

УДК 541(542.06)

## Способы получения гидрофобных сорбентов нефти модификацией поверхности вермикулита органосилоксанами

Т.Г. Губкина<sup>1</sup>, А.Т. Беляевский<sup>2</sup>, В.А. Маслобоев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

<sup>2</sup> Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН

**Аннотация.** В работе приведены способы получения гидрофобных сорбентов нефти модификацией поверхности вспученного вермикулита органосилоксанами. Установлены оптимальные концентрации эмульсий модификаторов на водной и органической основе и их расход по отношению к массе вспученного вермикулита. Проведена экспериментальная работа по определению удерживающей способности нефтепродуктов и свойств плавучести гидрофобных сорбентов. Проведены электронномикроскопические исследования поведения поверхности синтезированных сорбентов.

**Abstract.** In the paper the methods of getting hydrophobic oil sorbents by surface modification of expanded vermiculite by organic siloxanes have been considered. Concentration of emulsion modifiers on water and organic basis and their expense in relation to mass of expanded vermiculite have been stated. The experiment on determining retentivity to oil products and property of hydrophobic sorbents floatability has been carried out. The behavior of surface of the synthesized sorbents has been researched by electron microscopy.

**Ключевые слова:** адсорбенты, вермикулит, органосилоксаны, гидрофобизаторы, метилсиликонат натрия, олигометилсилиоксан  
**Key words:** adsorbents, vermiculite, organic siloxanes, hydrophobisators, methylsiloxanes sodium, oligomethylsiloxane

### 1. Введение

Среди методов, успешно применяющихся для ликвидации нефтяных разливов с поверхности воды, сорбционная очистка является одним из наиболее эффективных способов. Однако к сорбентам, собирающим нефтепродукты с водной поверхности, предъявляются обязательные требования: при контакте с водной поверхностью гранулы сорбента должны собирать нефтепродукты, не адсорбируя воду. Максимальное насыщение должно достигаться в период первых десяти секунд, после чего гранулы устремляются друг к другу, образуя комок, насыщенный нефтью. И такой сорбент может оставаться на поверхности воды длительное время, не допуская утечки нефти обратно в воду. Это особенно важно при неблагоприятных погодных условиях и при длительных перерывах в ходе очистки. Затем насыщенные гранулы сорбента собираются специальными устройствами для сбора плавающих загрязнений в резервуар, где отработанный продукт отделяется от воды. Сорбент поступает в специальные емкости с целью его последующего использования (отделения нефтепродуктов или использование в качестве топлива) (Перхуткин, 2006).

Эффективные адсорбенты органических соединений из водных растворов следует искать среди гидрофобных материалов, адсорбция на которые обусловлена преимущественно дисперсионными силами. Дисперсионное взаимодействие органических молекул с углеродными структурами поверхности гидрофобных адсорбентов гораздо сильнее, чем взаимодействие углеродных сорбентов с молекулами воды. Следовательно, на границе раздела адсорбент – водный раствор накапливаются преимущественно органические молекулы, являющиеся гораздо более сложными многоэлектронными системами, чем молекулы воды. Однако явление гидрофобности в естественных условиях встречается сравнительно редко, поэтому весьма перспективным является создание на поверхности минералов тонких слоёв гидрофобизаторов либо органической, либо кремнийорганической природы (Юдаков, 2010).

Таким объектом для модификации может быть вспученный вермикулитовый сорбент, дисперсность кристаллов которого является преимущественным критерием, определяющим адсорбционные и ионообменные свойства. Однако несовершенства в структуре кристаллов вермикулита способствуют активному поглощению влаги. Тем не менее, возможно значительно снизить водопоглощение и улучшить эксплуатационные свойства вермикулитового сорбента.

С целью получения нетонущих гидрофобных сорбентов нефти были проведены исследования по модификации их поверхности кремнийорганическими соединениями. Устанавливались оптимальные концентрации эмульсий модификаторов на водной и органической основе и их расход по отношению к

массе сорбента. С помощью электронного микроскопа проводились исследования состояния поверхности модифицированных сорбентов.

