

УДК 691.16:666.96

М.А. ВЫСОЦКАЯ, С.Ю. ШЕХОВЦОВА, Д.А. КУЗНЕЦОВ

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ДИСПЕРСНЫХ ПОРИСТЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ОРГАНИЧЕСКИМ ВЯЖУЩИМ

Исследовался ряд пористых тонкодисперсных наполнителей, которые могли бы выполнять функции минерального порошка и служить носителем определенного вещества, регулирующего свойства дорожного композита. Выявление особенностей взаимодействия минеральных порошков с битумным органическим вяжущим осуществляли с помощью изучения поверхностных, физико-механических и химических свойств, а также микроструктурных особенностей и реакционной способности. Было установлено, что высокая пористость, характерная для наполнителей из перлита и цеолита, обусловлена высокоразвитой архитектурой пор с диаметрами входных окон в широком диапазоне. Эксперименты показали, что увеличение содержания активных центров на поверхности минерального наполнителя прямо пропорционально его пористости, а наиболее перспективным сырьем для органоминеральных композитов являются цеолиты. Они обладают развитой удельной поверхностью, уникальной архитектурой пор, высокой структурирующей и адсорбционной способностью.

Ключевые слова: высокодисперсные минеральные наполнители, керамзит, перлит, цеолит, реакционная способность, адсорбция.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-724-4-35-46

Дорожное строительство – одно из самых материалоемких направлений, ориентированное на максимальное использование местных, часто некондиционных материалов, поэтому композиты, выполненные на их основе, не удовлетворяют современным эксплуатационным требованиям. Поиск и изучение альтернативных сырьевых минеральных материалов, пригодных для использования в качестве компонентов в асфальтобетонных смесях, являются важной научно-практической задачей, решение которой для многих регионов страны обеспечит дорожным предприятиям возможность выбора материалов для получения качественных органоминеральных композитов.

Актуальны вопросы не только поиска альтернативных сырьевых материалов, но и возможности путем их применения направленно регулировать структуру и свойства конечного композита. Применительно к производству асфальтобетона интерес может представлять широкий спектр пористых материалов, в том числе и техногенного происхождения, массовое использование которых в дорожной отрасли весьма ограничено. Цель данной работы – исследование ряда пористых тонкодисперсных наполнителей, которые могли бы выполнять, с одной стороны, функции минерального порошка, с другой – служить носителем определенного вещества, регулирующего свойства дорожного композита.

© **Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., Кузнецов Д.А., 2019**

В настоящее время применение пористых дисперсных материалов в производстве дорожно-строительных материалов подвергается переосмыслению многими учеными. В поле зрения исследователей попадают такие дисперсные пористые материалы, как шунгит, перлит, керамзит, цеолит, вермикулит и др. [1–7], причем данные материалы отличаются от традиционного дисперсного сырья повышенной пористостью, обусловленной развитой системой микропор поверхности.

Актуальным направлением исследований [3, 6] является применение минерального порошка из отходов производства дробленого песка из керамзитового гравия, которые представляют собой высокодисперсные отсеvy дробления ячеистого строения. По мнению авторов [3], пористые минеральные порошки способствуют повышению сдвигоустойчивости, тепло- и трещиностойкости асфальтобетонов, а также снижению стоимости их производства и частичному решению проблемы утилизации отходов промышленности.

Яркими представителями высокопористых материалов, активно изучаемыми в последние десятилетия, являются цеолиты [8]. Цеолиты представляют собой алюмосиликаты – производные от диоксида кремния SiO_2 , в котором часть атомов кремния замещена на алюминий. При этом каждый атом Si и Al окружен четырьмя атомами кислорода, образуя тетраэдры, соединяющиеся друг с другом вершинами и формирующие упорядоченную структуру с полостями и каналами. В целом алюмосиликатная матрица обладает высокой кристалличностью: все каналы цеолитов упорядочены, одинаковы по размерам и находятся в наноразмерном диапазоне. Поры занимают значительную часть от общего объема структуры, поэтому цеолиты активно используются в качестве адсорбентов. Все это предопределяет интерес к цеолитам как к компонентам различных строительных материалов.

Вспученный перлит представляет собой искусственный материал, полученный путем вспучивания при обжиге подготовленных зерен из вулканических водосодержащих пород (перлит, обсидиан, витрофир и др.). Традиционно используемый в качестве теплоизоляции, в сухих легких строительных смесях, он обладает высокими звуко- и гидроизоляционными свойствами, биологически стоек. В работе [9] изучены физико-механические процессы взаимодействия органического вяжущего и пористых минеральных наполнителей при формировании структуры асфальтобетона. Показана возможность использования минеральных порошков из высокопористых отходов производства вспученного перлита для приготовления асфальтобетонных смесей, отличающихся повышенной теплостойкостью.

