

ТЕХНОЛОГИИ НЕФТИ И ГАЗА

научно-технологический журнал

№ 2 2007



НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЕ

Сорбционное связывание углеводородов органомодифицированной цеолитсодержащей породой*

В. В. Горбачук, А. В. Герасимов, И. П. Бреус
Химический институт Казанского государственного университета

Введение

Углеводороды (УВ) — одни из наиболее распространенных и экологически опасных (по токсичности; масштабу, длительности и устойчивости действия) загрязнителей природной среды [1]. К непрерывному усилению их глобального техногенного рассеяния приводят интенсификация добычи и переработки нефти и газа, а также развитие транспортной сети и связанные с этим аварийные выбросы, утечки и разливы. Эта проблема особенно актуальна для России как нефтедобывающей и перерабатывающей страны с большой протяженностью нефте- и продуктопроводов. Наиболее мобильные летучие экзогенные УВ ежегодно в больших количествах поступают в атмосферу в виде паров, а также на поверхность почвы — в жидком и парообразном состоянии. В почве естественная деградация нефтяных УВ протекает очень медленно [2]. Поэтому они способны вызывать длительное вторичное загрязнение на площадях, значительно превышающих площади их первоначального разлива, а также вертикально мигрировать по профилю почвы до грунтовых вод [3]. Особенно опасно существование в почве отдельной жидкой фазы УВ, не смешивающейся с водой и способной к интенсивному испарению [4].

При разработке технологий защиты и восстановления любых сред, загрязненных нефтяными УВ, один из первых и необходимых этапов связан с использованием *сорбентов*. Применению «нефтяных» сорбентов посвящено много работ [5], но большинство их выполнено для водных растворов УВ, тогда как данные по парофазной сорбции УВ встречаются намного реже [6–8].

В качестве сорбентов летучих экзогенных УВ (при очистке газовых смесей, реабилитации загрязненных почв и вод) активно

исследуются природные минералы — *цеолиты и глины*. Для процессов сорбции паров УВ, протекающих в сухих условиях, минералы предлагают к использованию *в природном состоянии* [9,10]. Однако, как правило, и отходящие газы, и почвенно-грунтовые среды являются влажными. В таком случае в связи с конкурентной сорбцией более активно сорбируемой воды минералы модифицируют, придавая им гидрофобные свойства.

Основное число работ по *органомодифицированию* проведено с природными цеолитами [11], поскольку они в сравнении с другими природными сорбентами обладают как достаточно высокой сорбционной емкостью в отношении УВ, так и хорошей гидропроводимостью. Последнее свойство органомодифицированных сорбентов особенно важно при их использовании в качестве полупроницаемых барьерных стенок, которые помещают в почву с целью очистки грунтовых вод от УВ [12], рис. 1 [13]. Модификация, проводимая обычно при помощи катионных ПАВ, резко меняет свойства поверхности цеолитов. Большие органические катионы практически безвозвратно обмениваются с катионами цеолита (K^+ , Na^+ , Ca^{2+}), что приводит к его существенной гидрофобизации, рис. 2 и 3 [14–15].

Много исследований по сорбции УВ выполнено и с органомодифицированными глинами [16]. В сравнении с цеолитами они отличаются более высокой сорбционной активностью и низкой стоимостью. Однако в увлажненной и водонасыщенной среде они подвергаются набуханию и тем самым снижают проницаемость барьерной стенки. Таким образом, при выборе объекта и способа модификации следует учитывать свойства и стоимость как модификатора, так и исходного природного сорбента. Главным сдерживающим фактором в использовании органомодифицированных цеолитов (МЦСП) в эколо-

*Работа выполнена при поддержке грантов МНТЦ #2419 и РФФИ 06-04-49097.

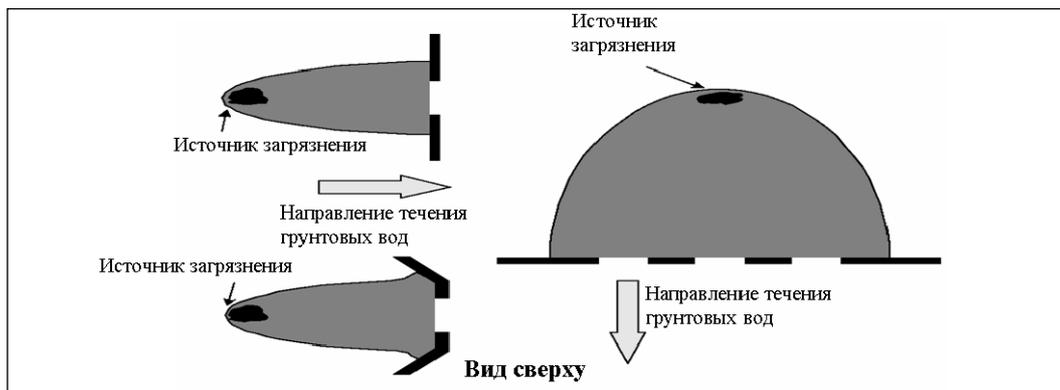


Рис. 1. Схема водопроницаемого реакционного барьера [13]

гических технологиях является их высокая стоимость, связанная с дороговизной составляющих компонентов: модификаторов и цеолитов. За рубежом, где проводятся основные исследования в этой области, в качестве сырья для получения МЦСП используются *цеолитсодержащие породы* (ЦСП) с высоким содержанием цеолита (не менее 70–80%).