## 2. Объекты и методы исследований

### Объекты исследования

Для получения адсорбента в качестве носителя был выбран термоактивированный в газовой среде вермикулитовый сорбент, изготовленный фирмой ЗАО "МНПП "ФАРТ", г. Санкт-Петербург, химический состав которого:  $\text{SiO}_2$  – 38-45 %,  $\text{MgO}$  – 20-23,5 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 10-16 %,  $\text{K}_2\text{O}$  – 1-6 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6-13 %,  $\text{CaO}$  – 1-5 %, с размером зёрен (1+0,25) мм, насыпной плотностью 200 кг/м<sup>3</sup>.

В качестве гидрофобизаторов использовали реагенты:

– метилсиликонат натрия (ГКЖ-11П) и силиконовый гидрофобизатор (Ярко) – гидрофобизаторы на водной основе;

– олигометилгидридсилоксан (Пента-804) – гидрофобизатор, растворимый в органических растворителях (уайт-спирит, нефрас и др.).

### Методы исследования

Плаучесть сорбентов определили по методу, описанному Каменщиковым Ф.А. для нефтяных сорбентов (Каменщиков, Богомольный, 2005). Навеску сорбента весом от 0,25 до 3 г помещали в стакан объёмом 50 мл, заполненный на половину водой. Толщина слоя сорбента в стаканах составляет 1...2 мм (0,25 г), 3...5 мм (0,5 г), 5...7 мм (1 г), 10 мм (1,5 г) и 20 мм (3 г). Время контакта сорбента с водой составляет: 1 серия – 12-часовая; 2 серия – 24-часовая; 3 серия – 36-часовая; 4 серия – 48-часовая; 5 серия – 96-часовая. По прошествии заданного времени сорбент, оставшийся на плаву, удаляют, сушат в сушильном шкафу при температуре  $103 \pm 1$  °С в течение 2 часов. Сушка проводится до постоянного веса и по разнице весов определяли количество утонувшего сорбента.

Водопоглощение при полном погружении и капиллярном подсосе определяли по методу, описанному Алентьевым А.А. (Алентьев и др., 1962). Определение водопоглощения при полном погружении заключается в помещении в воду гидрофобизированных образцов сорбентов и контрольного образца вермикулитового сорбента, высушенного при температуре 110 °С. Сорбенты с помощью груза погружают так, чтобы слой воды над поверхностью образцов составлял 2-3 см, и выдерживают в течение 24 часов. Для определения водопоглощения при капиллярном подсосе образцы устанавливают в воде так, чтобы смачивалась только одна из граней, и также выдерживают 24 часа. Водопоглощение при погружении и капиллярном подсосе определяют по формуле:

$$W = (M_1 - M) / M \times 100,$$

где  $W$  – водопоглощение, %;  $M_1$  – вес образца после пребывания в воде, г;  $M$  – вес образцов до погружения в воду.

Эффективность обработки определяется отношением  $W_1/W$ , т.е. отношением водопоглощения при полном поглощении к водопоглощению при капиллярном подсосе.

Исследование удерживающей способности по нефтепродуктам определяли весовым методом. Навеску сорбента с определённой массой помещали в воронку Бюхнера с перекрытым резиновым шлангом, заливали соответствующий нефтепродукт и через 15 минут зажим со шланга снимали. Адсорбент нагружали массой 100 г и выдерживали ещё в течение 1 час. Затем сорбент взвешивали, и по разнице масс сорбента в исходном и насыщенном состоянии рассчитывали удерживающую способность.

Адсорбцию паров воды, бензола и ацетона проводили, поместив навеску вермикулита в пространство с определённым парциальным давлением пара, и последующим определением увеличения веса после выдерживания сорбента в этом пространстве. Адсорбция по парам воды определялась при относительном давлении ( $p/p_s$ ) равном 0,1; 0,24; 0,45; 0,75; 0,94 (мм рт. ст.). Различное парциальное давление создавалось в пространстве над водными растворами серной кислоты различной концентрации.

Водородный показатель водной вытяжки определили на рН-метре HANNA instrument pH-211.

Исследование состояния поверхности сорбентов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM LEO-420 с программным обеспечением.

Массовую концентрацию нефтепродуктов в воде определяли на анализаторе нефтепродуктов АН-2.