На основании вышеизложенного для исследования были приняты следующие пористые минеральные наполнители: керамзит, цеолитсодержащий туф, вспученный перлит и традиционно применяемый минеральный порошок из известняка.

С 2002 г. в г. Старый Оскол (Белгородская область), на территории Стойленской ГОК функционирует цех по производству вспученного перлита с годовой производительностью 140 тыс. м³. При этом в год образуется около 14 тыс. м³ мелких фракций, которые можно использовать при производстве асфальтобетона. В данной работе применялась дисперсная составляющая с размером фракций < 0,16 мм. Структура зерен перлита представлена на

рис. 1, а, из которого видно, что преобладающая форма зерен наполнителя представляет собой мельчайшие чешуйки. Этим объясняется высокая пористость данного сырья, а также малый удельный вес.

Пористый минеральный наполнитель из керамзита был отобран в цехе ОАО «ЖБК-1», г. Белгород. Он представляет собой пыль уноса электрофильтров, которая образуется при производстве керамзитового заполнителя для легких теплоизоляционных бетонов и стеновых изделий. Микрофотографии керамзита приведены на рис. 1, б, где видна более плотная структура, чем у перлита. Для данного материала характерны неоднородное распределение частиц по размерам и слабо выраженная слоистая структура крупных частиц.

Цеолитсодержащий туф представлен природным цеолитом Холинского месторождения (рис. 1, в). Поверхность его частиц имеет развитую структуру и в большинстве своем состоит из агрегатов крупных зерен, поверхность которых «опушена» более мелкими частицами. Традиционно применяемый минеральный порошок из известняка (рис. 1, г) характеризуется наличием в его составе

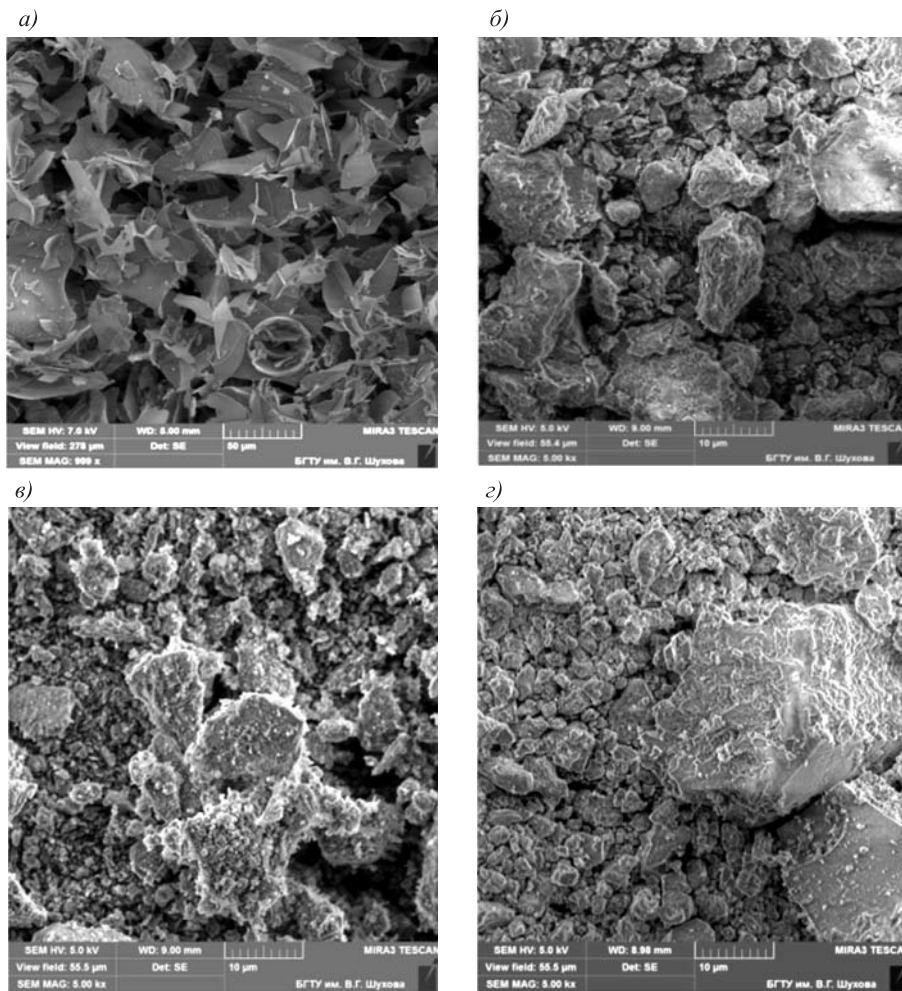


Рис. 1. Морфология минеральных порошков вспученного перлита (а), керамзита (б), цеолитового туфа (в) и известняка (з)

кальцита (CaCO₃). Ему присуща плотная поверхность минеральных частиц, а также отсутствие большого числа пустот и полостей между ними.