В этой связи перспективным сырьем для создания новых, активных и более дешевых МЦСП могут служить *цеолитсодержащие породы*, имеющие в составе, наряду с цеолитами, глинистые минералы и вследствие этого сочетающие достаточную сорбционную емкость и хорошую гидропроводимость.

В России, в том числе в европейской части, имеются большие залежи дешевых

ЦСП, до сих пор мало исследованных в отношении их применения [17]. Одно из таких месторождений, *Татарско-Шатрашанское*, находится в Татарстане — республике с интенсивной нефтедобычей и нефтепереработкой, где остро стоят вопросы безопасности воздушной, почвенной и водной сред в связи с возможностью их загрязнения парами и/или жидкой фазой УВ. Эта дешевая местная ЦСП до сих пор использовалась, причем очень ограниченно, только в дорожных работах, в сельском хозяйстве для мелиорации и в составе премиксов [18]. Актуально исследовать возможность применения таких ЦСП как в нативном состоянии (для улавливания парообразных УВ в сухих и мало увлажненных средах), так и после их обработки органическими модификаторами

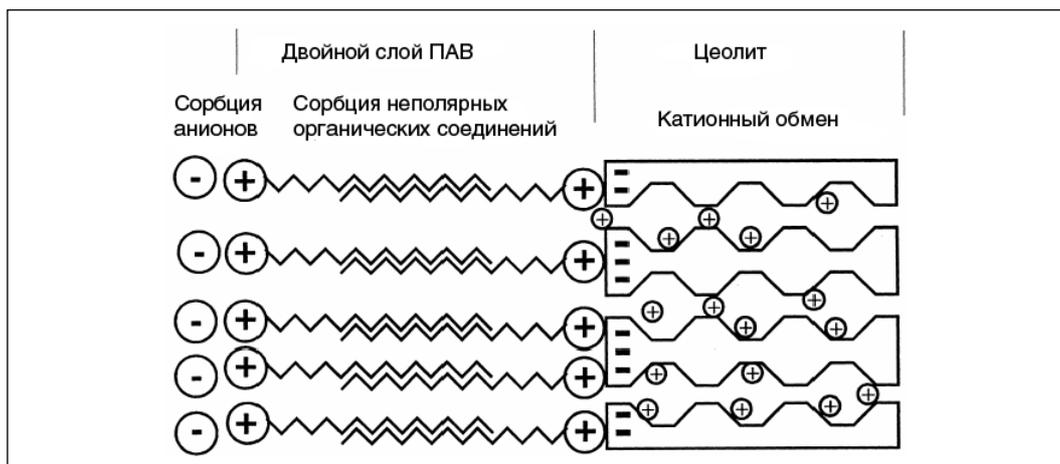


Рис. 2. Схематическое изображение поверхности цеолита, модифицированного катионным ПАВ. Показаны части, ответственные за сорбцию анионов, катионов и неполярных органических соединений [14]

