико-механических свойств поризованных стеклокомпозитов.

Богатов Андрей Дмитриевич — изучение влияния процесса старения стеклощелочного связующего под воздействием агрессивных факторов окружающей среды на их биологическую стойкость.

Морозов Евгений Анатольевич — исследование биостойкости поризованных стеклокомпозитов.

Смирнов Василий Филиппович — выявление потенциальных биодеструкторов стеклощелочного связующего, ячеистых и поризованных стеклокомпозитов.

Санягина Яна Андреевна — проведение статического анализа.

Тема 3.1.8.1. «Фундаментальные научные исследования высокопрочных легких бетонов для 3D-принтерной технологии на безобжиговом зольном гравии с обеспечением экологически чистой и ресурсосберегающей энергетики», входящая в тематическое направление научных исследований РААСН — 3.1 Развитие теоретических основ строительных наук (Раздел 3.1.8. Развитие строительного материаловедения и механики на основе полной переработки техногенных отходов).

REFERENCES

1. Jungwirth J., Muttoni A. Underspanned bridge structures in reactive powder concrete (RPC). In: *4th International PhD Symposium in Civil Engineering*. Munich, Germany: Springer V D I Verlag GmbH & Co. KG; 2002 Available at: https://www.researchgate.net/publication/37452025_Underspanned_Bridge_Structures_in_Reactive_Powder_Concrete_RPC (accessed 04th November 2023). (In Eng.).
2. Erofeev V. Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments. *Procedia Engineering*. 2016; 165: 1444–1447. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.877>.
3. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D. et al. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Limestone Powders. *Materials Science Forum*. 2016; 871: 22–27. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.871.22>.
4. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S. et al. Physical and Mechanical Properties of the Cement Stone Based on Biocidal Portland Cement with Active Mineral Additive. *Materials Science Forum*. 2016; 871: 28–32. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.871.28>.
5. Bobrishev A.A., Shafigullin L.N., Sotnikov M.I. et al. Study of effects of redispersable latex powders on hardening kinetics of cement-sand composites. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016; 7(4): 795–802. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27582831> (accessed 04th November 2023). (In Eng.).
6. Bulgakov A., Erofeev V., Bogatov A. et al. Innovative production technology of binding and building composite materials on the basis of glass wastes. In: Alphose Zingoni ed. *Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation. Proceedings of the Sixth International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, Cape Town, South Africa, 5–7 September 2016*. London: CRC Press; 2016. Available at: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781315641645-281/innovative-production-technology-binding-building-composite-materials-basis-glass-wastes-bulgakov-erofeev-bogatov-smirnov-schach?context=ubx&refId=88819ca3-cbac-4907-886b-666ff95d21ee>. (accessed 01st November 2023). (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315641645>.
7. Erofeev V., Rodin A., Rodina N. et al. Biocidal Binders for the Concretes of Unerground Constructions. *Procedia Engineering*. 2016; 165: 1448–1454. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.878>.
8. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N. et al. Bioresistant Building Composites on the Basis of Glass Wastes. *Biosciences Biotechnology Research Asi*. 2015; 12(1): 661–669. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.13005/bbra/1710>.
9. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Cherkasov V.D. et al. *Binder*. RU2081073C1 (Patent) 1997. (accessed 04th November 2023).
10. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Solomatov V.I. et al. *Binder*. RU2168480C2 (Patent) 2001. (accessed 04th November 2023).
11. Bogatov A.D., Erofeev V.T., Morozov E.A. et al. *Binder and Method of Production of Such Binder*. RU2317959C2 (Patent) 2008. (accessed 04th November 2023).