Физико-механические показатели применяемых в работе тонкодисперсных материалов оценивали согласно требованиям ГОСТ 52129–2003. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Физико-механические показатели минеральных порошков

Показатель	Требования ГОСТ	Известняк	Перлит	Керамзит	Цеолит
Зерновой состав, % по массе:					
мельче 1,25 мм	Не менее 100	100	100	100	100
<0,315	Не менее 90	96	96	98	98
<0,071	От 70 до 80	85	80	84	80
Пористость, %, не более	35	28	39	39	55
Набухание образцов асфальтовяжущего вещества, %, не более	2,5	1,15	2,45	3,7	3,2
Водостойкость асфальтовяжущего вещества, %, не менее	Не норм.	0,91	0,85	0,83	0,92
Показатель битумоемкости, г, не более	Не норм.	68	78	96	109
Влажность, % по массе, не более	1,0	0,40	0,48	2,56	6,15

Как видно, наибольшим показателем пористости характеризуется минеральный порошок из цеолита. Его значение на 37 % превышает величину, рекомендуемую ГОСТ. Пористость наполнителей из перлита и керамзита также довольно высока, но соответствует требованиям. Повышенная пористость исследуемых наполнителей негативно влияет на показатель их битумоемкости. Очевидно, это объясняется высокой сорбционной способностью сырья, а также развитой системой микропор, на счет которых также можно отнести увеличенный показатель влажности, особенно у цеолита.

Важное значение в изучении особенностей взаимодействия минеральных порошков с битумом имеет исследование их поверхностных свойств как физических, так и химических [10]. Одна из ключевых характеристик наполнителей – величина удельной поверхности, определяющая степень дисперсности, а следовательно, способность структурировать битум и формировать асфальтовое вяжущее вещество. Стоит учитывать, что при работе с пористыми дисперсными материалами значимость приобретает величина «истинной» или активной удельной поверхности. Величину удельной поверхности контролировали двумя методами.

Сущность традиционного метода на приборе ПСХ-2 основывается на сравнении воздухопроницаемости слоя уплотненного наполнителя фиксированной величины с воздухопроницаемостью эталонного наполнителя с известной удельной поверхностью. Суть метода БЭТ заключается в том, что вначале поверхность рассматриваемых материалов освобождается от адсорбированных на них веществ путем термостатирования. Затем при температуре 77 К на этих материалах адсорбируется азот или аргон таким образом,

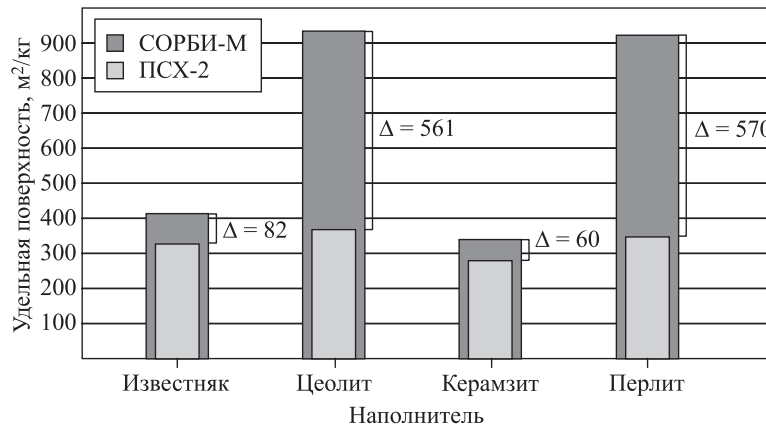


Рис. 2. Удельная поверхность исследуемых наполнителей

чтобы молекулы этих газов покрывали доступную для них поверхность одним молекулярным слоем. Зная количество газа, адсорбированного на единице массы контролируемых материалов, а также размеры молекул газа (точнее, их кинетические диаметры), рассчитывают удельную поверхность по уравнению БЭТ (рис. 2).

Различия в величине удельной поверхности для высокопористых наполнителей из цеолита и перлита, определенной на приборах ПСХ-2 и СОРБИ, обусловлены тем, что скорость фильтрации воздуха через материал с низкой пористостью существенно отличается при испытании высокопористого материала, а наличие в структуре пор открытого и закрытого типов, различия в диаметрах входных окон пор резко снижают точность определения величины удельной поверхности методами, основанными на газовой проницаемости. Тогда как прибор СОРБИ устанавливает фактическое значение истинной удельной поверхности с помощью четырехточечного метода измерения. Таким образом, анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что высокая пористость наполнителей из перлита и цеолита обусловлена высокоразвитой архитектурой пор с диаметрами входных окон в широком диапазоне.

