

¹Ерофеев В.Т., член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,²Смирнов В.Ф., д-р биол. наук проф.,¹Балатханова Э.М., аспирант,¹Митина Е.А., канд. техн. наук, доц.,¹Богатов А.Д., канд. техн. наук, доц.,¹Казначеев С.В., канд. техн. наук, доц.,²Смирнова О.Н., канд. биол. наук, доц.,¹Родин А.И., канд. техн. наук, ст. преп.,³Варченко Е.А., инженер¹Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва²Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского³Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОСТОЙКОСТИ НАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ И НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

kaznacheevsv@rambler.ru

Во время эксплуатации здания и сооружения подвержены разрушениям от воздействия агрессивных сред различной природы. Причем все большую роль в разрушениях играют микроорганизмы. Основная доля промышленного производства строительных конструкций зданий и сооружений на сегодняшний день приходится на цементный бетон. Биологическое сопротивление цементных композитов ограничено их природой. Совмещением наполнителей различной дисперсности можно получать композиты с улучшенными свойствами. Проведены исследования биостойкости в лабораторных и натуральных условиях цементных композитов, полученных с применением наполнителей месторождений Чеченской Республики. Методом математического планирования эксперимента оптимизированы составы композитов, наполненных порошками, состоящими из смеси частиц различного гранулометрического состава. Установлено, что наиболее устойчивыми в условиях воздействия грибов являются композиты с добавками горного и речного известняка, при этом предпочтительным является использование наполнителей в виде частиц различного гранулометрического состава. Полученные составы при кратковременных лабораторных испытаниях являются биостойкими, но при длительной экспозиции при натуральных условиях они обрастают микроорганизмами. Установлен видовой состав микроорганизмов на поверхности образцов, выдержанных в условиях переменной влажности Черноморского побережья. Выявлены различия видового состава микроорганизмов на образцах выдержанных на открытой площадке и под навесом.

Ключевые слова. Цементные композиты, наполнители, микроорганизмы, оптимизация, биологическая стойкость.

Введение. Во время эксплуатации здания и сооружения подвержены разрушениям от воздействия агрессивных сред различной природы [1, 11]. На предприятиях пищевой, химической, медицинской, микробиологической промышленности, а также в сельскохозяйственных, транспортных, гидротехнических зданиях и сооружениях значительную роль в разрушениях играют микроорганизмы, для развития и размножения которых здесь создаются благоприятные условия [1, 11]. Поражению микроорганизмами подвержены также жилые и общественные здания. Таким образом, на сегодняшний день существует проблема изыскания путей повышения биологического сопротивления и биологической долговечности материалов и конструкций [15].

Основная доля промышленного производства строительных материалов на сегодняшний день приходится на цементный бетон и другие композиционные материалы, изделия и конструкции на их основе. Биологическое сопротивление данных композитов ограничено их

природой, поскольку капиллярно-пористые материалы склонны к активному взаимодействию с микроорганизмами и продуктами их жизнедеятельности. В настоящее время существует широкий набор технологических приемов, позволяющих целенаправленно регулировать структуру, а, следовательно, и свойства цементных композитов, среди которых можно отметить применение наполнителей различной природы и фракционного состава, активация отдельных компонентов и самих бетонных смесей. Наполнители совместно с цементом участвуют в формировании микроструктуры матричной основы и контактных зон композита. Преимущество структуры цементной матрицы с наполнителем состоит в том, что в ней локализуются внутренние дефекты - микротрещины, макропоры и капиллярные поры, а также в том, что уменьшается их количество и размеры, снижается концентрация напряжений. Современные исследования наполненных цементных композитов основываются на принципах полиструктурной теории

композиционных строительных материалов, согласно которой, их структура определяется явлениями, протекающими в зоне контакта жидкой и твердой фаз, т.е. зависит от дисперсности наполнителя, его количественного содержания и физико-химической активности поверхности [3]. Однако использование тонкомолотых добавок делает еще более неоднородным строение композита и усложняет механизм биодegradации. В этой связи при выборе наполнителя для получения биостойкого бетона необходимо учитывать, не только его влияние на пористость композитов, но и интенсивность взаимодействия в системе «цемент – наполнитель» и собственную биостойкость наполнителя.