12. Bajpai R., Choudhary K., Srivastava A. et al. Environmental impact assessment of fly ash and silica fume based geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 254: 120147. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120147>.
13. Kushartomo W., Bali I., Sulaiman B. Mechanical Behavior of Reactive Powder Concrete with Glass Powder Substitute. *Procedia Engineering*. 2015; 125: 617–622. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.082>.
14. Sadrekarimi A. Development of a Light Weight Reactive Powder Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2004; 2(3): 409–417. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3151/jact.2.409>.
15. Salahuddin H., Qureshi L.A., Nawaz A., Raza S.S. Effect of recycled fine aggregates on performance of Reactive Powder Concrete. *Construction and Building Materials*. 2020; 243: 118223. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118223>.
16. Soliman N.A., Tagnit-Hamou A. Development of ultra-high-performance concrete using glass powder — Towards ecofriendly concrete. *Construction and Building Materials*. 2016; 125: 600–612. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.073>.
17. Pacheco-Torgal F., Abdollahnejad Z., Camoes A.F. et al. Durability of alkali-activated binders: A clear advantage over Portland cement or an unproven issue? *Construction and Building Materials*. 2012; 30: 400–405. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.017>.
18. So H.S., Yi J.B., Khulgadai J., So S.Y. Properties of Strength and Pore Structure of Reactive Powder Concrete Exposed to High Temperatures. *ACI Materials Journal*. 2014; 111(3): (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.14359/51686580>.
19. Scrivener K.L., Crumie A.K., Laugesen P. The Interfacial Transition Zone (ITZ) Between Cement Paste and Aggregate in Concrete. *Interface Science*. 2004; 12: 411–421. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1023/B:INTS.0000042339.92990.4c>.
20. Erofeev V., Korotaev S., Bulgakov A., Tretiakov I., Rodin A. Getting Fired Material with Vitreous Binder Using Frame Technology. *Procedia Engineering*. 2016; 164: 166–171. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.606>.
21. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D. et al. Evaluation of corrosion of alkaliglass composites, predicting their physico-chemical resistance and ways to improve it. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*. 2018; (2): 238–246. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35405780> (accessed 09th November 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
22. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D. et al. Modeling of influence of microbiological aggressive media on corrosion of cement stone. *Journal of Applied Engineering Science*. 2020; 18(3): 458–462. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes18-27802>.
23. Erofeev V.T., Morozov E.A. Simulation of a biological degradation. In: *Biotechnology and the Ecology of Big Cities*. Nova Science Publishers, Inc.; 2011. p. 29–36. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21881033> (accessed 09th November 2023). (In Eng.).

Information about the authors:

Valery P. Meshalkin — D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, Russia,
e-mail: vpmeshalkin@gmail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6956-6705>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=8548

Vladimir T. Erofeev — Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
e-mail: erofeevvt@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-8144>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=161483
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/A-7827-2017>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56662851300>

Svetlana N. Bogatova — National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
e-mail: bogatovasn@mail.ru
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=582427

Andrey D. Bogatov — National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
e-mail: bogatovad@list.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9070-9870>
РИИЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=5056
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55996641900>

Evgeny A. Morozov — National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
e-mail: morosovea@mail.ru
РИИЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=160716
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7005066562>

Vasily F. Smirnov — National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia, e-mail: biodeg@mail.ru

Yana A. Sanyagina — Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia, e-mail: sanyagina@mail.ru

Submitted: 2nd December 2024. Revised: 19th February 2024. Published online: 12th March 2024.

Authors' contributions:

Meshalkin Valery Pavlovich — algorithmic support for research.

Erofeev Vladimir Trofimovich — concept, methodology, formulation of research problems, selection of mathematical tools, discussion of results.

Bogatova Svetlana Nikolaevna — study of the physical and mechanical properties of porous glass composites.

Bogatov Andrey Dmitrievich — study of the influence of the aging process of glass-alkaline binders under the influence of aggressive environmental factors on their biological stability.

Morozov Evgeny Anatol'evich — study of the biostability of porous glass composites.

Smirnov Vasily Filippovich — identification of potential biodestructors of glass-alkaline binders, cellular and porous glass composites.

Sanyagina Yana Andreevna — conducting static analysis.

Topic 3.1.8.1. «Fundamental scientific research of high-strength lightweight concrete for 3D printing technology on non-firing ash gravel with the provision of environmentally friendly and resource-saving energy», included in the thematic direction of scientific research of RAASN — 3.1 Development of the theoretical foundations of construction sciences (Section 3.1.8. Development of building materials science and mechanics based on complete recycling of technogenic waste)