Для оценки размерного распределения частиц рассматриваемых наполнителей с помощью лазерного анализатора частиц Microsizer 201 были получены кривые распределения, представленные на рис. 3.

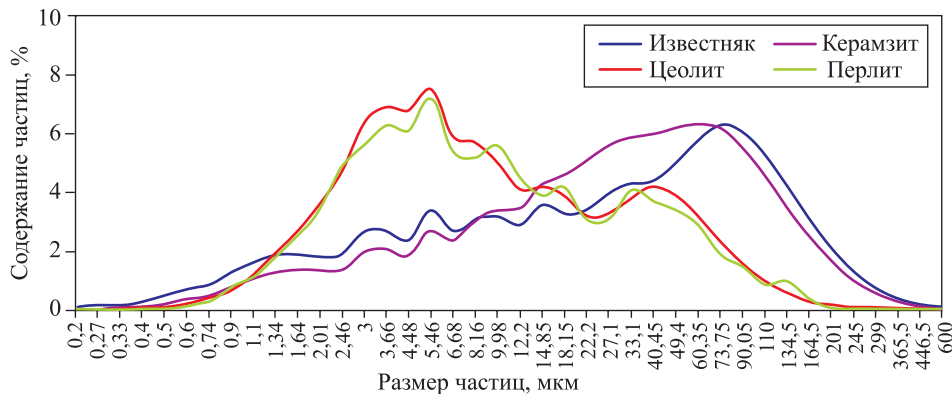


Рис. 3. Распределение частиц исследуемых материалов

Данные по распределению частиц коррелируют с результатами по определению удельной поверхности наполнителей. У наполнителей из перлита и цеолита преобладает содержание частиц в диапазоне от 2,5 до 10 мкм, в то время как у порошков из керамзита и известняка – от 20 до 150 мкм. Повышенное содержание тонкодисперсных частиц у наполнителей из перлита и цеолита позволяет предположить высокий структурирующий эффект при наполнении ими битума и формировании качественного асфальтовяжущего.

В последнее время одним из наиболее информативных показателей поверхности минеральных наполнителей, характеризующих реакцию способность материала по отношению к вяжущим веществам, является наличие активных центров поверхности. Современный подход к химии поверхности твердого тела [11] позволил установить, что взаимодействие минеральных материалов с вяжущим в асфальтобетоне зависит не только от химического и минералогического состава сырья, как это считалось ранее, но и от состояния его поверхности, на которой имеются активные центры. Они обусловлены наличием гидроксильных групп и примесных центров, которые определяют активность подложки по отношению к вяжущему, влияют на процессы структурообразования и способны обеспечивать прочные контакты между вяжущим и поверхностью минеральных материалов.

О реакционной способности наполнителей судили по количеству брэнстедовских кислотных центров адсорбции на поверхности, которое определялось по двум методикам – методом обменной емкости и методом красителей. По первой методике исследование производили титриметрическим способом, по величине обменной емкости по отношению к ионам кальция (рис. 4).

По результатам эксперимента было установлено, что увеличение содержания активных центров на поверхности минерального наполнителя прямо пропорционально его пористости. Данная величина, с точки зрения физики твердых тел, может быть выражена через изменение изобарно-изотермического потенциала. Величина контактирующей поверхности тела, выраженная при работе с тонкодисперсными материалами через величину их удельной поверхности, напрямую связана с архитектурой порового пространства наполнителя.

Стоит отметить динамику изменения содержания активных центров на поверхности пористых наполнителей при увеличении времени контакта

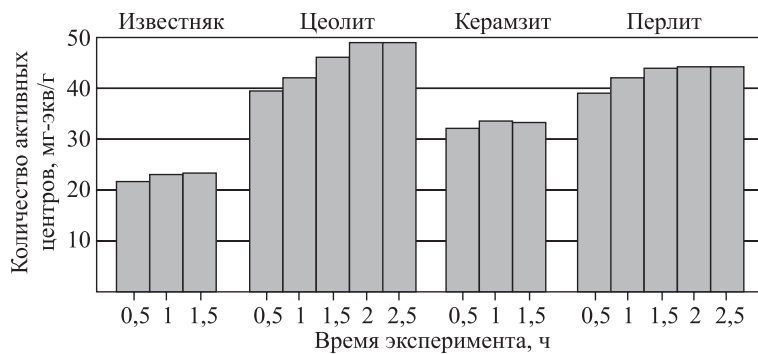


Рис. 4. Содержание активных центров на поверхности минеральных порошков

сырья с раствором гидроксида кальция. Так, при исследовании известнякового минерального порошка время проведения эксперимента не влияло на исследуемую характеристику, а для наполнителей из цеолита и перлита этот показатель увеличился более чем на 10 % через 2,5 ч от начала эксперимента.

