УДК 691.16

**Климатическая стойкость композитов на основе битумных связующих**

Ерофеев В.Т.1, д.т.н., Сальникова А.И.1, Старцев О.В.2, Медведев И.М.2

Vladimir T. Erofeev, Anzhelika I. Salnikova, **Oleg V. Starcev,** Ivan M. Medvedev

e-mail: anzhelika\_salnikova@mail.ru

***Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва***

*Геленджикский центр климатических испытаний имени Г.В. Акимова ВИАМ*

**Аннотация:**

Исследование климатической стойкости композитов на основе битумных связующих позволяет создавать асфальтобетонные покрытия с высокими эксплуатационными свойствами.

**Ключевые слова:**

автомобильные дороги, асфальтобетон, битум, модифицированный битум, битумное связующее, долговечность, биостойкость.

**Abstract:**

Investigation of climate resistance of composites based on bituminous binder enables you to create asphalt concrete pavement with high performance.

**Keywords**: roads, asphalt, bitumen, modified bitumen, bituminous binder, durability, biostability.

**Реферат:** В работе представлены результаты лабораторных исследований биостойкости битумных композитов. Выявлено, что введение в состав битумных композитов специальных модификаторов изменяет их грибостойкость. Приведены результаты исследования влияния факторов ультрафиолетового облучения, влажного климата Черноморского побережья и морской воды на физико-механические характеристики асфальтовых композитов, изготовленных на основе битумных связующих. Установлено, что морская вода оказывает негативное влияние на большинство физико-механических характеристик асфальтовых композитов.  Представлены результаты натурных опытов биостойкости битумных связующих по установлению видового состава мицелиальных грибов, заселяющих образцы при выдерживании их в климатических условиях Черноморского побережья. Показано, что значительное влияние на разнообразие видового состава микроорганизмов оказывают условия экспозиции образцов и состав композитов. Изучено влияние предварительного старения битумных композитов в морской воде на обрастаемость образцов мицелиальными грибами. Выявлены наиболее стойкие к воздействию климатических факторов, мицелиальных грибов составы асфальтовых вяжущих. Результаты исследований могут быть использованы при изготовлении долговечных дорожных асфальтобетонов.

Асфальтобетонные покрытия в эксплуатационных условиях подвержены старению под воздействием бактерий, мицелиальных грибов, актиномицетов, температуры окружающего воздуха, ультрафиолетового облучения, влажности, а также других погодно-климатических условий в зависимости от дорожно-климатической зоны. Агрессивное воздействие данных факторов усиливается в климатических зонах морского побережья.

Для изучения долговечности асфальтобетонной смеси необходимо изучение процессов старения его главного структурирующего компонента – битума нефтяного дорожного вязкого. Экспонирование композитов под воздействием агрессивных климатических условий позволяет ускорить механизмы старения. Исследование физико-механических и оптических свойств, биологического сопротивления композитов на основе битумных связующих после воздействия климатических факторов позволяет выявить оптимальные составы с высокими эксплуатационными показателями, пригодные для использования в дорожных покрытиях. Так, например, в районах с высокими летними температурами и повышенной солнечной радиацией битумы должны отвечать требованиям, снижающим интенсивность его старения.

Низкая биостойкость битумов отрицательно сказывается на долговечности строительных материалов, приготовленных с его использованием. Очевидно, что необходимо предусматривать методы защиты данных материалов от разрушающих воздействий микроорганизмов, имеющихся в больших количествах в окружающей среде [1].

В последние годы получило широкое развитие производство асфальтобетонов и щебеночно-мастичных асфальтобетонов на основе битумов модифицированных различными ПАВ, присадками, термоэластопластами и т.п.

Введение модификаторов позволяет получить высококачественное покрытие даже в современных условиях интенсивного движения и образования протяженных пробок, следствием которых является многократно возрастающее силовое воздействие на покрытие. Однако в каждом конкретном случае (с учетом климатических особенностей региона и ожидаемой интенсивности и скорости движения) необходимо подбирать наиболее эффективные модификаторы, оптимальный размер частиц и концентрацию вводимого модификатора [2,3].

Целью проводимых исследований на кафедре строительных материалов и технологий Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва совместно с Геленджикским центром климатических испытаний имени Г.В. Акимова (ГЦКИ ВИАМ) является изучение влияния старения на физико-механические свойства композитов на основе битумных связующих, изучение механизмов деструктивных процессов в лабораторных условиях, а также установление факторов, влияющих на видовой состав микроскопических грибов, выделенных при испытаниях композитов в натурных условиях (воздействие повышенной влажности, ультрафиолетового облучения, солевого тумана, морской воды).

