

**В.В. Лукьянова, Ю.И. Тарасевич, С.В. Бондаренко,
Г.Н. Малыш, А.И. Жукова, А.П. Кожан**

**СТРУКТУРНО-СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА И ВОЗМОЖНОСТИ
ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ
ВЕЩЕСТВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

На основе данных по адсорбции паров азота, n-гексана, воды и электрохимических измерений показано, что терморасширенный графит обладает неоднородно-пористой структурой и ярко выраженной гидрофобной поверхностью, на 1 м² которой находится ~ 10¹⁸ активных гидрофильных центров. Проведена их идентификация. Изучена адсорбция анионных (сульфонол, краситель прямой алый, фульвокислоты), катионных (краситель кристаллический фиолетовый) и неионогенных (i-ОсPh(OE)₁₀) органических соединений на поверхности терморасширенного графита. Показана перспективность использования исследуемого сорбента в процессах очистки воды от растворённых органических соединений.

Для очистки природных и сточных вод в мировой практике широко используют природные и синтетические углеродные сорбенты [1, 2]. Исходя из экономической целесообразности, наиболее перспективным представляется применение углеродных адсорбентов, полученных на основе отечественного минерального сырья. С этой целью нами были проведены исследования адсорбционных свойств терморасширенного графита (ТРГ) по отношению к различным органическим веществам – загрязнителям воды.

Образец ТРГ получали по технологии [3] путем обработки химически обогащенного природного графита марки ГАК-2 (ГОСТ 0273-78 [4]) смесью концентрированной серной кислоты и 30%-ного пероксида водорода в течение 30 мин. После гидролиза соединения внедрения в графит (бисульфата графита) образуется окисленный графит, который терморасщепляется в газовой печи при 900°C. Затем в прожарочном аппарате в течение 30 с при 700°C в среде азота ТРГ очищается от остатков сернистых соединений. Насыпная плотность полученного материала – 4 – 8 г/дм³.

В работе были исследованы структурно-сорбционные характеристики ТРГ, природа и количество функциональных групп на его поверхности и адсорбция из водных растворов таких органических соединений:

© В.В. ЛУКЬЯНОВА, Ю.И. ТАРАСЕВИЧ, С.В. БОНДАРЕНКО, Г.Н. МАЛЫШ,
А.И. ЖУКОВА, А.П. КОЖАН, 2008

– анионоактивное ПАВ – сульфонол (Na-додецилбензолсульфонат $C_{12}H_{25}C_6H_4SO_3Na$ с молекулярной массой $M = 348$, ККМ = 1,20 ммоль/дм³, фактором ассоциации $f = 24,0$), ТУ 6-09-119-73;

– неионогенное ПАВ – *i*-ОсPh(OE)₁₀ (*изо*-октилфениловый эфир полиэтиленгликоля $C_8H_{17}C_6H_4O(C_2H_4O)_{10}H$ с $M = 646$, ККМ = 0,32 ммоль/дм³) с содержанием основного вещества 99%, выделенное перекристаллизацией из технического препарата ОП-10;

– анионный краситель – прямой алый (ПА) с $M = 813$, ККМ = 0,85 ммоль/дм³, $f = 15,0 - 30,0$, ТУ 6-09-4219-78, "ч.д.а.";

– катионный краситель – кристаллический фиолетовый (КФ) с $M = 407,5$, $f = 2,6$, ТУ 6-09-4119-75, "ч.д.а.";

– фульвокислоты (ФК), выделенные из торфа с помощью метода Форсита [5, 6]. Было показано, что основное количество этих кислот имеет молекулярную массу 800 – 600 Да. Зольность препарата ФК составила 1,5 – 2,0%.

Методика эксперимента. Для изучения структурно-сорбционных характеристик ТРГ были проведены исследования низкотемпературной (–196°C) адсорбции азота статическим объемным методом на приборе ASAP 2000M фирмы "Micromeritics" (США). Температура предварительной термообработки образца составляла 120°C. На основе полученных изотерм, используя программное обеспечение прибора, рассчитаны удельная поверхность сорбента по БЭТ S_{N_2} , предельный сорбционный объем V_s , объем микропор W_0 , кривые распределения объемов пор по размерам.

Для более полной информации о структуре ТРГ и оценки гидрофильности его поверхности были сняты изотермы адсорбции – десорбции паров *n*-гексана и воды на вакуумной адсорбционной установке с кварцевыми пружинными весами Мак-Бэна – Бакра при 25°C; температура предварительного вакуумирования образца – 120°C. По изотермам адсорбции с помощью уравнения БЭТ определены емкость условного монослоя и эффективная удельная поверхность сорбента. По изотермам десорбции гексана в интервале относительных давлений $P/P_s = 0,3 - 0,9$ при помощи уравнения Кельвина-Томсона рассчитано распределение объемов пор по их эффективным радиусам.