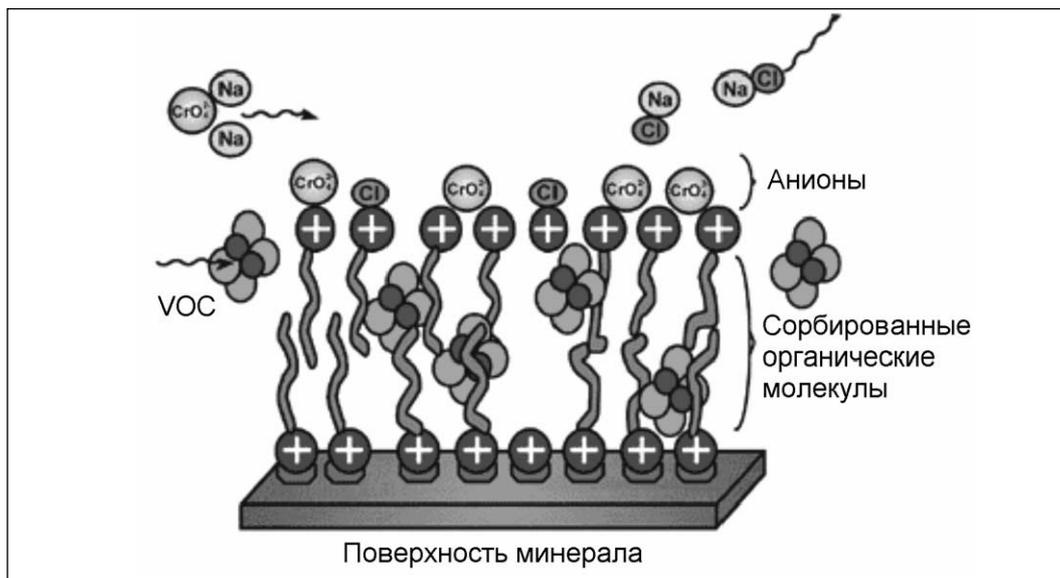


Рис. 3. Схематическое изображение поверхности модифицированного минерала [15]

(для связывания УВ водонасыщенными средами).

Метод парофазной сорбции позволяет определять активность сорбентов в отношении УВ как в сухих средах, так и при различной влажности [19]. Целью данной работы было изучение этим методом сорбционной активности ЦСП Татарско-Шатрашанского месторождения в отношении УВ. Сорбцию трех УВ разной структуры (представителей ароматических и алифатических УВ) исследовали на образцах природной ЦСП и ЦСП, модифицированной катионным ПАВ с целью придания гидрофобных свойств поверхности ЦСП, а также на образцах синтетического цеолита — молекулярного сита (ЦМС).

Все сорбенты были изучены при двух состояниях по влажности: а) при полном насыщении водой из паровой фазы с единичной термодинамической активностью ($P/P_0 = 1$) и б) в осушенном при 105°C состоянии. Указанная температура сушки является стандартной для почв и глинистых минералов.

Объекты и методика исследований

Объекты исследований

Объектами исследований были два сорбента: природная цеолитсодержащая порода Татарско-Шатрашанского месторождения (перед измерениями образцы измельча-

ли и просеивали, размер частиц ЦСП < 1 мм) и синтетическое цеолитовое молекулярное сито (ЦМС 5А, 30/40 mesh, фирма Supelco). В качестве сорбатов были использованы толуол, изооктан (2,2,4-триметилпентан) и *n*-гексан. Чистота сорбатов контролировалась хроматографически; все вещества имели чистоту > 99%.

Модифицирование сорбентов

Для получения органомодифицированной ЦСП (МЦСП) проводили модифицирование природной ЦСП N-додецилпиридиний бромидом (ДДПБ). 10 г исходного сорбента помещали в стакан на 600 мл, содержащий 85 мл 0,0264 М раствора ДДПБ. После 6–8-часового перемешивания с последующим 16–18-часовым отстаиванием производили отбор пробы раствора (4–7 мл) для изучения кинетики ионного обмена. Цикл перемешивание — отстаивание — отбор пробы повторяли ежедневно в течение 6 дней. Образовавшийся осадок отфильтровывали и промывали дистиллированной водой (470 мл).

Содержание ПАВ в пробах МЦСП регистрировали УФ-спектрофотометрически. Величину сорбции ПАВ определяли по разности между количеством ДДПБ исходным и оставшимся после окончания реакции в фильтрате, в промывочной воде и отобранных пробах. Было установлено, что равнове-

сие реакции устанавливалось в течение первых 24 часов после начала процесса модификации. Сорбционная емкость ЦСП по катионам ДДПБ составила 47,9 мг/г (0,193 ммоль/г, 85% от добавленного ПАВ). Содержание ПАВ в фильтрате и отобранных пробах определяли по значению коэффициента экстинкции ДДПБ, определенному в холостом опыте (4013 л/см·моль при $\lambda_{\max} = 259$ нм).

Подготовка образцов для измерения изотерм сорбции

Образцы высушенных сорбентов. Воздушно-сухие образцы (влажность воздуха 60%) взвешивали в открытых ампулах (15 мл) равными порциями по 0,15–1,00 г, в зависимости от эксперимента, и затем осушали для удаления летучих примесей в течение 6 ч при атмосферном давлении и 105°C. *Увлажненные образцы* получали путем насыщения осушенных сорбентов парами воды с относительным давлением $P/P_0 = 1$ в герметично закрытых патронах. Воду дозировали в открытые стеклянные ампулы, помещенные внутрь ампул с сорбентом, для обеспечения насыщения сорбента водой только из паровой фазы. Насыщение сорбента водой проводили в течение двух недель. Наличие не испарившейся после насыщения воды контролировали визуально. Содержание воды в образцах сорбентов определяли термобариметрически на микротермоанализаторе MGD TD-17S (Setaram). Образцы, насыщенные водой с единичной активностью, нагревали при атмосферном давлении до 400°C (скорость нагрева 4°C/мин), после чего термостатировали при этой температуре в вакууме ($P = 8 \cdot 10^{-3}$ Торр) в течение 1 ч.