При проведении исследований применялись следующие материалы: битум марки БНД 60/90 по ГОСТ 22245-90 (ОАО «Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез», г. Кстово); модификаторы Олазол, Телаз марок Л5 и Л7 – специально синтезированные добавки (ООО «Интерпромсервис» г. Саров); модификатор битума и термопластичных полимеров Kraton D-1101 – чистый линейный блок-сополимер на основе стирола и бутадиена с содержанием стирола 31 мас.% (Kraton Polymers, USA); масло индустриальное марки И-20А по ГОСТ 20799-88; неактивированный минеральный порошок МП-1 из карбонатных пород с истинной плотностью – 2,71 г/см³ и средней плотностью – 1,71 г/см³ по ГОСТ Р 52129-2003 (ООО «Иссинский комбинат строительных материалов», п.г.т. Исса).

Для исследования свойств битумных связующих были изготовлены образцы из бинарной смеси (минеральный порошок и битум). Оптимальное содержание минерального порошка в асфальтовом вяжущем нами подбиралось согласно ГОСТ Р 52129-2003. Содержание компонентов в полученных составах приведено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание компонентов в асфальтовых вяжущих

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Компоненты | Содержание компонентов в составах, % по массе | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Битум марки БНД 60/90 | 15,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 7,5 | 9,5 |
| Минеральный порошок | 84,5 | 84,5 | 84,5 | 84,5 | 84,5 | 84,5 |
| Олазол | - | 2,0 | - | - | 2,0 | - |
| Телаз марки Л5 | - | - | 2,0 | - | - | - |
| Телаз марки Л7 | - | - | - | 2,0 | - | - |
| Kraton D-1101 | - | - | - | - | 3,0 | 3,0 |
| Масло индустриальное марки И-20А | - | - | - | - | 3,0 | 3,0 |

Использование асфальтовых вяжущих для исследования свойств битумных связующих связано с тем, что именно свойства асфальтового вяжущего, зависящие от соотношения количества битума и минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси, оказывают значительное влияние на свойства получаемого асфальтобетона. Поэтому, при проектировании состава асфальтобетона одним из важнейших факторов, определяющих его свойства, является получение оптимального состава асфальтового вяжущего, обеспечивающего получение требуемых характеристик асфальтобетона [4]. При взаимодействии битума с минеральными частицами менее 0,071 мм в процессе получения асфальтобетонных смесей формируется микроструктура асфальтобетонной смеси и в дальнейшем при объединении асфальтового вяжущего с мелкими и крупными заполнителями - асфальтобетона. Вместе с битумом минеральный порошок образует структурированную дисперсную систему, которая и выполняет роль вяжущего материала в асфальтобетоне [5].

На первом этапе работынами были проведены лабораторные исследования биостойкости асфальтовых вяжущих на основе битумных связующих.

Для исследования биостойкости асфальтовых вяжущих на основе разрабатываемых битумных связующих нами была изготовлена специальная форма, на которой возможно получить одновременно семь образцов-балочек размером 1×1×3 см (данные размеры позволяют укладывать образцы в чашки Петри) [6]. На данной форме были изготовлены образцы асфальтового вяжущего и произведена оценка грибостойкости и фунгицидности в соответствии с ГОСТ 9.049-91 (методы 1 и 3) в лаборатории микробиологического анализа НИИХ ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород). Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний грибостойкости, балл

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатель  № состава | Метод 1 | Метод 3 | Характеристика по ГОСТ 9.049-91 |
| 1 | 3 | 5 | Негрибостойкий |
| 2 | 3 | 5 | Негрибостойкий |
| 3 | 1 | 5 | Грибостойкий |
| 4 | 1 | 5 | Грибостойкий |
| 5 | 4 | 4 | Негрибостойкий |
| 6 | 2 | 4 | Грибостойкий |

Проведенные исследования показали, что состав 1 не проявил грибостойких свойств. Введение в данный состав различных модификаторов оказывает неоднозначное влияние на его грибостойкость. Так введение Олазола в составы 2 и 5 не придает им грибостойкости. Введение специальных добавок марок Телаз Л5 и Телаз Л7 в составы 3 и 4 обеспечивает им устойчивость к действию микромицетов, рост которых на поверхности образцов получил оценку 1 балл (под микроскопом видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий), т.е. материал содержит питательные вещества, которые обеспечивают незначительное развитие грибов. Состав 6, содержащий модификатор Kraton D-1101, введенный совместно с индустриальным маслом, также проявил грибостойкие свойства, оцениваемые в 2 балла (под микроскопом виден развитый мицелий, возможно спороношение). Следует отметить, что введение в состав битумной композиции специальной добавки Олазол, приводит к снижению ее грибостойких свойств (составы 5 и 6).