Реакционноспособные группы кислотного и основного характера на поверхности ТРГ определяли количественно по методу обратного кондуктометрического титрования [7]. Навеску сорбента массой 0,10 г заливали 20 см³ дистиллированной воды, освобожденной от угольной кислоты, и, периодически перемешивая, выдерживали 24 ч при (20±0,1)°C в колбе с притёртой пробкой. Затем к суспензии приливали по 1 см³ 0,1М водного раствора КОН или HCl, а кондуктометрическое титрование проводили соответственно 0,1М раствором HCl или КОН. Объёмы стандар-

тных растворов измеряли с помощью откалиброванной микробюретки ёмкостью 1 см³, снабжённой специальным микродозатором. Электропроводность суспензий измеряли мостом переменного тока типа Р5021. Термостатированная и герметически закрывающаяся ячейка для измерения электропроводности была снабжена плоскими платиновыми электродами и магнитной мешалкой. Контакт с атмосферным воздухом осуществлялся через поглотительную трубку, заполненную натронной известью. Из кривых кондуктометрического титрования рассчитывали количество кислых или основных центров a (мк-экв/г):

$$a_{\text{H}^+(\text{OH}^-)} = \frac{C_{\text{HCl}(\text{KOH})} \cdot V_1 - C_{\text{KOH}(\text{HCl})} \cdot V_2}{m} \cdot 10^3,$$

где $C_{\text{HCl}(\text{KOH})}$ – концентрация кислоты или щелочи, ммоль/см³; V_1 – объем добавленной в суспензию кислоты или щелочи, см³; V_2 – объем титранта, израсходованного на титрование свободной кислоты или щелочи, см³; m – навеска сорбента, г; 10^3 – пересчётный коэффициент от ммоль к мкмоль. Точность определения количества кислых и щелочных групп составляла $\pm 5\%$.

Для определения типа и силы кислотно-основных центров на поверхности сорбента применяли метод потенциометрического титрования в водных и водно-органических средах. Кривые потенциометрического титрования снимали методом отдельных навесок [7] в интервале рН 2,3 – 10,8. Навеска, отобранная на аналитических весах, составляла 0,1 г. Общий объём раствора в каждой пробе был равен 40 см³. Для обеспечения постоянного солевого фона использовали 1М раствор КСl. Все растворы готовили на дистиллированной воде, освобождённой от угольной кислоты. Время контакта навесок с растворами 0,1М KOH и 0,1М HCl в 1М KCl, необходимое для установления равновесия в системах, составляло 24 ч при $(20 \pm 0,1)^\circ\text{C}$.

Величину рН в системах измеряли с помощью универсального иономера ЭВ-74. В качестве электродной пары служили стеклянный электрод типа ЭСЛ-05Г и погружной хлорсеребряный насыщенный электрод ЭВЛ-1МЗ. В ходе исследований калибровку стеклянного электрода проводили по трём буферным растворам один раз в неделю. Измерения проводили при $(20 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ в герметически закрытой термостатируемой ячейке с магнитной мешалкой. Сообщение ячейки с атмосферным воздухом осуществлялось через поглотительную трубку, заполненную натронной известью. Кривые потенциометрического титрования строили в координатах рН/ V , где V – объём кислоты или щелочи (см³), добавленных в систему.

По кривым титрования при выбранных значениях рН (9 и 9,8) оценивали обменную ёмкость сорбента (E , мк-экв/г) с точностью $\pm 5\%$.

Изучение адсорбции органических веществ из водных растворов на поверхности исследуемого адсорбента проводили в статических условиях [2].

Для получения изотерм адсорбции сульфанола и i -ОсPh(OE)₁₀ (ОП-10) на ТРГ готовили по 8–12 водных растворов указанных веществ в интервале концентраций $C_0 = 7 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-1}$ ммоль/дм³ для сульфанола и $C_0 = 1 \cdot 10^{-2} - 15 \cdot 10^{-2}$ ммоль/дм³ для i -ОсPh(OE)₁₀. Затем сухие навески массой 0,25 г заливали 50 см³ соответствующих растворов. Адсорбционное равновесие в системах устанавливалось в течение 5 сут, затем твёрдую фазу отделяли от жидкой путём центрифугирования при 6000 об/мин. Исходные и равновесные концентрации адсорбатов определяли на спектрофотометре SPECORD UV-VIS в ультрафиолетовой области спектра при длине волны $\lambda = 227$ нм.