Измерение изотерм сорбции УВ

В ампулы с образцами сорбентов, высушенных и охлажденных до комнатной температуры в эксикаторе над пентоксидом фосфора, и сорбентов, насыщенных парами воды с единичной активностью, помещали открытые стеклянные ампулы, в которые дозировали разное количество жидкого сорбата, от 1 до 150 мкл. После дозирования ампулы герметизировали в патронах, снабженных прокладками из полиперфторэтилена и силиконовой резины, и выдерживали в течение 72 ч при 298 К.

Изотермы сорбции определяли при

298 К статическим методом парового газохроматографического анализа [6, 7, 20]. Этот метод позволяет непосредственно определить термодинамическую активность (относительное давление) P/P_0 летучих компонентов системы, где P — парциальное давление пара компонента в изученной системе, а P_0 — давление насыщенного пара чистого жидкого сорбата. После определения изотерм сорбции образцы осушали в течение 12 ч при атмосферном давлении и 105°C, как описано выше, для удаления органического сорбата и проведения повторных измерений изотерм сорбции. Качество очистки сорбентов контролировали по отсутствию посторонних пиков при повторном определении изотерм сорбции. Точность определения активности сорбата составляла от 5% (для $P/P_0 > 0,5$) до 10% (для $P/P_0 < 0,1$). Ошибка определения величины сорбции q составляла 5%. Аппроксимацию полученных изотерм сорбции проводили с помощью эмпирического уравнения Арановича — До-нахью [21]

$$q = \frac{q_m b P / P_0}{(1 + b P / P_0)(1 - P / P_0)^d},$$

где q — экспериментально определяемая величина сорбции, мг/г; P и P_0 — соответственно давление сорбата в системе и давление его насыщенного пара; q_m , b , d — варьируемые параметры. Аппроксимационные параметры уравнения для полученных изотерм представлены в таблице.

Результаты и обсуждение

1. Результаты анализа образцов ЦСП Татарско-Шатрашанского месторождения

По литературным данным ЦСП Татарско-Шатрашанского месторождения (Татарстан, Россия) характеризуется устойчивыми технологическими параметрами, в том числе высокой сорбционной и катионообменной способностью, и состоит из двух частей: скрытокристаллической (частицы $< 0,01$ мм) и мелкокристаллической (частицы $> 0,01$ мм) [18]. Анализ минералогического состава образца ЦСП был проведен С. Дж. Чипера методом дифракции рентгеновских лучей (FULLPAT QXRD метод) в Национальной лаборатории гидрологии и геохимии в Лос-Аламосе (США) [22, 23]. По результатам анализа, ЦСП содержит (% мас.) 12% кли-

Параметры аппроксимации изотерм сорбции УВ на осушенных сорбентах (ЦСП; ЦМС-цеолитовом молекулярном сите; МЦСП - ЦСП, модифицированной N-додецилпиридиний-бромидом) и гидратированной МЦСП

Сорбент	Параметр	n-Гексан	Толуол	Изооктан
ЦСП	q_m	23,5	24,3	12,2
	b	5,35	7,97	12,0
	d	0,60	0,75	1,27
ЦМС	q_m	46,4	12,4	11,3
	b	180	5,52	4,65
	d	0,24	0,74	0,42
МЦСП	q_m	76,7	26,8	75,9
	b	1,31	4,16	0,55
	d	0,22	0,99	0,50
МЦСП гидратированная	q_m	3,80	13,7	3,50
	b	5,91	1,23	5,91
	d	0,58	0,82	0,65

нопитллолита/гейландита, 2% полевого шпата, 18% кварца, 26% опал-кристобалита (Opal-ST/Cristobalite), 18% кальцита, 20% смектита, 4% слюды, всего 100%. По дан-

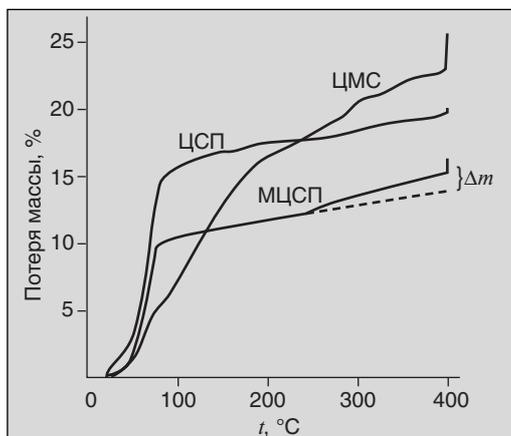


Рис. 4. Термogrавиметрические кривые для ЦМС, ЦСП и МЦСП, насыщенных из паровой фазы водой с термодинамической активностью $P/P_0 = 1$. Пунктирная линия — линейная экстраполяция термogrавиметрической зависимости в интервале температур 120–230°C. Вертикальные участки соответствуют потере массы образцами при 400°C в вакууме $P = 8 \cdot 10^{-3}$ Torr, до постоянного веса. До этой температуры образцы нагревались на воздухе при атмосферном давлении

ном анализа минерального состава, ЦСП Татарско-Шатрашанского месторождения содержит (% мас.) 58,2% SiO_2 , 14,8% CaO , 0,9% K_2O , 5,7% Al_2O_3 . Таким образом, соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в образце равно 18 [18].