## 3. Результаты и их обсуждение

Несовершенство кристаллической решётки вермикулита обусловлено наличием адсорбционных центров при сорбции молекул воды, связанных с наличием гидроксильных групп на отрицательно заряженных поверхностях кремнекислородных тетраэдров и структурных гидроокислов октаэдрических слоёв. Из-за этого вермикулит легко разбухает в воде и во многих органических жидкостях, поэтому в чистом виде его нельзя использовать в качестве сорбента нефти.

Блокировать адсорбционные центры при сорбции воды возможно, если обработать вермикулит кремнийорганическими соединениями. Эти соединения являются поверхностно-активными, состоящими из полярных силоксановых группировок Si-O и неполярных углеводородных радикалов. Полисилоксаны, как и другие поверхностно-активные вещества, адсорбируясь на поверхности гидрофильного твёрдого тела, обращаются к нему полярными группами и фиксируются за счёт химического взаимодействия с полярными группами адсорбента (Пащенко, 1973). Гидрофобные углеводородные радикалы при этом ориентируются в сторону, противоположную поверхности минерала (Алентьев и др., 1962). Благодаря этому, поверхность ранее гидрофильного вермикулита становится более гидрофобной и тем больше, чем выше концентрация адсорбированного вещества. При этом ориентационный эффект радикалов проявляется только в очень тонких плёнках и в значительной мере теряется в плёнках толщиной более 100 мкм, что сказывается на степени гидрофобизации (Соболевский, 1985). При низкой концентрации гидрофобизатора в гидрофобизирующем растворе количество его может оказаться недостаточным для покрытия всей поверхности вермикулита. В результате этого на поверхности сохраняются гидрофильные участки. На степень заполнения поверхности материала гидрофобным мономерным слоем влияет эффект смачиваемости поверхности гидрофобизирующей жидкостью.

Отсюда следует, что необходимо подбирать оптимальные концентрации водных растворов и эмульсий гидрофобизаторов, при обработке которыми не ухудшались бы сорбционные свойства вермикулита. Таким образом, в работе экспериментально подбирались оптимальные концентрации гидрофобизатора, где эффективность обработки сорбента оценивалась по степени влагоёмкости и удерживающей способности сорбента по нефтепродуктам.

В качестве гидрофобизаторов вермикулитового сорбента были выбраны кремнийорганические соединения (органосилоксаны) на водной и органической основе: метилсиликонат натрия (ГКЖ-11П), готовая силиконовая эмульсия (Ярко) и олигометилгидридсилоксан (Пента-804). Основными критериями в выборе данных гидрофобизаторов явились их малая токсичность в процессе гидролиза и поликонденсации, хорошая адгезия к поверхности материала, термическая и химическая устойчивость.

#### Способы гидрофобизации и свойства модифицированных сорбентов

Наиболее доступными и во многих случаях наиболее эффективными гидрофобизаторами являются водные растворы органоилоксанатов натрия и калия. Эти реактивы, обладающие строением  $\text{HO}[\text{RSi}(\text{OMe})\text{O}]_n\text{H}$  (где  $n=3/16$ , Me-Na; R-CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, CH<sub>2</sub>=CH, CH<sub>2</sub>=CHCH<sub>2</sub> и т.д.), в водном растворе распадаются на мономерные молекулы RSi(OH)<sub>2</sub>OMe, их димеры и тримеры (Пащенко, 1973).

Гидрофобизацию вермикулита метилсиликонатом натрия (ГКЖ-11П) проводили в жидкой фазе. Перед гидрофобизацией вермикулит прокачивали в муфельной печи при  $T = 300^\circ\text{C}$  в течение 30 минут. Готовили эмульсию на водной основе, в которой оптимальная концентрация модификатора была

определена экспериментально и составила 30 % от массы вермикулита (рис. 1а), отношение водной эмульсии 1:6, объёмное соотношение Т:Ж (1:1,5-1:2,1). Водную эмульсию гидрофобизатора подогревали до  $50^\circ\text{C}$ , затем соединяли с вермикулитом и тщательно перемешивали. Время контакта вермикулита с модификатором составило 15 минут. Для удаления избытка воды сорбент сушили в течение 8 часов при  $T = 120-150^\circ\text{C}$ . Гидрофобный эффект наступал через 24-48 часов. В течение этого времени не допускается прямого воздействия воды. Данный сорбент обладает хорошей плавучестью (более 3 суток). Маслоёмкость сорбента по дизельному топливу составила 4,6 г/г, нефтеёмкость 5,6 г/г (табл. 2). Основным