Полученные данные позволяют предположить высокую реакционную способность исследуемых наполнителей из перлита и цеолита при контакте с битумом. Так, содержание активных центров на поверхности цеолита и перлита на 53 и 49 % соответственно больше чем на поверхности минерального порошка из известняка. Наполнитель из керамзита занимает промежуточное положение. Данная методика дает возможность определять наличие на минеральной поверхности активных центров, расположенных в зоне кислот по Бренстеду (рКа 0–7).

Для более полной оценки реакционной способности наполнителей использовался метод красителей. Информативность метода состоит в том, что он позволяет оценить не только кислотность или основность поверхности, но и установить принадлежность к льюисовскому (апротонному) или бренстедовскому типу. Это дает возможность проследить механизм влияния поверхности на взаимодействие с вяжущими, а также оценить уровень энергии поверхности, так как значения силы кислоты или основания имеют энергетическое содержание, поскольку отражают энергию химической связи, выражаясь через величины соответствующих констант диссоциаций (рис. 5).

Анализ представленной информации (см. рис. 4, 5) позволяет сделать вывод о численной разнице полученных значений, но стоит отметить наличие корреляции между ними. Более наглядно это можно проследить в табл. 2. Поэтому оценивать реакционную способность исследуемых наполнителей необходимо не по отдельно выделенной области шкалы распределения центров адсорбции, а по их совокупности.

В соответствии с табл. 2 максимальную активность поверхности следует ожидать при взаимодействии битума с цеолитом, на его поверхности содер-

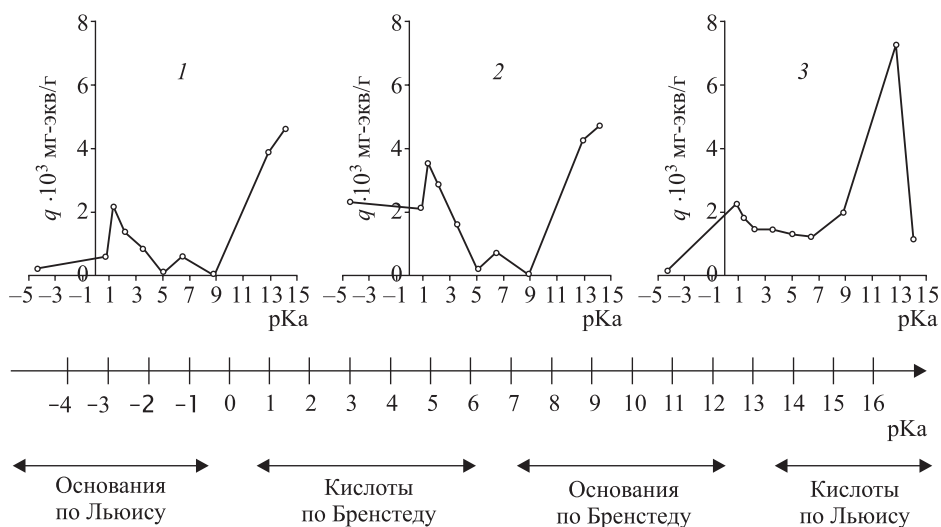


Рис. 5. Распределение центров адсорбции на поверхности
1 – известняка; 2 – цеолита; 3 – керамзита

Т а б л и ц а 2. Количественное распределение центров адсорбции $q \cdot 10^{-3}$, мг-экв/г

Наполнитель	Основания по Льюису	Кислоты по Льюису	Основания по Бренстеду	Кислоты по Бренстеду	Σ
Цеолит	2,314	4,681	4,298	11,079	22,372
Керамзит	0,153	1,137	9,022	9,370	19,682
Известняк	0,234	4,619	3,911	5,818	14,582

жится $22,372 \cdot 10^{-3}$ мг-экв/г, что на 35 % больше чем у известняка. При исследовании распределения центров адсорбции на поверхности минеральных материалов методом красителей сохраняется ранее установленная закономерность: с понижением пористости сырья уменьшается содержание активных центров.