Наполнитель по эффективности структурообразования разделяют на три степени дисперсности [2, 4]: высокодисперсный наполнитель, удельная поверхность которого значительно выше тонкости помола вяжущего, увеличивающего прочность за счет повышения однородности пор по размеру; наполнитель, удельная поверхность которого близка к дисперсности вяжущего, который играет роль подложки в процессе формирования структуры; наполнитель с грубодисперсной структурой, который играет роль компенсаторов деформации внутри структуры бетонов. Исходя из данной классификации можно предположить, что совмещением наполнителей различной дисперсности можно получать композиты с улучшенными свойствами по сравнению с материалами на однофракционных наполнителях. Данное предположение было положено нами в основу исследований композитов, наполненных порошками, состоящими из смеси частиц различного гранулометрического состава.

В качестве наполнителей для бетонов все шире применяются местные сырьевые материалы. Это позволяет не только экономить дорогостоящее вяжущее без ухудшения физико-технических свойств изделий и конструкций, но и снизить себестоимость готовой продукции. В этой связи нами были проведены исследования биологической стойкости наполненных цементных композитов в которых наполнителями служили молотые порошки песча-

ника (месторождение расположено в Надтеречном районе, в юго-западном направлении в 30-35 км от г. Грозного); кварцевого песка (месторождение расположено на р. Терек в 20 км к северу от г. Грозного); известняка речного (месторождение расположено на р. Хул-Хулау в населенном пункте Цаци-юрт в 25 км к востоку от г. Грозного) и горного (месторождение расположено в населенном пункте Дуба-юрт в 30 км к югу от г. Грозного).

Методология. Оптимизационные исследования выполнялись с помощью математических методов планирования эксперимента (симплекс-решетчатого плана Шеффе). Гранулометрический состав наполнителей варьировался на трех уровнях: фракция 0,63–0,315 мм – X_1 , фракция 0,315–0,16 мм – X_2 , фракция менее 0,16 мм – X_3 . Количество каждой фракции было принято за контролируемую переменную, содержание остальных компонентов было зафиксировано и на протяжении всего опыта оставалось постоянным. Исследованию подвергалась диаграмма «состав – свойство» с вершинами: Z_1 ($X_1 = 100\%$, $X_2 = 0\%$); Z_2 ($X_2 = 100\%$, $X_3 = 0\%$); Z_3 ($X_3 = 100\%$, $X_1 = 0\%$). Исследование биостойкости композитов проводили в лабораторных и натуральных условиях. Контролируемыми параметрами при испытании в лабораторных условиях являлись грибостойкость и фунгицидные свойства материалов, а также изменение их массосодержания после выдерживания образцов в среде мицелиальных грибов. При испытании в натуральных условиях устанавливали видовой состав микроорганизмов, заселяющихся на образцах.

Испытания материалов на грибостойкость и фунгицидность проводились в соответствии с ГОСТ 9.049-91 двумя методами – 1 и 3. Материал считается грибостойким, если он получает оценку по методу 1: 0–2 балла. Материал обладает фунгицидными свойствами, если вокруг образца на питательной среде наблюдается зона отсутствия роста грибов или на поверхности и на краях образцов наблюдается рост грибов, оцениваемый 0 и 1 балл.

Основная часть. Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Матрица планирования

| № опыта | Матрица планирования в кодированных значениях | | | Матрица планирования в натуральных значениях, % | | |
|---------|---|-------|-------|---|-------|-------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | Z_1 | Z_2 | Z_3 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 100,0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 100,0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 100,0 |
| 4 | 1/3 | 2/3 | 0 | 33,0 | 67,0 | 0 |
| 5 | 1/3 | 0 | 2/3 | 33,0 | 0 | 67,0 |
| 6 | 0 | 1/3 | 2/3 | 0 | 33,0 | 67,0 |
| 7 | 2/3 | 1/3 | 0 | 67,0 | 33,0 | 0 |
| 8 | 2/3 | 0 | 1/3 | 67,0 | 0 | 33,0 |
| 9 | 0 | 2/3 | 1/3 | 0 | 67,0 | 33,0 |
| 10 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 33,0 | 33,0 | 33,0 |