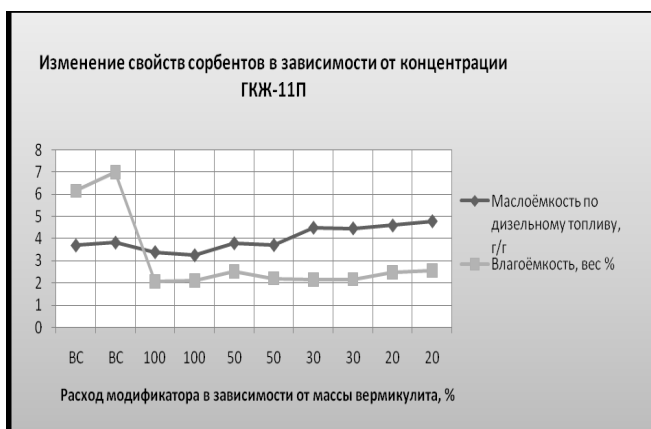


Рис. 1а. Изменение свойств сорбентов в зависимости от концентрации ГКЖ-11П

же недостатком такого сорбента остаётся относительно высокая влагоёмкость и адсорбция паров воды. Это можно объяснить тем, что при обработке материалов алкилсиликонатами щелочных металлов гидрофобные алкилполисилоксановые слои образуются, прежде всего, в результате их взаимодействия с углекислотой воздуха (реакция карбонизации). Карбонат натрия в дальнейшем присоединяет молекулы воды, образуя кристаллогидрат. Таким образом, параллельно идут две конкурирующие реакции гидрофобизации и присоединения молекул воды. Кроме реакции карбонизации, химическая связь гидрофобного покрытия с поверхностью вермикулита также образуется в результате обменного

взаимодействия алкилсиликонатов щёлочных металлов с растворимыми в воде солями кальция и магния с образованием не растворимых алкилсиликонатов переходных металлов. Нерастворимость в воде полиалкилсилоксановых плёнок позволяет сорбенту удерживаться на плаву продолжительное время. Ещё одним недостатком растворов метилсиликоната натрия остаётся высокая щёлочность (рН до 13), для её снижения можно раствор подкислить уксусной кислотой.

Готовая силиконовая эмульсия фирмы "Ярко" также содержит алкилсиликонаты щелочных металлов и может служить в качестве гидрофобизатора поверхности вермикулита. При этом оптимальная концентрация модификатора составляет 35 % по отношению к массе вермикулита (рис. 16),

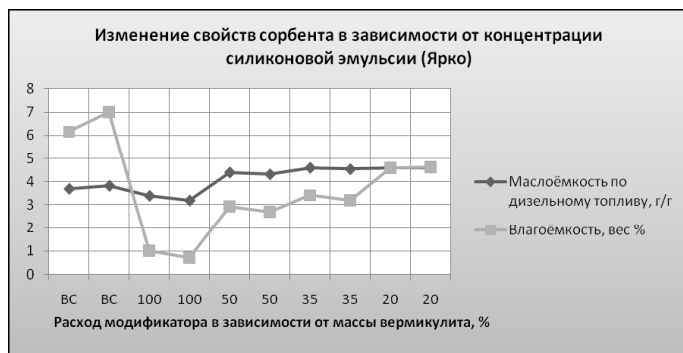


Рис. 16. Изменение свойств сорбентов в зависимости от концентрации силиконовой эмульсии (Ярко)

что эти вещества можно применять в виде водных растворов, они не имеют запаха, достаточно универсальны и сравнительно дешевы, так как чаще всего их получают из отходов производства. Данный способ гидрофобизации вермикулита отличается простой операций нанесения модификатора и позволяет получить гидрофобные сорбенты для сбора разливов нефти с водной поверхности.