2. Результаты термogrавиметрического анализа образцов природных и модифицированных сорбентов

На рис. 4 приведены термogrавиметрические кривые дегидратации влажных образцов сорбентов ЦСП, ЦМС и МЦСП, полученные при насыщении сорбентов парами воды с активностью $P/P_0 = 1$. Перегиб на кривой для МЦСП при 230°C соответствует началу разложения ПАВ, сорбированного на поверхности породы [24]. На основе термogrавиметрических данных было рассчитано остаточное содержание воды в приготовленных образцах сорбентов. Остаточная влажность осушенных при 105°C сорбентов составила: 56 мг/г для ЦСП, 39 мг/г для МЦСП и 237 мг/г для ЦМС. Содержание воды в образцах ЦСП, насыщенных парами воды из паровой фазы, составило 252 мг/г, в образцах МЦСП — 163 мг/г, а в образцах ЦМС — 341 мг/г.

3. Форма изотерм сорбции паров углеводородов осушенными и гидратированными сорбентами

Полученные изотермы сорбции паров УВ на осушенных и гидратированных сор-

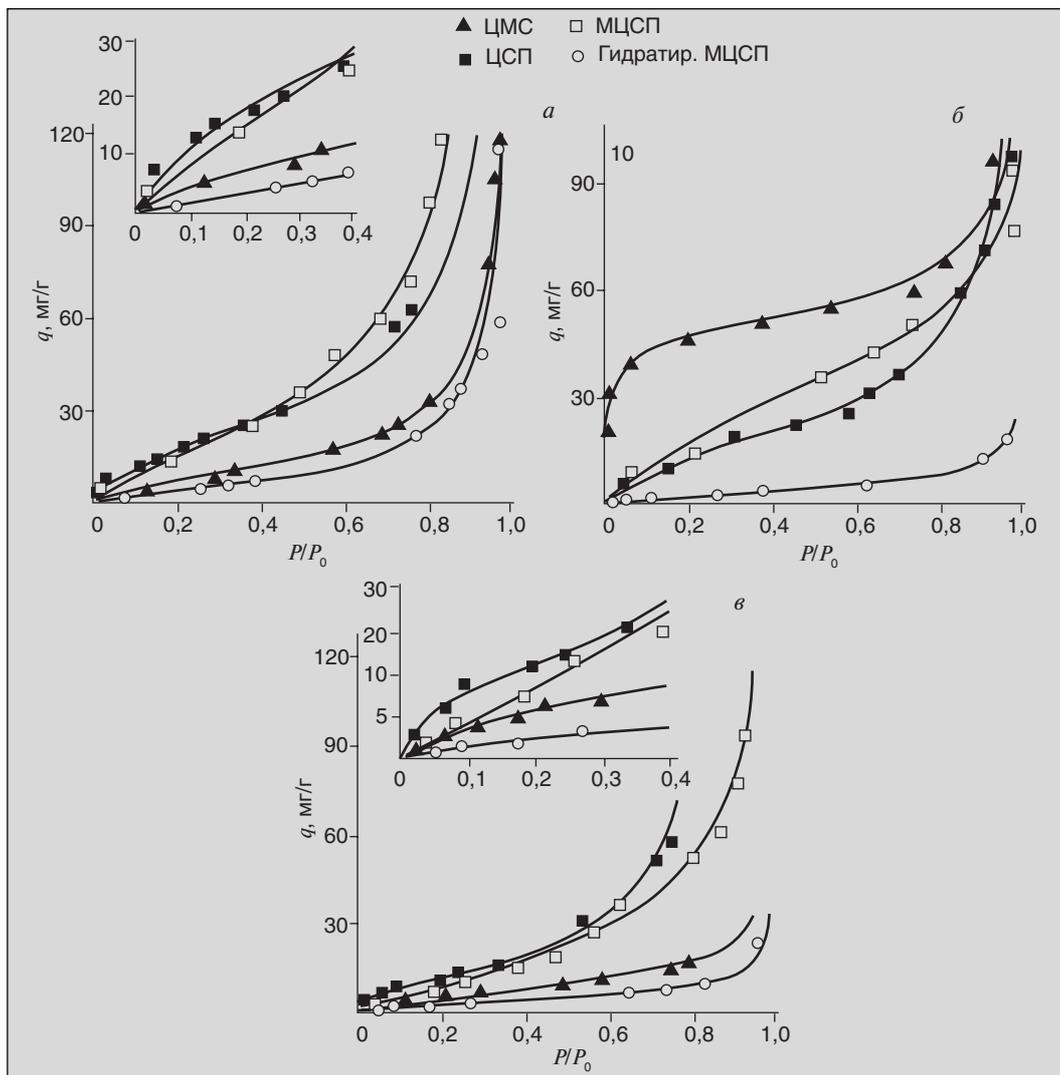


Рис. 5. Изотермы сорбции паров толуола (а), *n*-гексана (б) и изооктана (в) на осушенных ЦСП, ЦМС и осушенной и гидратированной МЦСП при 25°С. Линии — аппроксимация изотерм по уравнению Арановича — Донахью. На вставках показаны увеличенные начальные участки изотерм