Таблица 2

| № опыта | Степень роста грибов, балл | | Характеристика по ГОСТ 9.049-91 | Изменение массо- содержания, % |
|--|----------------------------|---------|---------------------------------|--------------------------------|
| | Метод 1 | Метод 3 | | |
| Композиты, наполненные кварцевым песком | | | | |
| 1 | 0 | 3-4 | грибостоек | 0,00 |
| 2 | 0 | 3 | грибостоек | +1,10 |
| 3 | 0 | 3-4 | грибостоек | +1,96 |
| 4 | 0 | 3 | грибостоек | -1,35 |
| 5 | 0 | 3-4 | грибостоек | 0,00 |
| 6 | 0 | 3-4 | грибостоек | -1,84 |
| 7 | 0 | 4 | грибостоек | -1,62 |
| 8 | 0 | 3 | грибостоек | +0,46 |
| 9 | 0 | 3-4 | грибостоек | +1,53 |
| 10 | 0 | 3-4 | грибостоек | +0,44 |
| Композиты, наполненные песчаником | | | | |
| 1 | 0 | 4 | грибостоек | -1,93 |
| 2 | 0 | 3-4 | грибостоек | -4,07 |
| 3 | 0 | 4 | грибостоек | -3,28 |
| 4 | 0 | 3-4 | грибостоек | -4,22 |
| 5 | 0 | 2-3 | грибостоек | -2,57 |
| 6 | 0 | 2-4 | грибостоек | -3,5 |
| 7 | 0 | 3-4 | грибостоек | -1,38 |
| 8 | 0 | 3-4 | грибостоек | -3,93 |
| 9 | 0 | 3-4 | грибостоек | -2,18 |
| 10 | 0 | 3-4 | грибостоек | 0,00 |
| Композиты, наполненные известняком речным | | | | |
| 1 | 0 | 3-4 | грибостоек | -1,27 |
| 2 | 0 | 2-3 | грибостоек | +1,28 |
| 3 | 0 | 3-4 | грибостоек | -1,31 |
| 4 | 0 | 3-4 | грибостоек | -1,78 |
| 5 | 0 | 2-3 | грибостоек | -1,29 |
| 6 | 0 | 2-3 | грибостоек | -0,65 |
| 7 | 0 | 2-4 | грибостоек | +1,71 |
| 8 | 0 | 2-4 | грибостоек | -0,31 |
| 9 | 0 | 3-4 | грибостоек | -0,93 |
| 10 | 0 | 3-4 | грибостоек | -3,13 |
| Композиты, наполненные известняком горным | | | | |
| 1 | 0 | 3-4 | грибостоек | -0,16 |
| 2 | 0 | 2-4 | грибостоек | -1,96 |
| 3 | 0 | 2-3 | грибостоек | -0,64 |
| 4 | 0 | 2-3 | грибостоек | +2,41 |
| 5 | 0 | 2-4 | грибостоек | -1,07 |
| 6 | 0 | 3-4 | грибостоек | -3,53 |
| 7 | 0 | 3-4 | грибостоек | -1,39 |
| 8 | 0 | 3 | грибостоек | -2,31 |
| 9 | 0 | 2 | грибостоек | -2,62 |
| 10 | 0 | 2-3 | грибостоек | +2,15 |

Как показали результаты исследований, композиты на основе портландцемента, наполненные песком, песчаником и речным и горным известняками не обладают фунгицидными свойствами, но являются грибостойкими.

При проведении исследований по методу 3 наблюдалось обрастание грибами в питательной среде боковых граней образцов. Верхняя поверхность осталась практически чистой и обросла грибами не более чем на 1 балл.

Статистическая обработка результатов экс-

перимента позволила получить зависимости, характеризующие изменение массосодержания наполненных цементных композитов, выдер-

жанных в среде мицелиальных грибов, от вида и гранулометрического состава наполнителей:

композиционные материалы, наполненные кварцевым песком:

$$m = 1,1X_2 + 1,96X_3 - 9,6X_1X_2 - 3,38X_1X_3 - 7,58X_2X_3 + 0,65X_1X_2(X_1 - X_2) + 7,52X_1X_3(X_1 - X_3) + 24,68X_2X_3(X_2 - X_3) + 44,69X_1X_2X_3; \quad (1)$$