В качестве гидрофобизаторов широко применяются также полиорганилгидридсилоксаны, имеющие реакционноспособные связи Si-H. Они могут иметь как циклическое  $(RSiO)_n$ , так и линейное строение  $R_3Si[OSiRH]_nOSiR_3$ . Полиорганилгидридсилоксановые жидкости не вызывают коррозии, физиологически безвредны и применяются в виде растворов в органических растворителях, не растворимы в воде и низших спиртах. Гидрофобизирующее действие полиорганилгидридсилоксана обусловлено входящими в их состав атомами водорода, связанными с атомами кремния (Пащенко, 1973). Образование водоотталкивающей поверхностной плёнки при обработке вермикулита полиорганилгидридсилоксаном может происходить в результате взаимодействия связи Si-H гидрофобизатора с гидроокисями металлов на поверхности материала ( $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$  и т.д.). Значительную роль при образовании водоотталкивающих покрытий при обработке слоистых минералов играет способность связи Si-H к гидролизу. Последующая конденсация приводит к сшиванию полисилоксановых цепей между собой в единую водоотталкивающую плёнку.

Представителем полиорганилгидридсилоксановой жидкости является гидрофобизирующий состав олигометилгидридсилоксан (Пента-804) линейного строения. Эмульсии олигометилгидридсилоксана были приготовлены на основе органических растворителей – уайт-спирите и этиловом спирте. Оптимальная концентрация модификатора составила 15 % от массы вермикулита (рис. 1в),

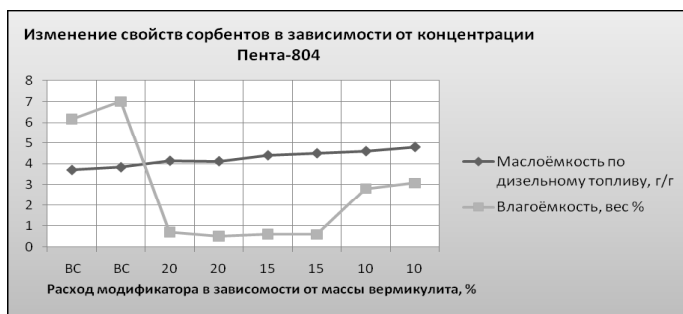


Рис. 1в. Изменение свойств сорбентов в зависимости от концентрации Пента-804

при отношении водной эмульсии 1:6,7 и объемным соотношением Т:Ж (1:1,5-1:2,35). Способ нанесения гидрофобизатора тот же, что и в первом случае, за исключением времени и температуры сушки сорбента при  $T = 20-30$  °С в течение 24 часов. Вермикулит, обработанный силиконовой эмульсией, также имеет плавучесть более 3 суток, влагоёмкость 3,41 вес. %, не адсорбирует пары воды, маслоёмкость сорбента по дизельному топливу составила 4,12 г/г, нефтеёмкость 5 г/г.

Преимущество алкилсиликонатов щелочных металлов перед другими гидрофобизаторами заключается в том,

отношение гидрофобизатора к растворителю не менее 1:15, объёмное соотношение Т:Ж (1:1,5-1:2,15). Перед обработкой вермикулит прокаливают в муфельной печи при  $T = 300$  °С в течение 20 минут, затем добавляют эмульсию гидрофобизатора, тщательно перемешивают и сушат при  $T = 40-60$  °С в течение 48 часов до наступления полного гидрофобного эффекта. Для усиления образования силоксановых групп в эмульсию можно вводить