Известно, что наибольший вклад во взаимодействие между минеральной поверхностью и битумом вносят кислотные и основные бренстедовские, а также кислотные льюисовские центры, которые способны адсорбировать практически все органические соединения, входящие в состав битума. На бренстедовских кислотных центрах, представляющих собой поверхностные гидроксильные группы (рКа 0–7), могут образовываться водородные связи при участии атома водорода поверхности, проявляющего электронно-акцепторные свойства.

Входящие в состав асфальтенов и смол ароматические полициклические структуры, включающие гетероциклы с азотом и серой, имеющие π -связи и атомы с неподеленными электронными парами, могут быть донорами электронов и взаимодействовать с электронно-акцепторными кислотными центрами Льюиса (рКа > 13). Комплексные соединения фенолов и азотистых оснований, содержащихся в составе смолистых веществ битума, также способны образовывать донорно-акцепторные связи с кислотными центрами Льюиса (рКа > 13).

Во взаимодействие с основными бренстедовскими центрами (рКа 7–13) способны вступать кислоты, причем ароматические кислоты являются более сильными, чем алифатические, а наличие двух заместителей, например –COOH и –OH, у нафтеновых и ароматических колец, наблюдающихся в составе битума, усиливает кислотность и адсорбционную способность этих соединений.

На основании обобщения экспериментальных данных можно предположить, что цеолитовый наполнитель при взаимодействии с битумом будет проявлять высокую адсорбционную активность, что будет способствовать образованию прочных связей между битумной пленкой и поверхностью частиц минерального наполнителя.

В данной научной работе адсорбционную активность исследуемых наполнителей изучали по динамике адсорбции-десорбции битума из бензольных растворов. Результаты представлены на рис. 6.

Стоит пояснить отсутствие результатов по определению содержания центров адсорбции и общей адсорбционной активности для перлита. Принимая во внимание тот факт, что истинная и средняя плотности перлитового порошка составляют 1,48 и 0,9 г/см³ соответственно, данный порошок представляет собой нетехнологичный материал, который невозможно качествен-

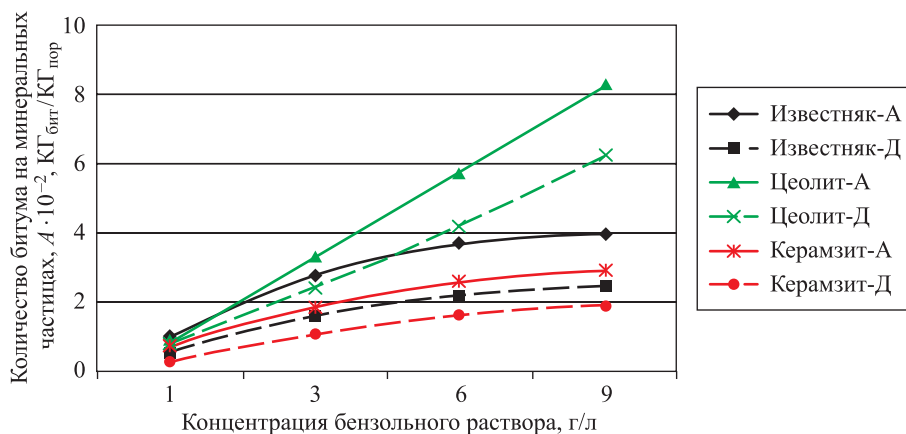


Рис. 6. Адсорбционная активность исследуемых наполнителей

но подготовить для указанных испытаний. Высокоточные методы определения оптической плотности растворов, их равновесных концентраций и других показателей предполагают наличие растворов, отогнанных после взаимодействия с исследуемым материалом. После серии экспериментов, проведенных с перлитом, было установлено, что на имеющемся оборудовании невозможно получить растворы, полностью исключаящие наличие высоколетучих чешуек перлита. Следовательно, дальнейшая экспериментальная обработка таких растворов, как и получаемые результаты, не являются объективными и достоверными, что исключает их представление в данной работе.

В ходе эксперимента было установлено, что наполнитель из цеолита проявляет максимальную адсорбционную активность к компонентам битума при всех принятых для исследования концентрациях битумно-бензольного раствора, что очевидно является следствием двух факторов. Во-первых, цеолит обладает высокой удельной поверхностью, которая, в свою очередь, представляет собой развитую поровую структуру упорядоченного строения. Во-вторых, содержание центров адсорбции на его поверхности, в особенности оснований и кислот Бренстеда, а также кислот Льюиса, отвечающих за активное взаимодействие с углеводородами битума, является максимальным в серии исследуемых наполнителей. Сочетание высокой пористости, развитой удельной поверхности и высокой химической активности поверхности обуславливает максимальные адсорбционные показатели минерального порошка из цеолита.