композиционные материалы, наполненные песчаником:

$$m = -1,93X_1 - 4,07X_2 - 3,28X_3 + 0,9X_1X_2 - 2,90X_1X_3 + 3,76X_2X_3 + 14,36X_1X_2(X_1 - X_2) - 12,22X_1X_3(X_1 - X_3) + 10,69X_2X_3(X_2 - X_3) + 78,26X_1X_2X_3; \quad (2)$$

композиционные материалы, наполненные известняком речным:

$$m = -1,27X_1 + 1,28X_2 - 1,31X_3 - 0,022X_1X_2 - 2,21X_1X_3 - 3,48X_2X_3 + 28,82X_1X_2(X_1 - X_2) + 6,52X_1X_3(X_1 - X_3) - 7,72X_2X_3(X_2 - X_3) - 68,89X_1X_2X_3; \quad (3)$$

композиционные материалы, наполненные известняком горным:

$$m = -0,16X_1 - 1,96X_2 - 0,64X_3 + 7,06X_1X_2 - 5,81X_1X_3 - 7,99X_2X_3 - 29,7X_1X_2(X_1 - X_2) - 9,45X_1X_3(X_1 - X_3) + 9,11X_2X_3(X_2 - X_3) + 103,07X_1X_2X_3. \quad (4)$$

По уравнениям были построены графики в виде линий равных значений изменения массосодержания, которые представлены на рис. 1.

Из графиков следует, что при воздействии биологически активных сред наилучшие результаты характерны для композитов с добавками кварцевого песка, речного и горного известняков. Предпочтительным при этом является применение наполнителей в виде частиц различного

гранулометрического состава. При отсутствии внешних загрязнений рассмотренные составы являются биостойкими, однако в зданиях с биологически активными средами, а так же при длительной экспозиции в натуральных условиях они могут обрастать мицелиальными грибами и поэтому необходимо принимать меры по их биоо защите.