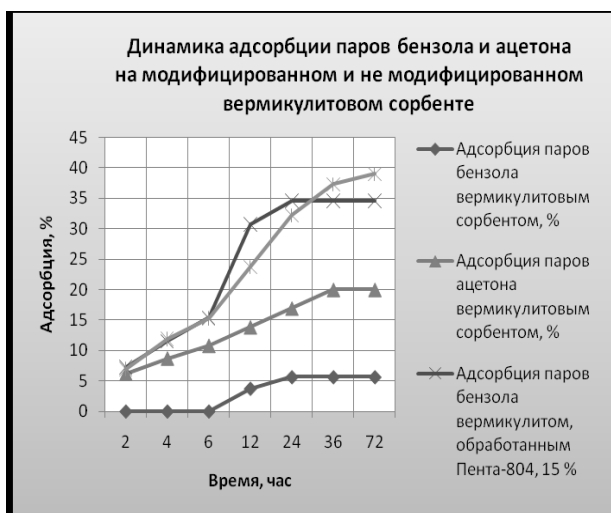


Рис. 2. Динамика адсорбции паров бензола и ацетона на вермикулитовых сорбентах

перекись водорода. Предпочтительнее обрабатывать вермикулит эмульсиями гидрофобизатора на основе этилового спирта, чем растворами на основе уайт-спирита или ацетона, не смотря на то, что Пента-804 не растворяется в спирте, он может образовывать устойчивые эмульсии, быстро испаряется с поверхности сорбента и усиливает эффект дегидратации.

Сорбенты, приготовленные данным способом, являются гидрофобными, они не адсорбируют пары воды, влагоёмкость не превышает 50 % в течение трёх дней, могут удерживаться на плаву более 10 суток. При этом удерживающая способность сорбентов по дизельному топливу составила 4,6 г/г, нефтеёмкость 5,8 г/г. Особенностью сорбента является то, что он способен адсорбировать пары бензола (31-34,5 %) и ацетона (20,6-56 %) (рис. 2). Это можно объяснить ориентационным эффектом в иммобилизованном слое олигометилгидридсилоксана, у которого углеродный радикал ориентирован от поверхности вермикулита во внешнюю среду.

Преимущество обработки вермикулита олигометилгидридсилоксаном перед обработкой растворами органилсиликонатов натрия или калия заключается в малом расходе модификатора и более гидрофобном эффекте. Основные свойства и удерживающая способность сорбентов по нефтепродуктам приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Свойства сорбентов

	Расход модификатора в зависимости от массы вермикулита, %	Плавуемость ч/з 94 ч., %	Влагоёмкость при полном погружении, вес. %	Адсорбция паров воды при $p/p_s = 1$ , %	Адсорбция паров бензола, %	Адсорбция паров ацетона, %	pH водной вытяжки
1	Вермикулитовый сорбент	17,76	6,16	3,33	1,20	0,00	7,33
2	30 %, ГКЖ-11П	100	2,17	8,92	0,00	1,40	10,30
3	35 %, Силикон 35 %	100	3,41	0,00	3,09	0,00	9,83
4	15 %, Пента-804 + уайт-спирит	100	0,61	0,00	38,83	34,54	6,85
5	15 %, Пента-804 + этиловый спирт	100	0,59	0,00	56,25	20,60	6,43

Таблица 2. Удерживающая способность сорбентов по нефтепродуктам

	Расход модификатора в зависимости от массы вермикулита, %	Маслоёмкость по дизельному топливу, г/г	Нефтеёмкость (нефть сырая Приразломного месторождения), г/г
1	Вермикулитовый сорбент	3,70	5,40
2	30 %, ГКЖ-11П	4,60	5,60
5	35 %, Силикон	4,12	5,00
3	15 %, Пента-804 + уайт-спирит	4,20	5,68
4	15 %, Пента-804 + этиловый спирт	4,67	5,80

Подобранные концентрации гидрофобизаторов не оказывают значительного влияния на удерживающую способность сорбентов по нефтепродуктам, поэтому, на наш взгляд, необходимо было сделать микрографические исследования состояния поверхностей модифицированных сорбентов и характер осаждения реактива.

**Электронномикроскопические исследования поведения поверхности модифицированных сорбентов**

С помощью сканирующего электронного микроскопа SEM LEO-420 были исследованы поверхности вспученного вермикулитового сорбента и сорбентов, обработанных кремнийорганическими гидрофобизаторами. Препарат вспученного вермикулитового сорбента металлизировали золотом для

микроскопических исследований. Крупные пластинчатые частицы сорбента имеют вытянутую форму, на их внешней поверхности наблюдаются более мелкие частицы с чёткими скользящими контурами, а также участки выпуклой формы без чёткой огранки контура. Термическая обработка зёрен увеличивает расстояние между параллельно идущими пластинами (рис. 3а). При просмотре образца, где отсутствует металлизация поверхности, наблюдается интенсивное свечение из-за неравномерного стекания заряда. Частичное проявление поверхности зерна стало возможным благодаря неравномерному покрытию объекта, предположительно карбонатной плёнкой. Вермикулит является диэлектриком, поэтому для проявления поверхности требуется его металлизация (рис. 3б).