Результаты испытаний показали, что все испытанные образцы битумных композитов не обладают фунгицидной активностью по отношению к смеси используемых тест-культур грибов [7].

На втором этапе работы нами были проведены натурные исследования воздействия климатических факторов на асфальтовые вяжущие на основе битумных связующих. Для этого были изготовлены образцы асфальтовых вяжущих цилиндрической формы с диаметром d=50 мм с использованием формы по ГОСТ 1280-98 (раздел 6).

Полученные образцы асфальтовых вяжущих выдерживали в условиях воздействия черноморского климата на площадке Геленджикского центра климатических испытаний им. Г.В. Акимова (ГЦКИ ВИАМ, г. Геленджик). Образцы асфальтовых вяжущих были выдержаны в следующих условиях: открытая атмосферная площадка, атмосферная площадка под навесом и морская вода. Срок выдерживания образцов составлял 12 и 24 месяца. После выдерживания в исследуемых средах образцы, а также контрольные варианты образцов были исследованы на изменение основных физико-механических свойств, среди которых рассматривались: плотность (ρm, г/см3), водонасыщение (W, %), прочность при сжатии (Rсж, МПа) при 50±2 ºС, 20±2 ºС и 0±2 ºС. Кроме того, анализировалось изменение массы образцов (Δm, г) после 12 и 24 месяцев испытаний, коэффициент водостойкости, коэффициент теплоустойчивости () и коэффициент термостабильности **(**) [8].

В табл. 3 приведены результаты физико-механических испытаний контрольных образцов асфальтовых вяжущих без условий испытаний, в табл. 4 - результаты физико-механических испытаний образцов, выдержанных в условиях открытой атмосферной площадки, в табл. 5 - в условиях атмосферной площадки под навесом, в табл. 6 - в морской воде.

Таблица 3

Результаты испытаний контрольных образцов без условий испытаний

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Свойства | Показатели для составов | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Средняя плотность ρm, г/см3 | 1,99 | 2,02 | 2,05 | 2,01 | 1,98 | 1,97 |
| Водонасыщение W, % | 4,94 | 3,62 | 5,29 | 2,95 | 4,74 | 10,13 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 50 ºС, МПа | 3,32 | 3,65 | 2,90 | 3,01 | 3,55 | 3,16 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 20 ºС, МПа | 7,84 | 6,82 | 7,05 | 6,98 | 6,87 | 6,76 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 0 ºС, МПа | 8,87 | 10,25 | 9,12 | 9,85 | 9,78 | 9,17 |
| Изменение массы образца Δm, г | +0,27 | -0,26 | +0,53 | +0,61 | +0,34 | +0,58 |
| Коэффициент теплоустойчивости | 2,36 | 1,87 | 2,43 | 2,32 | 1,94 | 2,14 |
| Коэффициент термостабильности | 2,67 | 2,81 | 3,14 | 3,27 | 2,75 | 2,90 |

Таблица 4

Результаты испытаний образцов, выдержанных в условиях открытой атмосферной площадки

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Свойства | | Показатели для составов | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Средняя плотность  ρm, г/см3 | 12 мес. | 2,00 | 1,98 | 2,03 | 2,05 | 1,95 | 1,97 |
| 24 мес. | 2,14 | 2,15 | 2,03 | 2,13 | 2,06 | 2,05 |
| Водонасыщение  W, % | 12 мес. | 5,85 | 8,10 | 4,31 | 2,55 | 7,41 | 2,01 |
| 24 мес. | 1,79 | 2,56 | 5,19 | 3,21 | 2,92 | 4,26 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 50 ºС, МПа | 12 мес. | 3,80 | 3,99 | 3,37 | 3,66 | 2,43 | 3,41 |
| 24 мес. | 3,38 | 3,90 | 3,47 | 3,87 | 3,96 | 2,34 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 20 ºС, МПа | 12 мес. | 7,84 | 6,45 | 6,28 | 6,97 | 5,49 | 4,66 |
| 24 мес. | 7,60 | 8,47 | 7,08 | 7,77 | 6,52 | 8,40 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 0 ºС, МПа | 12 мес. | 10,22 | 9,94 | 9,75 | 10,82 | 11,91 | 7,17 |
| 24 мес. | 12,28 | 11,38 | 10,79 | 10,29 | 8,68 | 9,63 |
| Изменение массы образца Δm, г | 12 мес. | -0,16 | +0,28 | +0,34 | +0,12 | -0,32 | -0,09 |
| 24 мес. | +3,59 | +0,13 | +0,04 | -0,01 | -0,27 | -0,41 |
| Коэффициент теплоустойчивости | 12 мес. | 2,06 | 1,62 | 1,86 | 1,90 | 2,26 | 1,37 |
| 24 мес. | 2,25 | 2,17 | 2,04 | 2,01 | 1,65 | 3,59 |
| Коэффициент термостабильности | 12 мес. | 2,69 | 2,49 | 2,89 | 2,96 | 4,90 | 2,10 |
| 24 мес. | 3,63 | 2,92 | 3,11 | 2,66 | 2,19 | 4,12 |
| Коэффициент водостойкости | 12 мес. | - | - | - | - | - | - |
| 24 мес. | 1,16 | 1,01 | 1,06 | 1,08 | 1,38 | 0,88 |