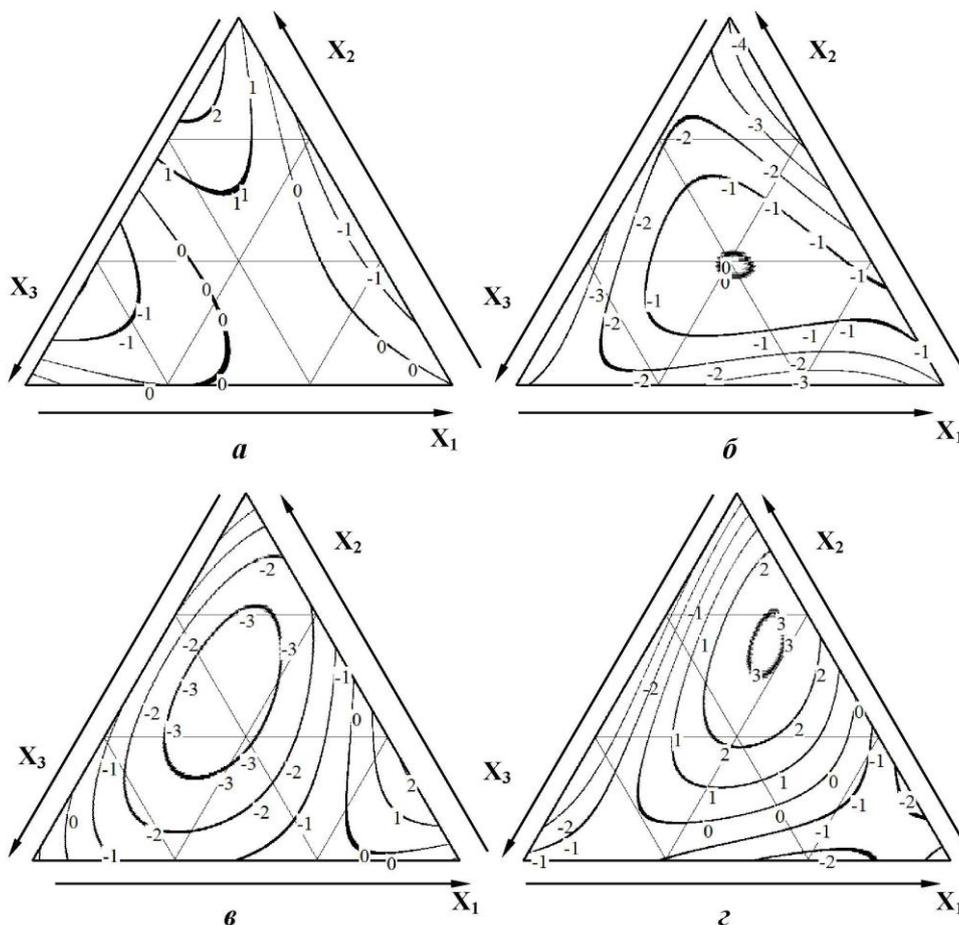


Рис. 1. Изолинии изменения массосодержания цементных композитов с добавкой кварцевого песка (а), песчаника (б), известняка речного (в), известняка горного (г)

Известно, что качество окружающей среды становится одним из важнейших факторов конкурентоспособности стран и регионов. Шестоперов С. В. в своей работе указывает [7], что на первом месте среди агрессивных факторов внешней среды стоит воздух, в тоже время это обстоятельство не учитывается в нормативных документах. В связи с тем, что охрана и укрепление здоровья населения – один из стратегических приоритетов развития России в XXI веке [9, 10], необходимо всемерно снижать отрицательное воздействие геопатогенных зон, которые могут отрицательно влиять на психофизическое состояние человека и действовать в некоторых случаях как разрушающий фактор на конструкции зданий и сооружений.

Наряду с различными физическими и химическими факторами как электромагнитные поля, вибрации, солнечная активность, и др. для строительных материалов и изделий в зданиях и сооружениях опасность представляют антропогенные факторы биологического происхождения [1].

На строительные материалы и изделия микроорганизмы воздействуют не только с внутренней, но и с наружной стороны.

Биологическое повреждение зданий с наружной стороны связано, как с нарушением водоотводящих элементов с гидроизоляцией, так и запыленностью фасадов и повышенным содержанием в воздухе аммиачных, сернистых, углеродистых и других соединений [12].

Следует отметить, что опасность и интенсивность биологических загрязнений и разрушений различных зданий и сооружений неуклонно возрастает в большей степени для городов, в пределах которых находятся крупные промышленные предприятия. Она усугубляется пренебрежением экологическими нормами при строительстве зданий и сооружений, невыполнением норм при их эксплуатации и т. д. [8].

Наряду со снижением срока службы зданий и сооружений биоразрушения вызывают снижение уровня здоровья людей, происходит потеря их трудоспособности. За счет ухудшения городской среды обитания микроорганизмы, содержащиеся на конструкциях, посредством движения воздушных потоков попадают в легкие человека, оседают на коже, вызывая различные болезни [13].

В этой связи важным является установление видового состава микроорганизмов, заселяющихся на поверхности материалов и изделий при их эксплуатации в атмосферных условиях переменной влажности морского побережья, а так же после старения в воде. Морская вода является сложной жидкой средой, в которой содержатся соли – электролиты, агрессивные по

отношению к бетону. Химический состав этих сред включает хлориды натрия, сульфаты и хлориды магния, сульфаты кальция [5]. Химическое взаимодействие агрессивных компонентов морской воды с компонентами цементного камня сопровождается образованием гидротрисульфатоалюмината кальция (эттрингит) либо двуводного гипса [6]. Данные испытания рассматривались нами как ускоренные для оценки видового состава микроорганизмов, заселяющихся на поверхности наполненных композитов, отличающихся видом наполнителя. Для проведения исследований рассматривались композиции, включающие в своем составе порошки кварцевого песка, песчаника, известняка горного и известняка речного. Использовались порошки, гранулометрический состав которых включал зерна размером 0,16–0,315 мм – 33% и менее 0,16 – 67% по объему образцы формировались из теста нормальной густоты. Видовой состав микроорганизмов, установленный на образцах, выдержанных в различных условиях, приведен в табл. 3.

Результаты исследований показали, что со всех видов цементных композитов, выдержанных 3 месяца под навесом на Черноморском побережье было выделено большее количество видов микроскопических грибов, чем с таких же образцов, выдержанных на открытой площадке этого побережья. Это объясняется тем, что под навесом создаются более благоприятные условия для жизнедеятельности микроскопических грибов, контаминируемых испытываемые композиты, а именно: отсутствие движения воздушных масс, отсутствие воздействия солнечной радиации и, в связи с этим, наличие повышенной влажности.