бентах ЦСП, МЦСП (модифицированной ЦСП) и ЦМС (цеолитовом молекулярном сите) представлены на рис. 5. Сорбционная емкость гидратированных ЦСП и ЦМС по отношению к изученным сорбатам в большей части изотермы (в интервале $P/P_0 < 0,7$) составляла < 1 мг/г, то есть не превышала экспериментальных ошибок.

Изотермы сорбции УВ на осушенной и гидратированной МЦСП до активности $P/P_0 = 0,4-0,6$ имели начальный линейный участок, а далее — резкий подъем, связан-

ный с многослойной сорбцией на поверхности сорбентов. Подобные изотермы сорбции отмечены для сорбции паров УВ на торфе [25]. Изотермы сорбции УВ на осушенных ЦСП и ЦМС имели начальный «лэнгмюровский» участок (до $P/P_0 = 0,4-0,6$) с последующим резким подъемом. Изотерма сорбции *n*-гексана, способного проникать внутрь пор (5 Å), на ЦМС имела форму, близкую к «лэнгмюровской» с небольшим, почти линейным подъемом в интервале $P/P_0 = 0,15-0,80$. Подобная форма изотермы

сорбции отмечена для сорбции в микропорах, например, молекул воды цеолитом 13X [26]. Отмеченные различия в форме изотерм сорбции указывают на существенный вклад механизма абсорбции УВ (сорбции в органическую фазу) в случае модифицированной ЦСП.

4. Влияние органомодифицирования на сорбцию углеводородов

По селективности сорбции УВ различной химической природы осушенная МЦСП занимала промежуточное положение между ЦСП и ЦМС. Так, при низкой активности паров УВ ($P/P_0 = 0,3$) сорбция *n*-гексана на ней была равна сорбции толуола, но в 2 раза больше сорбции изооктана. При средней активности ($P/P_0 = 0,5$) величины сорбции *n*-гексана и изооктана были близки, а сорбция толуола больше, особенно при высокой активности ($P/P_0 = 0,8$) — почти на 100%. Большая сорбция толуола по сравнению с изооктаном на осушенных ЦСП и МЦСП может быть связана с высоким содержанием глинистых минералов в породе.

В литературе отмечен эффект органомодифицирования почвы ПАВом, связанный с уменьшением ее поверхности, доступной для сорбции [27]. Однако в нашем случае модификация ЦСП при помощи ПАВ не привела к значительному изменению ее сорбционной емкости в осушенной форме. Сорбция *n*-гексана, толуола и изооктана на осушенных ЦСП и МЦСП мало различалась при низких активностях ($P/P_0 < 0,15$), а при высоких ($P/P_0 > 0,7$) сорбция толуола и *n*-гексана на МЦСП была на 30% больше. Для изооктана не наблюдали заметной разницы в величинах сорбции на этих сорбентах во всем интервале активностей.

В то же время модификация вызвала снижение содержания воды (влажности) как в полностью гидратированном, так и в осушенном МЦСП в сравнении с немодифицированными образцами ЦСП. МЦСП, гидратированная при относительной влажности воздуха (RH), равной 100%, сорбировала достоверно меньше воды, чем исходная ЦСП (на 89 мг/г). Это почти в два раза больше, чем количество ПАВ в модифицированной породе (48 мг/г). Полученный результат, с одной стороны, демонстрирует блокирующее действие катионного ПАВ в

отношении поверхности ЦСП, с другой стороны, количественно характеризует его эффективность. Важным для практики следствием блокирования ПАВ связывания воды на поверхности ЦСП является существенное увеличение сорбции УВ на гидратированном МЦСП по сравнению с гидратированным ЦСП, практически их не сорбирующим.

Сорбция толуола на гидратированной МЦСП при активности $P/P_0 = 0,3$ МЦСП была в 1,7 раза выше, чем *n*-гексана и изооктана. Это, вероятно, было связано с тем, что молекулы воды блокируют микропоры, которые имеются в МЦСП, и определяющим фактором становится меньшая гидрофобность толуола. В водном растворе при бесконечном разбавлении коэффициент активности толуола ($\gamma_\infty = 9190$) значительно меньше, чем *n*-гексана ($\gamma_\infty = 4,35 \cdot 10^5$).