Изотермы адсорбции красителей ПА и КФ на ТРГ получали при нескольких концентрациях: $C_0 = 3,7 \cdot 10^{-2}$; $7,4 \cdot 10^{-2}$ и $1,2 \cdot 10^{-1}$ ммоль/дм³ для ПА и $C_0 = 2,5 \cdot 10^{-1}$ и $7,4 \cdot 10^{-1}$ ммоль/дм³ для КФ. Сухие навески массой от 0,10 до 0,60 г заливали 100 см³ ПА, а в случае КФ навески были постоянными (0,25 г), но менялся объём раствора красителя от 10 до 180 см³. Далее эксперимент проводили аналогично описанному выше. Равновесные концентрации красителей определяли на спектрофотометре SPECORD UV -VIS в видимой области спектра при длине волны $\lambda = 500$ нм и параллельно на фотоэлектрическом колориметре-нефелометре ФЭК-56М.

Методика получения изотерм адсорбции ФК на ТРГ заключалась в следующем. Готовили водные растворы ФК с концентрацией $C_0 = 100$ мг/дм³. Сухие навески ТРГ массой 0,10 – 0,50 г заливали одинаковым объёмом (50 см³) ФК. Подготовленные суспензии доводили до требуемых значений рН (2; 7) растворами 0,1М HCl или 0,1М NaOH. Равновесие устанавливалось в течение 3 сут, затем центрифугированием отделяли твёрдую фазу, а в растворе определяли наличие ФК. Количественное определение ФК в растворах проводили фотометрическим методом на приборе ФЭК-56М в ультрафиолетовой области спектра при длине волны $\lambda = 400$ нм, предварительно доводя рН исследуемого раствора до ~ 12 . Буферирование систем проводили в связи с тем, что реакция среды очень важна при исследовании спектров поглощения. В качестве стандарта для всех препаратов гуминовых веществ рекомендуют значения рН 11 – 13 [5], так как в этом диапазоне наиболее устойчива окраска фульватов, а их растворы более прозрачны.

Результаты и их обсуждение. Знание структурно-сорбционных характеристик терморасширенного графита необходимо для понимания кол-

лоидно-химических процессов, происходящих на поверхности раздела фаз: растворы исследуемых веществ – ТРГ.

Изотерма низкотемпературной адсорбции азота на рассматриваемом сорбенте представлена на рис. 1, а.