В группе образцов, выдержанных в условиях открытой атмосферной площадки (табл. 4) прослеживаются следующие изменения: плотность практически неизменна для всех составов после 12 месяцев их экспонирования, по сравнению с контрольными образцами (табл. 3). После 24 месяцев наблюдается наибольшее повышение плотности (в 1,09 раз) состава 1 по сравнению с контрольными образцами (табл. 3). В модифицированных же составах наблюдается повышение плотности в 1,04-1,06 раза, а плотность состава 3 с модификатором Телаз марки Л5 показатель остается стабильным. Плотность асфальтовых вяжущих является основным показателем для оценки структуры материала. Введение модификаторов Телаз Л5, Телаз Л7 и полимера Kraton D-1101 (составы 3, 4 и 6) способствует снижению показателя водонасыщения в 1,16-7,23 раза, по сравнению с контрольными составами, после 12 месяцев экспонирования образцов. После 24 месяцев происходит незначительное снижение водонасыщения у составов 1-3, 5-6 (в 1,02-2,76 раза). У составов 1-4 и 6 происходит повышение предела прочности при сжатии при 50 ºС в 1,08-1,22 раза при выдерживании в течении 12 месяцев (табл. 4), при этом у состава 5 наблюдается наибольший спад прочности при 50 ºС (в 1,46 раза). После 24 месяцев экспонирования образцов наблюдается спад прочности у состава 6 (в 1,35 раза), что свидетельствует о процессе старения. Предел прочности при сжатии при 20 ºС незначительно снижается после 24 месяцев выдерживания составов 1 и 5. Предел прочности при сжатии при 0 ºС снижается в 1,13 раз по сравнению с контрольным составов после 24 месяцев выдерживания состава 5, а у остальных исследуемых составов наблюдается повышение прочности. Наиболее теплоустойчивым и термостабильным является состав 6, что означает что дорожное покрытие будет противостоять деформациям в виде волн, сдвигов, наплывов при высокой температуре, а также трещинообразованию при низких температурах.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов, выдержанных в условиях атмосферной площадки под навесом

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Свойства | | Показатели для составов | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Средняя плотность  ρm, г/см3 | 12 мес. | 1,99 | 2,04 | 2,05 | 2,00 | 1,94 | 1,91 |
| 24 мес. | 2,09 | 2,08 | 2,04 | 2,02 | 2,14 | 1,89 |
| Водонасыщение  W, % | 12 мес. | 5,77 | 2,79 | 3,30 | 5,07 | 6,82 | 8,65 |
| 24 мес. | 2,46 | 4,21 | 4,06 | 7,23 | 3,93 | 8,99 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 50 ºС, МПа | 12 мес. | 3,19 | 4,14 | 3,37 | 3,15 | 3,31 | 3,66 |
| 24 мес. | 2,48 | 3,53 | 3,04 | 2,65 | 2,77 | 3,26 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 20 ºС, МПа | 12 мес. | 6,57 | 6,63 | 6,82 | 6,49 | 5,94 | 4,40 |
| 24 мес. | 7,43 | 7,51 | 7,03 | 6,21 | 6,17 | 6,87 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 0 ºС, МПа | 12 мес. | 9,70 | 9,95 | 9,66 | 10,23 | 10,71 | 8,13 |
| 24 мес. | 10,44 | 11,31 | 9,96 | 10,59 | 9,52 | 9,36 |
| Изменение массы образца Δm, г | 12 мес. | +0,30 | +0,35 | +0,42 | +0,38 | +0,17 | +0,21 |
| 24 мес. | -0,09 | +0,51 | +0,44 | +0,19 | +0,31 | +0,02 |
| Коэффициент теплоустойчивости | 12 мес. | 2,06 | 1,60 | 2,02 | 2,06 | 1,79 | 1,20 |
| 24 мес. | 3,00 | 2,13 | 2,31 | 2,34 | 2,23 | 2,11 |
| Коэффициент термостабильности | 12 мес. | 3,04 | 2,40 | 2,87 | 3,25 | 3,24 | 2,22 |
| 24 мес. | 4,21 | 3,20 | 3,28 | 4,00 | 3,44 | 2,87 |
| Коэффициент водостойкости | 12 мес. | - | - | - | - | - | - |
| 24 мес. | 1,07 | 1,01 | 1,05 | 1,18 | 1,42 | 0,67 |