Так, с композитов, наполненных кварцевым песком, выдержанных под навесом, было выделено 8 видов микромицетов, относящихся к 6 родам 2-х классов (Hyphomycetes и Ascomycetes), тогда как с таких же образцов, выдержанных на открытой площадке, было выделено 5 видов микроскопических грибов, принадлежащих к 4 родам одного класса Hyphomycetes.

С образцов (выдерживались под навесом), в состав которых входит песчаник, было выделено 8 видов грибов 6 родов, относящихся к классу Hyphomycetes, с образцов идентичного состава (выдерживались на открытой площадке) выделено всего 5 видов 2 родов и 1 класса Hyphomycetes

Как видно из табл. 3, наименьшее количество видов грибов было выделено с композитов, наполненных горным известняком. По-видимому, это связано с тем, что горный извест-

няк содержит очень мало примесей, способных усваиваться грибами в качестве источника питания. Так, с образцов, выдержанных под навесом, нами выделено 6 грибов, относящихся к 4 родам 2-х классов (Hyphomycetes и

Ascomycetes), а с образцов, выдержанных на открытой площадке Черноморского побережья – только 3 вида, относящихся к 3 родам одного класса.

Таблица 3

Видовой состав микроорганизмов на образцах цементных композитов

| Условия испытания образцов | Видовой состав микроорганизмов на композитах, наполненных различными наполнителями | | | |
|--|---|---|---|---|
| | кварцевым песком | песчаником | известняком горным | известняком речным |
| под навесом на Черноморском побережье | <u>Alternaria alternata</u> , <u>Alternaria brassicae</u> , <u>Aspergillus oryzae</u> , <u>Aspergillus ustus</u> , <u>Botrytis pilulifera</u> , <u>Cladosporium elatum</u> , <u>Fusarium moniliforme</u> , <u>Chaetomium dolichotrichum</u> | <u>Aspergillus niger</u> , <u>Alternaria pluriseptata</u> , <u>Alternaria brassicae</u> , <u>Aspergillus ustus</u> , <u>Penicillium nigricans</u> , <u>Chaetomium dolichotrichum</u> , <u>Cladosporium elatum</u> , <u>Verticillium tenerum</u> | <u>Alternaria pluriseptata</u> , <u>Alternaria alternata</u> , <u>Alternaria brassicae</u> , <u>Chaetomium dolichotrichum</u> , <u>Aspergillus ustus</u> , <u>Cladosporium elatum</u> | <u>Alternaria brassicae</u> , <u>Cladosporium elatum</u> , <u>Aspergillus ustus</u> , <u>Chaetomium globosum</u> , <u>Cladosporium macrocarpum</u> , <u>Chaetomium dolichotrichum</u> , <u>Botrytis pilulifera</u> , <u>Penicillium nigricans</u> , <u>Penicillium claviforme</u> |
| на открытой площадке на Черноморском побережье | <u>Cladosporium macrocarpum</u> , <u>Penicillium urticae</u> , <u>Penicillium puberulum</u> , <u>Alternaria alternata</u> , <u>Gliocladium roseum</u> | <u>Alternaria diauthi</u> , <u>Alternaria brassicae</u> , <u>Penicillium claviforme</u> , <u>Alternaria alternata</u> , <u>Fusarium moniliforme</u> | <u>Cladosporium macrocarpum</u> , <u>Gliocladium roseum</u> , <u>Fusarium moniliforme</u> | <u>Alternaria alternata</u> , <u>Alternaria solani</u> , <u>Alternaria diauthi</u> , <u>Stachybotrys atra</u> , <u>Chaetomium dolichotrichum</u> , <u>Botrytis piluliferum</u> |

Наибольшее количество видов микромицетов нами было выделено с композитов, наполненных речным известняком, что вероятно связано с содержанием в речном известняке органических загрязнений, которые используются грибами в качестве источника энергии и питания. Так, с образцов, выдержанных под навесом идентифицировано 9 видов микроскопических грибов, относящихся к 6 родам и двум классам (Hyphomycetes и Ascomycetes), а с образцов, которые находились на открытой площадке – 6 видов 4 родов и 2 таких же классов.

Выводы:

1. Проведены исследования биостойкости цементных композитов, полученных с применением наполнителей месторождений Чеченской Республики: кварцевого песка, песчаника, известняков горного и речного.