Электронномикроскопические исследования поверхности вермикулитовых сорбентов, модифицированных метилсиликатом натрия (рис. 3в), олигометилгидридсилоксаном (рис. 3г) и готовой силиконовой эмульсией (рис. 3д) не обнаруживают сплошного покрытия полисилоксановыми плёнками. Гидрофобизатор располагается на неровных поверхностях и по контурам частиц, блокируя только активные центры для сорбции воды, не закрывает межпакетное пространство вермикулита.

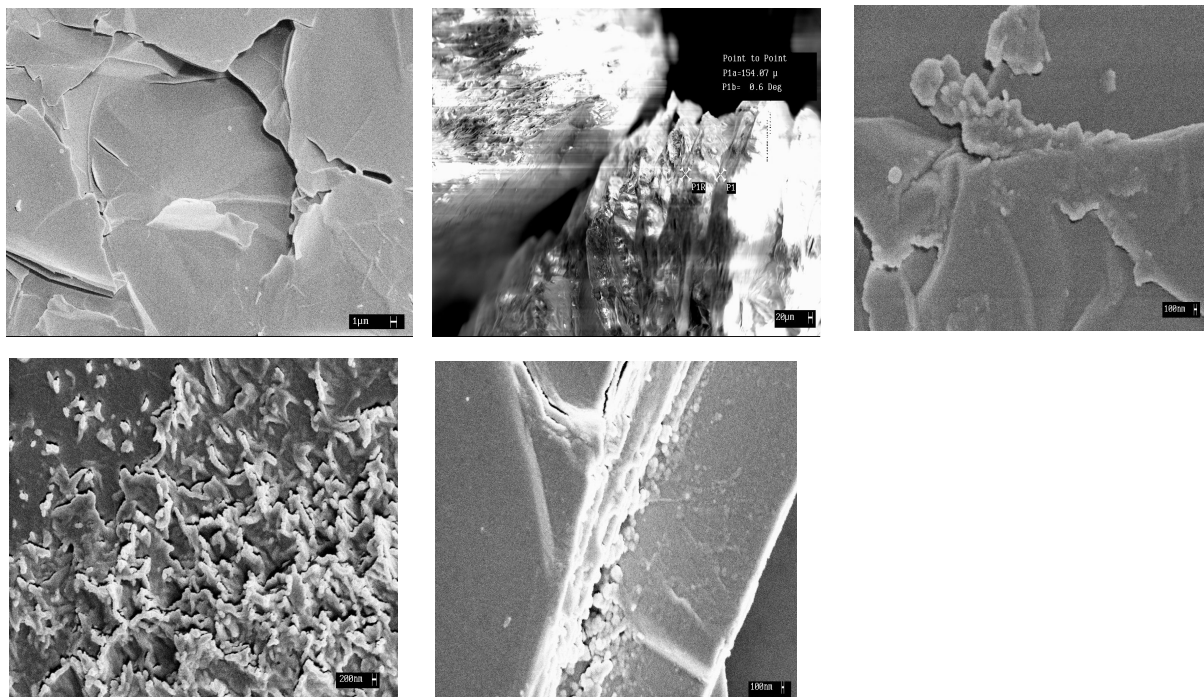


Рис. 3. Микроморфология поверхностей частиц: а – металлизированный вермикулитовый сорбент; б – неметаллизированный вермикулитовый сорбент; в – сорбент, обработанный метилсиликатом натрия; г – сорбент, обработанный олигометилгидридсилоксаном; д – сорбент, обработанный готовой силиконовой эмульсией