В группе образцов, выдержанных в условиях атмосферной площадки под навесом (табл. 5) прослеживаются следующие изменения. Наблюдается сохранение стабильных значений плотности у всех составов после 12 месяцев экспонирования образцов. После 24 месяцев наблюдается незначительное повышение плотности по сравнению с контрольными образцами. Плотность состава 3 с модификатором Телаз марки Л5 показатель остается стабильным, как и в условиях выдерживания в открытой атмосферной площадке. Снижается плотность (в 1,04 раза) у состава 6 после 24 месяцев экспонирования по сравнению с контрольными образцами. Введение в битум модификаторов Олазол, Телаз Л5 и Kraton D-1101 (составы 2, 3 и 6) позволяет снизить водонасыщение в 1,17-2,37 раза, по сравнению с контрольными образцами, после 12 месяцев экспонирования образцов. После повышения водонасыщения к 12 месяцам у составов 1 и 5 наблюдается ее спад к 24 месяцам в 1-1,2 раза. У всех исследуемых составов происходит снижение предела прочности при сжатии при 50 ºС при выдерживании в течении 24 месяцев (табл. 4). Предел прочности при сжатии при 20 ºС снизился после 12 месяцев выдерживания у всех составов, однако, к 24 месяцам произошло повышение у составов 2, 3 и 6. Предел прочности при сжатии при 0 ºС повысился по сравнению с контрольными составами после 24 месяцев выдерживания у всех составов за исключение состава 5. Наиболее теплоустойчивыми и термостабильными являются состав 1 (без модификаторов) и состав 4. В составе 6, несмотря на менее агрессивные условиях испытания, наблюдаются низкие показатели теплоустойчивости и термостабильности.

Таблица 6

Результаты испытаний образцов, выдержанных в условиях морской воды

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Свойства | | Показатели для составов | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Средняя плотность  ρm, г/см3 | 12 мес. | 2,06 | 2,04 | 2,04 | 2,02 | 2,05 | 1,96 |
| 24 мес. | 2,12 | 2,11 | 2,12 | 2,11 | 2,07 | 2,08 |
| Водонасыщение  W, % | 12 мес. | 0,40 | 1,93 | 2,62 | 2,01 | 0,94 | 1,82 |
| 24 мес. | 1,57 | 2,93 | 3,20 | 4,51 | 7,32 | 9,23 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 50 ºС, МПа | 12 мес. | 2,85 | 2,77 | 1,97 | 2,21 | 2,39 | 2,16 |
| 24 мес. | 2,38 | 2,42 | 2,75 | 1,74 | 1,86 | 2,17 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 20 ºС, МПа | 12 мес. | 7,21 | 7,68 | 7,26 | 7,87 | 7,04 | 7,48 |
| 24 мес. | 7,01 | 6,65 | 7,43 | 6,19 | 4,48 | 3,74 |
| Предел прочности при сжатии Rсж при 0 ºС, МПа | 12 мес. | 10,15 | 10,01 | 10,03 | 9,63 | 8,69 | 6,13 |
| 24 мес. | 9,57 | 9,36 | 7,58 | 9,61 | 8,39 | 9,33 |
| Изменение массы образца Δm, г | 12 мес. | +3,95 | +3,47 | +6,63 | +6,87 | +4,65 | +8,65 |
| 24 мес. | +3,16 | +2,05 | +1,88 | +3,25 | +0,54 | +1,16 |
| Коэффициент теплоустойчивости | 12 мес. | 2,53 | 2,77 | 3,69 | 3,56 | 2,95 | 3,46 |
| 24 мес. | 2,95 | 2,75 | 2,70 | 3,56 | 2,41 | 1,72 |
| Коэффициент термостабильности | 12 мес. | 3,56 | 3,61 | 5,09 | 4,36 | 3,64 | 2,84 |
| 24 мес. | 4,02 | 3,87 | 2,76 | 5,52 | 4,51 | 4,30 |
| Коэффициент водостойкости | 12 мес. | - | - | - | - | - | - |
| 24 мес. | 0,87 | 0,92 | 0,85 | 0,85 | 1,15 | 1,06 |