Поскольку сорбция *n*-гексана и изооктана на гидратированной МЦСП при $P/P_0 = 0,8$ не превышала 9 мг/г, что значительно меньше содержания ПАВ в МЦСП, следует признать, что для сорбции этих УВ была доступна только малая часть объема органической фазы на поверхности МЦСП. Это означает, что катионные ПАВ не образуют на поверхности МЦСП компактных агрегатов, подобных мицеллам, где могут хорошо сорбироваться УВ. Таким образом в гидратированном состоянии модификация ЦСП привела к значительному повышению сорбционной емкости сорбента. На примере толуола видно, что она возросла с нулевого уровня до величин, сравнимых с емкостью сухого немодифицированного цеолитового молекулярного сита.

Полученные в настоящей работе данные позволяют не только определить характер влияния гидратации и модификации природных сорбентов на их сорбционные свойства в отношении УВ, но и дать этим эффектам количественную оценку. Данная информация является необходимой для предсказания сорбционных параметров природных и модифицированных минералов и может быть использована в экологической практике: при выборе сорбентов, эффективных для улавливания паров экзогенных УВ из атмосферы, и при создании водонепроницаемых реакционных барьеров, предназначенных для очистки водонасыщенных систем, загрязненных УВ.

Выводы

1. Установлена высокая сорбционная активность осушенной природной цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения в отношении УВ разной химической природы — представителей алифатических и ароматических УВ, входящих в состав нефти и нефтепродуктов.

2. Сравнение осушенных ЦСП — исходной и модифицированной — показало, что модификация приводит к небольшим изменениям в величинах сорбции изученных УВ и незначительному изменению селективности по отношению к их молекулярной структуре.

3. Полная гидратация снижает сорбцию УВ на немодифицированных сорбентах почти до нуля, а также понижает в несколько раз (но оставляя при этом на достаточно высоком уровне: 16,9 мг/г для толуола, 6,8 мг/г для изооктана и 6,7 мг/г для *n*-гексана при активности сорбатов $P/P_0 = 0,7$) их сорбцию на модифицированной ЦСП.

4. Гидратация модифицированной ЦСП приводит к большей избирательности породы как сорбента по отношению к толуолу.

5. На примере толуола показано, что сорбционное сродство модифицированной ЦСП к УВ сопоставимо с данными других авторов по сорбции из воды моноароматических УВ на модифицированных сорбентах различной природы, если содержание ПАВ в них близко. При этом речь идет о сопоставлении с результатами для ЦСП с высоким содержанием цеолита, для лессовой почвы, для монтмориллонита (во всех случаях — модификация гексадецил-триметиламмонием) и монтмориллонита, модифицированного бензилтетрадецилдиметил-аммонием.

6. Полученные данные укладываются в общую экспоненциальную зависимость сорбционного сродства ароматического УВ от содержания ПАВ в сорбенте. По-видимому, природа сорбента влияет на сорбционное сродство модифицированных субстратов в воде только опосредованно — через способность принимать в результате катионного обмена большее или меньшее количество ПАВ. Этот факт подтверждает перспективность использования в защитных технологиях, наряду с модифицированными неорганическими сорбентами, сорбентов, имеющих чисто органическую природу.

Литература

1. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. — М.: МГУ, 1993. — 239 с.
2. Breckenridge R. P. Characterizing Soils For Hazardous Waste Site Assessments // U. S. Environmental Protection Agency. EPA/540/4-91/003. 1991.
3. Мироненко В. А., Петров Н. С. Загрязнение подземных вод углеводородами // Геоэкология. — 1995. — №3. — С. 27.
4. Newell Ch. J., Acree S. D., Ross R. R. e. a. Light nonaqueous phase liquids. // U. S. Environmental Protection Agency. Ground water issue. R. S. Kerr Environ. Res. Lab., Ada, OK. EPA/540/s-95/500, 1995.
5. Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. — Москва-Ижевск, 2005. — 267 с.
6. Бреус И. П., Мищенко А. А., Неклюдов С. А., Бреус В. А., Горбачук В. В. Сорбция углеводородов на выщелоченном черноземе // Почвоведение. — 2003. — №3. — С. 317–327.
7. Мищенко А. А., Бреус В. А., Неклюдов С. А., Бреус И. П. Сорбционное связывание углеводородов геосорбентами // Технологии нефти и газа. — 2004. — №1. — С. 36–44.
8. Sircar S. Basic Research Needs for Design of Adsorptive Gas Separation Processes // Ind. Eng. Chem. Res. — 2006. — V. 45. — P. 5435–5448.
9. Тарасевич Ю. И., Овчаренко Ф. Д. Адсорбция на глинистых минералах. — Киев: Наукова Думка, 1975. — 352 с.
10. Ackley M. W., Rege S. U., Saxena H. Application of natural zeolites in the purification and separation of gases // Microporous and Mesoporous Materials. — 2003. — V. 61. — P. 25–42.
11. Bowman R. S. Applications of surfactant-modified zeolites to environmental remediation // Microporous and Mesoporous Materials. — 2003. — V. 61. — P. 43–56.
12. Davis G. B., Patterson B. M. Developments in permeable reactive barrier technology // Biorem. — 2003. — P. 205–226.
13. Vidic R. D., Pohland F. G. Treatment Walls // Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center (GWRAC). Pittsburgh, PA, University of Pittsburgh. Department of Civil and Environmental Engineering, 1996.
14. Jacobs P. H., Rstner U. F. Concept of subaqueous capping of contaminated sediments with active barrier systems (ABS) using natural and modified zeolites // Wat. Res. — 1999. — V. 33. — N. 9. — P. 2083–2087.