Например, величина адсорбции из битумного раствора концентрации 6 г/л для цеолита составила $5,8 \cdot 10^{-2} \text{ КГ}_{бит} / \text{КГ}_{пор}$, а из раствора концентрации 9 г/л уже $8,3 \cdot 10^{-2} \text{ КГ}_{бит} / \text{КГ}_{пор}$. Известняк адсорбировал при таких концентрациях $3,7 \cdot 10^{-2}$ и $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ КГ}_{бит} / \text{КГ}_{пор}$ соответственно, что в 1,6 и 2 раза ниже чем для цеолита.

Исследование десорбции битума показало, что часть вяжущего отслаивается с поверхности. Это свидетельствует о том, что предельно насыщенный адсорбционный слой битума на поверхности наполнителей состоит из прочно химически и обратимо физически связанного битума. Так, после десорбции на поверхности цеолита осталось $6,25 \cdot 10^{-2} \text{ КГ}_{бит} / \text{КГ}_{пор}$, а на

поверхности известняка и керамзита $2,48 \cdot 10^{-2}$ и $1,91 \cdot 10^{-2}$ $\text{КГ}_{\text{бит}}/\text{КГ}_{\text{пор}}$ соответственно.

Заключение. Наиболее перспективным сырьем для органоминеральных композитов являются цеолиты. Они обладают развитой удельной поверхностью, уникальной архитектурой пор, высокой структурирующей и адсорбционной способностью. Однако для полной замены традиционного минерального порошка в асфальтобетонах требуется тщательный подбор и контроль состава смеси. Наиболее перспективный вариант применения цеолита, на наш взгляд, – использование его в качестве добавки в минеральный порошок. Уникальные свойства цеолитсодержащего сырья также открывают широкие возможности для исследования различных вариантов его модификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильевская Г.В., Шевченко В.А., Киселев В.П. Применение отходов промышленности ГМК «Норильский никель» в производстве дорожного асфальтобетона // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2015. № 3. С. 130–134.
2. Васильевская Г.В., Назиров Д.Р. Применение отходов промышленности в качестве минерального порошка в асфальтобетоне // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2013. № 10. С. 153–157.
3. Кузнецов Д.А., Агамьян Б.С., Баранов Т.Р. Устойчивость к образованию трещин при старении асфальтобетона с пористыми минеральными порошками // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 43–45.
4. Ковалев Н.С., Отарова Е.Н. Модифицированный минеральный порошок шламами гальванических производств // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2017. № 4. С. 67–72.
5. Шихалиев К.С., Абдуллаева М.Я. Исследование влияния минерального наполнителя на свойства дорожно-строительного битума // Пластические массы. 2017. № 9-10. С. 35–37.
6. Абдуллаева М.Я., Шихалиев К.С. Исследование влияния минерального наполнителя на свойства дорожно-строительного битума // Theoretical and Applied Science. 2016. № 4. С. 106–110.
7. Высоцкая М.А., Русина С.Ю., Резников А., Хлевной И. Пористые дисперсные наполнители в бинарных композициях // Эффективные строительные композиты: Науч.-практ. конф. к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, акад. РААСН, д-ра техн. наук Баженова Юрия Михайловича / Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. Белгород, 2015. С. 95–99.
8. Zhou B., Chen Z. Experimental study on relation between micro-structure and macro-performance of zeolite-based humidity research control building coating // Procedia Engineering. 2015. Vol. 121. P. 1259–1265.
9. Sakshi K., Stuti K., Ashu R. Characterization and study of turkish perlite // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2013. Vol. 2, Iss. 9. P. 4319–4326.
10. Копылов В.Е., Буренина О.Н., Павлова Е.А. Активация минеральных порошков, как способ улучшения физико-механических характеристик асфальтовых бетонов // Науковедение. 2017. Т. 9, № 5. С. 39.
11. Дрозд Г.Я., Бизирка И.И. Адсорбция и десорбция битума на поверхности минеральных материалов // Вестн. Луган. гос. ун-та им. Владимира Даля. 2016. № 1. С. 202–204.