В группе образцов, выдержанных в условиях морской воды (табл. 6) прослеживаются следующие изменения. После 24 месяцев наблюдается наибольшее повышение плотности (в 1,07 раз) состава 1 по сравнению с контрольными образцами (табл. 3). В модифицированных же составах наблюдается повышение плотности в 1,03-1,06 раза (составы 2-6). Во всех образцах после 12 месяцев экспонирования наблюдается снижение водонасыщения от 1,47 раза (состав 4) до 12,35 раза (состав 1). К 24 месяцам наблюдается рост показателя водонасыщения по сравнению с 12 месяцами экспонирования в 1,52-7,78 раз. Наиболее низким показателем водонасыщения (W=0,40 %) обладает состав 1 без модификаторов экспонированный 12 месяцев в морской воде, по сравнению со всеми условиями испытаний. У всех исследуемых составов происходит снижение предела прочности при сжатии при 50 ºС, 20 ºС и 0 ºС по сравнению с контрольными составами. Однако у состава 6 после выдерживания в течение 24 месяцев в морской воде произошло незначительное повышение прочности. Из результатов видно, что у всех образцов испытанных в морской воде наблюдается увеличение массы после испытания. Наиболее теплоустойчивым и термостабильным при агрессивном воздействии морской воды является состав 4. Можно отметить отрицательное влияние морской воды на физико-механические свойства асфальтовых вяжущих.

Таким образом, в результате исследований установлено, что климатические факторы черноморского побережья оказывают влияние на асфальтовые вяжущие изготовленные на основе битумных связующих. Практически во всех составах выдержанных 24 месяца наблюдается повышение плотности. Как правило, химическое старение битумов сопровождающееся повышением их плотности, вызывает в них при невозможности свободного деформирования усадочные напряжения.

На третьем этапе работыпроведены исследования видового состава микобиоты, выделенной с битумных и полимербитумных вяжущих, экспонированных в условиях влажного морского климата и после старения в морской воде.

Известно, что наиболее легко развиваются микроорганизмы в условиях повышенной влажности. Сухой материал в меньшей степени подвержен биоповреждению. В воде материал также может сохраняться достаточно долго, так как развитию микроорганизмов препятствует отсутствие достаточного количества кислорода. Наибольшее поражение материалов микромицетами происходит в теплом влажном климате [9].

В условиях эксплуатации в различных климатических зонах строительные материалы и изделия из них подвергаются воздействию факторов внешней среды, которые оказывают влияние как на жизнедеятельность биоагентов, так и на изменение химического состава и структуры материала, что, в конечном счете, оказывает влияние на процесс биоразрушения [10]. В этой связи были проведены натурные исследования в условиях влажного морского климата.

После выдерживания образцов в условиях открытой атмосферной площадки, атмосферной площадки под навесом и морской воды (отдельная партия образцов после выдерживания в морской воде в течение 12 месяцев затем экспонировалась в течение 1 месяца на открытом воздухе под навесом) на площадке Геленджикского центра климатических испытаний им. Г.В. Акимова (ГЦКИ ВИАМ, г. Геленджик) в течение 12 месяцев, проведены исследования видового состава микроскопических грибов, заселяющих их, в лаборатории микробиологического анализа НИИ химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород). Результаты испытаний приведены в табл. 7.