15. Bowman R. S., Sullivan E. J., Li Z. Uptake of cations, anions, and nonpolar organic molecules by surfactant-modified clinoptilolite-rich tuff // Natural zeolites for the third millenium / Eds. C. Colella, F. A. Mumpton // Naples: De Frede Editore. — 2000. — P. 287–297.
16. Chun1 Y., Sheng G., Boyd S. A. Sorptive Characteristics of Tetraalkylammonium-exchanged Smectite Clays // Clays and Clay Minerals. — 2003. — V. 51. — N. 4. — P. 415–420.
17. Природные цеолиты. — М.: Химия, 1985. — 223 с.
18. Якимов А. В. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. — Казань.: Изд-во Фон, 2001. — 176 с.
19. Бреус И. П., Мищенко А. А. Сорбция летучих органических соединений почвами: Обзор литературы // Почвоведение. — №11. — 2006.
20. Gorbachuk V. V., Tsifarkin A. G., Antipin I. S., Solomonov B. N., Konovalov A. I., Seidel J., Baitalov F. Thermodynamic comparison of molecular recognition of vaporous guests by solid calixarene and diol host // J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2. — 2000. — N11. — P. 2287–2294.
21. Aranovich G. L., Donohue M. D. Multilayer Adsorption of Slightly Soluble Organic Compounds from Aqueous Solutions // J. Colloid and Interface Sci. — 1996. — V. 178. — P. 764–769.
22. Sullivan E. J., Hunter D. B., Bowman R. S. Topological and thermal properties of surfactant-modified clinoptilolite studied by tapping-mode atomic force microscopy and high-resolution thermogravimetric analysis // Clays and Clay Minerals. — 1997. — V. 45. — P. 42–53.
23. Chipera S. J., Bish D. L. A full-pattern quantitative analysis program for X-ray powder diffraction using measured and calculated patterns // Applied Crystallography. — 2002. — V. 35. — P. 744–749.
24. Ming D. W., Mumpton F. A. Zeolites in soil // Minerals in soil environments, 2nd ed. / Eds. J. B. Dixon, S. B. Weed // Madison, WI: Soil Science Society of America. — 1989. — P. 873–911.
25. Rutherford D. W., Chiou C. T. Effect of Water Saturation in Soil Organic Matter on the Partition of Organic Compounds // Environ. Sci. Technol. — 1992. — V. 26. — P. 965–970.
26. Kim J-H., Lee C-H., Kim W-S., Lee J-S., Kim J-T., Suh J-K., Lee J-M. Adsorption Equilibria of Water Vapor on Alumina, Zeolite 13X, and a Zeolite X/Activated Carbon Composite // J. Chem. Eng. Data. — 2003. — V. 48. — P. 137–141.
27. Steinberg S. M., Swallow C. E., Ma W. K. Vapor phase sorption of benzene by cationic surfactant modified soil / S. M. Steinberg // Chemosphere. — 1999. — V. 38. — N. 9. — P. 2143–2152.

Издательством «Техника» выпущена книга В. Е. Емельянова, В. Н. Скворцова

«МОТОРНЫЕ ТОПЛИВА: АНТИДЕТОНАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ»

Приведены сведения о требованиях к качеству и технологии производства моторных топлив, методах оценки их детонационной стойкости и воспламеняемости.

В книге изложены основные теоретические и практические вопросы, относящиеся к определению детонационной стойкости и воспламеняемости моторных топлив на современных одноцилиндровых установках, их техническому обслуживанию, а также новейшие достижения техники в области совершенствования установок и методов испытаний.

Книга предназначена в качестве практического руководства для работников лабораторий нефтеперерабатывающих и нефтесбытовых предприятий, а также для работников автомобильного и воздушного транспорта и других отраслей; будет полезна студентам нефтяных и автомобильных вузов и техникумов.

По вопросам приобретения книги обращайтесь в редакцию журнала.

Телефон для справок 361-11-95