Высоцкая Марина Алексеевна, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: roruri@rambler.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Шеховцова Светлана Юрьевна, канд. техн. наук;

E-mail: SHehovtsovaSYU@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Кузнецов Дмитрий Алексеевич, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: xidox@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 21.03.19

Vysotskaya Marina Alexeevna, PhD, Ass. Professor;

E-mail: roruri@rambler.ru

Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Shekhovtsova Svetlana Yuryevna, PhD; E-mail: SHehovtsovaSYU@mgsu.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Kuznetsov Dmitry Alexeevich, PhD, Ass. Professor;

E-mail: xidox@yandex.ru

Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

CHARACTERISTICS OF INTERACTION OF ALTERNATIVE DISPERSE POROUS MINERAL MATERIALS WITH ORGANIC BINDER

In this work, we investigated a number of porous fine fillers that could perform, on the one hand, the functions of mineral powder, and on the other, serve as a carrier of a certain substance that regulates the properties of a road composite. Identification of the interaction of mineral powders with a bituminous organic binder was carried out using the study, surface, physical, mechanical and chemical properties, as well as microstructural features and reactivity. It was found that the high porosity characteristic of perlite and zeolite fillers is due to the highly developed architecture of pores with entrance window diameters in a wide range. According to the results of the experiment, it was found that the increase in the content of active centers on the surface of the mineral filler is directly proportional to its porosity. As a result of the research, it was found that zeolites are the most promising raw material for organic-mineral composites. They have a developed specific surface area, a unique pore architecture, a high structuring and adsorption capacity.

Key words: highly dispersed mineral fillers, expanded clay, perlite, zeolite, reactivity, adsorption.

REFERENCES

1. Vasilovskaya G.V., Shevchenko V.A., Kiselev V.P. Primeneniye otkhodov promyshlennosti GMK "Noril'skiy nikel" v proizvodstve dorozhnogo asfal'tobetona [The use of industrial waste GMK "Norilsk Nickel" in the production of asphalt concrete road]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. 2015. No. 3. Pp. 130–134. (in Russian)
2. Vasilovskaya G.V., Nazirov D.R. Primeneniye otkhodov promyshlennosti v kachestve mineral'nogo poroshka v asfal'tobetone [The use of industrial waste as a mineral powder in asphalt concrete]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. 2013. No. 10. Pp. 153–157. (in Russian)

3. Kuznetsov D.A., Agamyan B.S., Baranov T.R. Ustoychivost' k obrazovaniyu treshchin pri starenii asfal'tobetona s poristymi mineral'nymi poroshkami [Resistance to cracking during aging of asphalt concrete with porous mineral powders]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im V.G. Shukhova [Bulletin of Belgorod Shukhov State Technological University]. 2013. No. 6. Pp. 43–45. (in Russian)
4. Kovalev N.S., Otarova E.N. Modifitsirovanny mineral'nyy poroshok shlamami gal'vanicheskikh proizvodstv [Modified mineral powder by electroplating industry sludge]. Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva (regional'nyy aspekt) [Models and technologies of environmental engineering (regional aspect)]. 2017. No. 4. Pp. 67–72. (in Russian)
5. Shikhaliyev K.S., Abdullaeva M.Ya. Issledovaniye vliyaniya mineral'nogo napolnitelya na svoystva dorozhno-stroitel'nogo bituma [Study of the influence of mineral filler on the properties of road-bitumen]. Plasticheskie massy [Plastics]. 2017. No. 9–10. Pp. 35–37. (in Russian)
6. Abdullaeva M.Ya., Shikhaliyev K.S. Issledovaniye vliyaniya mineral'nogo napolnitelya na svoystva dorozhno-stroitel'nogo bituma [Study of the influence of mineral filler on the properties of road-bitumen]. Theoretical and Applied Science. 2016. No. 4. Pp. 106–110. (in Russian)
7. Vysotskaya M.A., Rusina S.Yu., Reznikov A., Khlevnoy I. Poristyye dispersnyye napolniteli v binarnykh kompozitsiyakh [Porous dispersed fillers in binary compositions]. Effektivnye stroitel'nye kompozity [Effective building composites. Scientific-practical conference on the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences Bazhenov Yuri Mikhailovich]. Belgorod, 2015. Pp. 95–99. (in Russian)
8. Zhou B., Chen Z. Experimental study on relation between micro-structure and macro-performance of zeolite-based humidity research control building Coating. Procedia Engineering. 2015. Vol. 121. Pp. 1259–1265.
9. Sakshi K., Stuti K., Ashu R. Characterization and study of turkish perlite. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2013. Vol. 2, Iss. 9. Pp. 4319–4326.
10. Kopylov V.E., Burenina O.N., Pavlova E.A. Aktivatsiya mineral'nykh poroshkov, kak sposob uluchsheniya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik asfal'tovykh betonov [Activation of mineral powders as a way to improve the physico-mechanical characteristics of asphalt concrete]. Naukovedenie [Science]. 2017. Vol. 9, No. 5. P. 39. (in Russian)
11. Drozd G.Ya., Bizirka I.I. Adsorbtsiya i desorbtsiya bituma na poverkhnosti mineral'nykh materialov [Adsorption and desorption of bitumen on the surface of mineral materials]. Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta im. Vladimira Dal'ya [Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dal]. 2016. No. 1. Pp. 202–204. (in Russian)