Таблица 7

Видовой состав микромицетов, выделенных с испытуемых образцов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | На открытой атмосферной площадке | Под навесом | Под навесом после  старения в морской воде |
| 1 | *Chaetomium dolichortrichum, Alternaria brassicae, Paecilomyces variotii, Cladosporium elatum, Aspergillus ustus, Mucor corticola* | *Alternaria solani, Chaetomium globosum, Paecilomyces variotii, Aspergillus ustus, Alternaria alternata, Alternaria brassicae, Aspergillus oryzae, Aspergillus niger* | *Cladosporium elatum, Aspergillus ustus, Penicillium cyclopium, Fusarium moniliforme, Aspergillus niger* |
| 2 | *Aspergillus oryzae, Alternaria brassicae, Chaetomium dolichortrichum, Paecilomyces variotii, Cladosporium elatum, Cladosporium herbarum, Alternaria alternata, Fusarium avenaceum, Aspergillus ustus, Chaetomium bostrychodes, Penicillium nigricans* | *Chaetomium dolichortrichum, Chaetomium globosum, Alternaria brassicae, Stachybotrys chartarum, Cladosporium elatum, Paecilomyces variotii, Alternaria solani* | *Penicillium chrysogenum, Chaetomium dolichortrichum, Cladosporium elatum, Cladosporium herbarum, Alternaria brassicae, Aspergillus ustus, Penicillium cyclopium, Paecilomyces variotii, Fusarium moniliforme* |
| 3 | *Aspergillus niger, Paecilomyces variotii, Alternaria brassicae, Cladosporium elatum, Aspergillus oryzae, Stachybotrys chartarum, Aspergillus ustus, Mucor corticola, Cladosporium herbarum* | *Chaetomium globosum, Alternaria solani, Fusarium moniliforme, Fusarium sambucinum, Aspergillus oryzae, Cladosporium herbarum, Alternaria alternata, Alternaria brassicae, Chaetomium dolichortrichum* | *Fusarium moniliforme, Cladosporium elatum, Aspergillus oryzae, Penicillium chrysogenum, Paecilomyces variotii, Penicillium claviforme, Alternaria alternata, Aspergillus ustus* |
| 4 | *Cladosporium herbarum, Paecilomyces variotii, Alternaria brassicae, Alternaria pluriseptata, Chaetomium globosum, Cladosporium elatum, Aspergillus ustus, Aspergillus oryzae, Chaetomium bostrychodes, Fusarium moniliforme* | *Chaetomium dolichortrichum, Alternaria alternata, Alternaria brassicae, Paecilomyces variotii, Aspergillus ustus, Cladosporium elatum* | *Penicillium chrysogenum, Penicillium notatum, Alternaria brassicae, Aspergillus ustus, Chaetomium dolichortrichum, Chaetomium bostrychodes, Fusarium moniliforme* |
| 5 | *Chaetomium dolichortrichum, Chaetomium globosum, Alternaria brassicae, Cladosporium elatum, Cladosporium herbarum, Paecilomyces variotii, Penicillium claviforme, Fusarium moniliforme, Alternaria solani, Aspergillus ustus, Aspergillus oryzae, Penicillium nigricans* | *Chaetomium dolichortrichum, Fusarium moniliforme, Alternaria brassicae* | *Fusarium moniliforme, Penicillium cyclopium, Cladosporium elatum, Alternaria brassicae, Cladosporium herbarum, Chaetomium bostrychodes* |
| 6 | *Alternaria alternata, Alternaria solani, Alternaria brassicae, Cladosporium herbarum, Cladosporium elatum, Penicillium nigricans, Botryotrichum piluliferum, Paecilomyces variotii, Aspergillus oryzae* | *Paecilomyces variotii, Alternaria solani, Aspergillus oryzae, Fusarium moniliforme, Aspergillus ustus, Alternaria brassicae* | *Fusarium moniliforme, Penicillium cyclopium, Penicillium chrysogenum, Aspergillus ustus, Alternaria brassicae, Chaetomium bostrychodes, Cladosporium herbarum* |

Испытания показали, что условия экспозиции и состав образцов влияют на видовой состав микроскопических грибов. Так, для большинства образцов, размещенных на открытой атмосферной площадке, имеет место повышение видового разнообразия микромицетов, по сравнению с образцами, выдержанных под навесом. Отмечается некоторое увеличение количества видов грибов, заселяющих образцы после старения их в морской воде. Что, по-видимому, связано с тем, что битумные составы после разрушающего действия морской воды, становятся более доступным субстратом для грибов.

С образцов, выдержанных в условиях открытой атмосферной площадки было выделено 20 видов микроскопических грибов. Результаты исследований показали, что введение различных модификаторов в битум приводит к увеличению разнообразия микроскопических грибов, заселяющих их. Так, введение модификатора Олазол в битумное и полимербитумное вяжущее (составы 2, 5) приводит к максимальному увеличению разновидностей микроскопических грибов (11 и 12 видов соответственно). Введение модификатора Телаз Л5 в битумное вяжущее (состав 3) приводит к уменьшению видов микроскопических грибов (7 видов) по сравнению с составами с модификаторами.

С образцов, находящихся под навесом на побережье было выделено 15 видов микроскопических грибов. Микроскопический гриб *Alternaria brassicae* встречается на всех исследуемых составах. С состава 5, выдержанного под навесом, выделено минимальное количество видов микроскопических грибов (3 вида). В составе 3, напротив, увеличилось количество видов микроскопических грибов в отличие от условий на открытой атмосферной площадке. Такие микроскопические грибы как *Mucor corticola, Fusarium avenaceum, Penicillium nigricans, Alternaria pluriseptata, Botryotrichum piluliferum*, обнаруженные в условиях открытой атмосферной площадке, не выявлены в исследуемых составах в условиях выдерживания под навесом.