2. Методом математического планирования эксперимента, путем реализации симплекс-решетчатого плана Шеффе, оптимизированы составы композитов, наполненных порошками, состоящими из смеси частиц различного гранулометрического состава.

3. Установлено, что наиболее устойчивыми в условиях воздействия мицелиальных грибов являются композиты с добавкой горного известняка, при этом более предпочтительным является

использование наполнителей в виде частиц различного гранулометрического состава.

4. Полученные составы при кратковременных лабораторных испытаниях являются биостойкими, но при длительной экспозиции при натуральных условиях они обрастают мицелиальными грибами:

- с цементных композитов, выдержанных на Черноморском побережье под навесом, выделено большее количество видов грибов, чем с композитов такого же состава, выдержанных на открытой площадке;

- наименьшее количество видов микромицетов было выделено с композитов, наполненных горным известняком. Это, по-видимому, связано с тем, что горный известняк содержит очень мало примесей, способных усваиваться грибами в качестве источника питания;

- с цементных композитов, наполненных речным известняком, было выделено наибольшее количество видов плесневых грибов, что, вероятно, связано с наличием в его составе органических загрязнений, способных легко утилизироваться микромицетами.

5. Таким образом, результаты лабораторных исследований показали, что цементные композиты при отсутствии внешних загрязнений являются грибостойкими, однако в зданиях и

сооружениях с биологически активными средами, а так же при длительной экспозиции в природных условиях они могут обрести мицелиальными грибами и необходимо принимать меры по их биозащите.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биологическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов и др. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. - 196 с.
2. Калашников В.В., Валиев Д.М., Гуляева Е.В., Володин В.М., Иноземцев С.В. Порошковая активация нормально твердеющих и пропариваемых песчаных бетонов нового поколения // Вестник Волжского регионального отделения: сб. науч. тр. Вып. 15. Нижегород. Гос. архитектур.-строит. ун-т; Н.-Новгород: ННГАСУ. 2012. С. 145-149.
3. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. М. : ВНИИТПИ, 1995. Т. 1. 495 с.
4. Соломатов В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1985. № 8. С. 58-64.
5. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат., 1990. 316 с.
6. Гусев Б.В., Фривусович А.С., Рязанова В.А. Развитие коррозии бетона в агрессивных средах // Бетон и железобетон. 2005. № 5. С. 23-28.
7. Шестоперов С.В. Представления о проблемах, определяющих дорогу получения долговечных цементобетонных покрытий // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов. Тез. докл. всеобщей конференции. Харьков. 1983. С. 132
8. Цементные композиты на основе магнитно- и электрохимически активированной воды затворения : монография / Ю. М. Баженов, С. В. Федосов, В. Т. Ерофеев [и др.]. Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2011. 128 с.
9. Чистякова С. Б. Здоровье населения России – стратегия развития среды жизнедеятельности // Здоровье населения – стратегия развития среды жизнедеятельности : в 2 т. : сб. ст. к общему собранию РААСН / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова : Изд-во БГТУВ, 2008. Т. 1. С. 4-17.
10. Хотунцев Ю. Л. Экология и экологическая безопасность. М. : Академия. 2002. 480 с.
11. Микробиологическое разрушение материалов : учеб. Пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство» / [Ерофеев В. Т. И др.] ; под ред. В. Т. Ерофеева и В. Ф. Смирнова. Москва, 2008. – 128 с.
12. Невилль А.М. Свойства бетона / А.М. Невилль; пер. с англ. В.Д. Парфенова и Т.Ю. Якуб. М.: Стройиздат, 1972. 334 с.
13. Батраков В. Г., Каприелов С. С., Иванов Ф. М., Шейнфельд А. В. Оценка ультрадисперсных отходов металлургических производств как добавок в бетон // Бетон и железобетон. №12. 1990. С. 15-17.
14. Kirk P. M. et al. Ainswoth & Bisby's Dictionary of the Fungi. Wallingford^ CABI, 2008. 771 p.
15. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина : монография / [Ерофеев В. Т. И др.] ; под ред. П. Г. Комохова, В. Т. Ерофеева, Г. Е. Афиногенова. – СПб. : Наука, 2009. 192 с.