#### **Адсорбции дизельного топлива с поверхности воды**

Исследования адсорбции дизельного топлива с поверхности воды проводили экспериментально. Суть эксперимента заключалась в определении эффективности сбора нефтепродуктов с водной поверхности вермикулитом, обработанным кремнийорганическими соединениями. Для этого в пять керамических чашек объёмов 250 мл с  $d = 12$  см добавили по 200 мл воды и 2 мл дизельного топлива. Первую чашку оставили для контроля, во вторую поместили 5 г необработанного вермикулита, в остальные три добавили по столько же обработанного кремнийорганическими соединениями вермикулита. Эксперимент проводили в течение трёх дней, после чего содержимое чашек пропускали через сито с размером ячеек 0,5 мм в мерный стакан и доводили дистиллированной водой до 500 мл. Пробы экстрагировали и исследовали на анализаторе нефтепродуктов АН-2. Средняя концентрация углеводородов в контрольной чашке составила 249,68 мг/л. Концентрация углеводородов и степень очистки воды от дизельного топлива приведены в табл. 3.

Вермикулитовый сорбент, обработанный 15 % эмульсией олигометилгидридсилоксана в этиловом спирте, обладает наибольшим гидрофобным эффектом и лучше адсорбирует углеводороды с поверхности воды.

Полученные результаты по адсорбции дизельного топлива с поверхности воды указывают на целесообразность применения для сбора нефтепродуктов вермикулита, обработанного кремнийорганическими соединениями.

Таблица 3. Сорбция дизельного топлива с поверхности воды

	Адсорбенты	Вермикулитовый сорбент	ВС+15 %, Пента-804	ВС+30 %, ГКЖ-11П	ВС+35 %, Силикон
1	Концентрация углеводов, мг/л	78,52	7,80	14,97	15,36
2	Степень очистки, %	68,56	96,88	94,01	93,85

#### 4. Заключение

Степень гидрофобизации вермикулита зависит от химической природы кремнийорганического соединения, от концентрации модификатора, от природы растворителя и способа обработки.

Обработка вермикулита олигометилгидридсилоксаном позволяет получить наиболее гидрофобный сорбент при меньшем расходе модификатора, чем обработка вермикулита растворами органилсиликонатов щелочных металлов.

Химическая природа и ориентационный эффект олигометилгидридсилоксана на поверхности вермикулита способствует адсорбции паров полярных и неполярных молекул углеводов.

Применение гидрофобизатора на водной основе является наиболее экономичным, но требует вторичной термообработки, чтобы избавиться от избытка воды. В случае применения эмульсии на основе спирта термическая обработка не требуется, спирт быстро испаряется при нормальных условиях. Проникающая способность гидрофобизаторов на органической основе больше, чем гидрофобизаторов на водной основе.

Электронномикроскопические исследования поверхности вермикулита, обработанного органосилоксанами, доказывают ориентацию полисилоксановых плёнок по краям пластин и активным зонам для сорбции воды, при этом не происходит образования сплошного покрытия реактива и закрытия межпакетного пространства.

Подобранные концентрации эмульсий гидрофобизаторов и их расход от массы вермикулита позволили получить гидрофобные сорбенты, обладающие хорошей удерживающей способностью нефтепродуктов и с плавучестью более 3 суток, даже с адсорбированными нефтепродуктами.

Способы гидрофобизации вермикулита кремнийорганическими соединениями отличаются простой методикой нанесения модификатора, их можно рекомендовать в промышленное производство и использовать при ликвидации разливов нефти на водной поверхности, даже в ледовых условиях.

#### Литература

- Алентьев А.А., Клетченков И.И., Пашенко А.А. Кремнийорганические гидрофобизаторы. Киев, *Техническая литература УСС*, с.54, 1962.
- Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. Москва-Ижевск, *НИЦ Регулярная и хаотическая динамика*, с.78, 2005.
- Пашенко А.А. Гидрофобизация. Киев, *Наукова думка*, 237 с., 1973.
- Перхуткин В.П. Справочник инженера по охране окружающей среды (Эколога). М., *Инфра-Инженерия*, 82 с., 2006.
- Соболевский М.В. Олигоорганосилоксаны. Свойства, получение, применение. М., *Химия*, с.221, 1985.
- Юдаков А.А. Новые недорогие эффективные гидрофобные сорбенты для очистки сточных и льяльных вод от органических загрязнений. *Водоочистка*, № 7, с.33, 2010.