С образцов, предварительно выдержанных в морской воде (после старения) было выделено 16 видов микроскопических грибов. Микроскопический гриб *Fusarium moniliforme* наблюдается на всех исследуемых составах. Также важно отметить, что после старения в морской воде на всех образцах преобладает род *Penicillium*. С состава 5, выдержанного в морской воде, также как и в условиях атмосферной площадки под навесом выделено минимальное количество видов микроскопических грибов.

Таким образом, выявлено, что видовой состав микроскопических грибов, выделенных после выдерживания в климатических средах Черноморского побережья с образцов асфальтовых вяжущих на основе битумных и полимербитумных композитов, зависит от их состава и условий экспозиции [7].

В результате проведенных исследований были выявлены оптимальные составы битумных вяжущих, стойких к биологическому разрушению и воздействию климатических факторов. Подана заявка на получение патента на изобретение «Модифицированный битум», содержащий модификатор Олазол – продукт конденсации кислот с полиаминами в количестве 0,5-2,0 мас.%. Полученный модифицированный битум обладает повышенными адгезионными свойствами к минеральным материалам кислого и основного химико-минералогического состава, а также позволяет замедлить процесс теплового старения, повысить стойкость к воздействию плесневых грибов [11].

Несмотря на применение современных технологий при строительстве автомобильных дорог в России, актуальным вопросом остается создание долговечного асфальтобетона, который будет обладать высокими физико-механическими свойствами и способным противостоять агрессивному воздействию климатических факторов и биокоррозии.

Литература

1. Пронькин С.П. Стойкость битумных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов : дис. … канд. тех. наук / С.П. Пронькин ; Пенз. госуд. универ. арх. и строит., 2006. - С. 42.
2. Дубина С.И. Модифицированные битумные вяжущие и асфальтобетоны, устроенные на их основе (современный аспект). Основные положения повышения сдвигоустойчивости асфальтобетона / С.И. Дубина, В.Г. Никольский, Т.В. Дударева // Автомобильные дороги. – 2013. – № 4. – С. 59-65.
3. Ерофеев В.Т. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность) : монография / В.Т. Ерофеев, Ю.М. Баженов, Ю.И. Калгин [и др.]. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.
4. Руденский А.В. Модифицированные асфальтовые вяжущие / А.В. Руденский, О.Н. Никонова // Строительные материалы. – 2008. - № 7. - С. 54-55.
5. Королев И.В. Дорожный теплый асфальтобетон / И.В. Королев [и др.]. – Киев: Высш. школа, 1975. – 156 с., Шестоперов С.В. Дорожно-строительные материалы : учебник. – М.: Высшая школа, 1969. – 672 с.
6. Заявка на изобретение № 2014151065, МПК В22С9/00, G01N33/38. Форма для изготовления асфальтобетонных образцов / Ерофеев В.Т., Сальникова А.И., Ликомаскин А.И. [и др.]. Заявитель: ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», заявл. 16.12.2014.
7. Ерофеев В.Т. Исследование биостойкости битумных и полимербитумных композитов и видового состава микобиоты, выделенной с материалов, экспонированных в условиях влажного морского климата и после старения в морской воде / В.Т. Ерофеев, А.И. Сальникова, В.Ф. Смирнов, Е.Н. Каблов [и др.] // Приволжский Научный Журнал. – 2015. – № 3. – С. 52-61.
8. Ерофеев В.Т. Исследование долговечности битумных композитов в условиях переменной влажности, ультрафиолетового облучения и морской воды / В.Т. Ерофеев, А.И. Сальникова, Е.Н. Каблов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12 (12). – С. 2549-2556.
9. Руденская И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М. : Транспорт, 1984. – С. 41.
10. Ерофеев, В.Т. Видовой состав микрофлоры, выделенной с полимерных композитов на основе полимерных смол в условиях влажного морского климата / В.Т. Ерофеев, А.В. Лазарев, А.Д. Богатов [и др.] // Известия Казанского ГАСУ. – 2013. - № 2 (24). – С. 233-237.
11. Заявка на изобретение № 2016100806, МПК С08L95/00. Модифицированный битум / Ерофеев В.Т., Сальникова А.И., Ликомаскина М.А. [и др.]. Заявитель: ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», заявл. 12.01.2016.