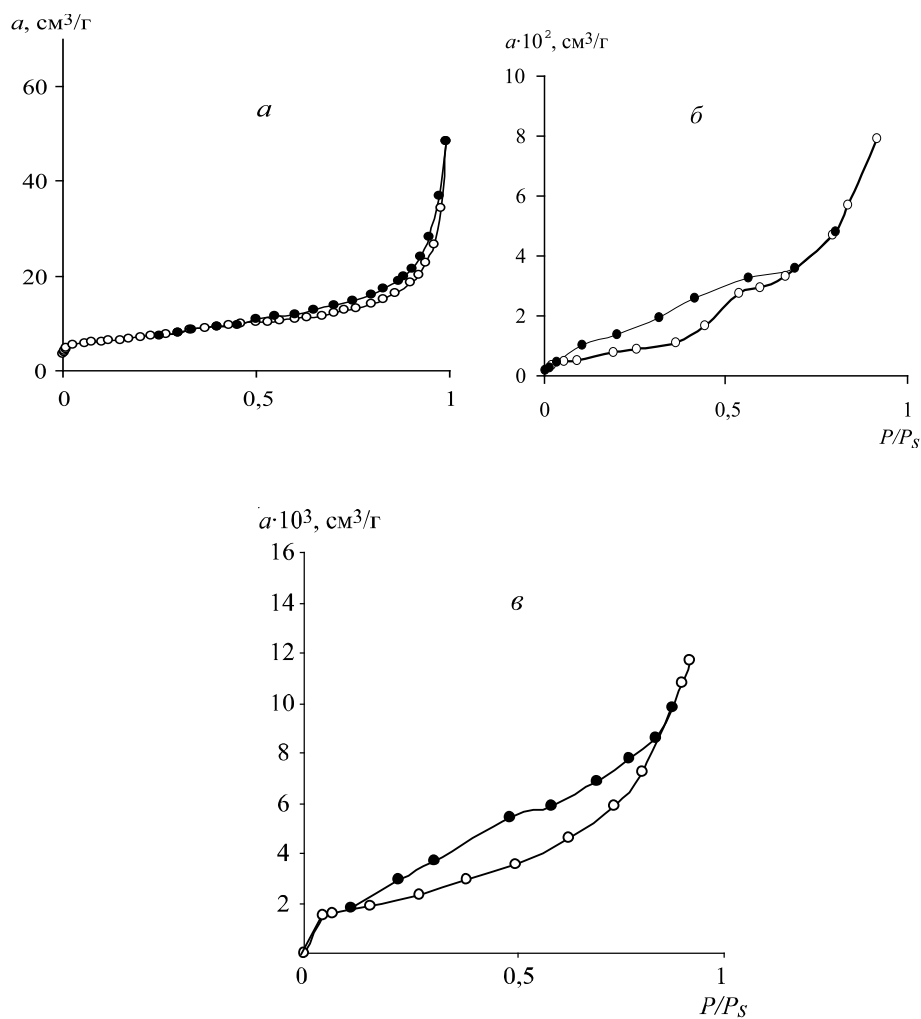


Рис. 1. Изотермы адсорбции – десорбции азота (а) при -196°C , *n*-гексана (б) при 25°C и воды (в) при 25°C на терморасширенном графите. ● – десорбция

По типу изотермы можно заключить, что ТРГ обладает неоднородно-пористой структурой. По мере роста относительного давления в интервале $P/P_s = 0,40 - 0,98$ наблюдается узкая петля капиллярно-конденсационного гистерезиса, обусловленная мезопорами в структуре сорбента. Действительно, кривые распределения объема пор по их размерам под-

тверждают преобладание мезопор с эффективными радиусами ~1,3; 2,0 и 22,5 нм (таблица).

Структурно-сорбционные характеристики терморасширенного графита

Характеристики	Адсорбат		
	N ₂	<i>n</i> -C ₆ H ₁₄	H ₂ O
Удельная поверхность (<i>S</i> , м ² /г)	24,1	15	5,2
Предельный сорбционный объем (<i>V_s</i> , см ³ /г)	0,080	–	–
Объем микропор (<i>W₀</i> , см ³ /г)	0,0052	–	–
Ёмкость условного монослоя (<i>a_m</i> , ммоль/г)	–	0,05	0,01
Эффективный радиус пор (<i>r_{эф}</i> , нм)	1,3; 2,0; 22,5	1,7 – 2,3	–

Ход изотерм адсорбции – десорбции *n*-гексана (рис. 1, б) и воды (рис. 1, в) на рассматриваемом углеродном адсорбенте близок к изотерме низкотемпературной адсорбции азота. В частности, начальные участки всех изотерм в области относительных давлений $P/P_s < 0,1$ являются выпуклыми. На изотермах наблюдается гистерезисная петля, которая смыкается с адсорбционной ветвью изотермы при $P/P_s \approx 0,02$.

Отношение ёмкостей условного монослоя в области низких заполнений $a_{m(\text{гексан})}/a_{m(\text{вода})}$ составляет 3,62, а в области относительных давлений $P/P_s = 0,9$ отношение величин адсорбированных паров гексана и воды ($a_{(\text{гексан})}/a_{(\text{вода})}$) – 7,11, что позволяет сделать вывод о ярко выраженном гидрофобном характере поверхности ТРГ [8].

Резкий подъём на изотерме адсорбции паров гексана на ТРГ в области $P/P_s = 0,5$ и довольно выраженный уступ на десорбционной ветви изотермы (см. рис. 1, б) свидетельствуют о щелевидном характере мезопор, присущих ТРГ, что, естественно, вытекает из слоистой структуры исходного графита.

Молекулы воды, как известно [9], взаимодействуют с кислотами и основаниями, и, следовательно, по адсорбционным данным можно оценить суммарное количество активных центров.

Расчет концентрации активных центров на поверхности исследуемого сорбента с использованием значения удельной поверхности образца, определенной по адсорбции паров гексана и азота (см. таблицу), даёт для ТРГ соответственно $0,6 \cdot 10^{18}$ и $0,4 \cdot 10^{18}$ центр/м². Концентрация активных центров существенно влияет на величину адсорбции воды в основном в области малых заполнений поверхности сорбента [10]. Её величина на поверхности ТРГ, полученная хроматографическим методом [11], составляет $0,253 \cdot 10^{18}$ центр/м².

С использованием методов потенциметрического и кондуктометрического титрования предпринята попытка дать качественную и количественную оценку активным центрам на поверхности ТРГ.

На рис. 2 представлена кривая потенциметрического титрования ТРГ в водной среде в сравнении с кривой холостого опыта (фоновый электролит 1М КС1). Она имеет вид, характерный для слабокислотных полифункциональных ионообменников: наблюдается плавный и примерно одинаковый наклон в широкой области рН, а также слабовыраженные перегибы.

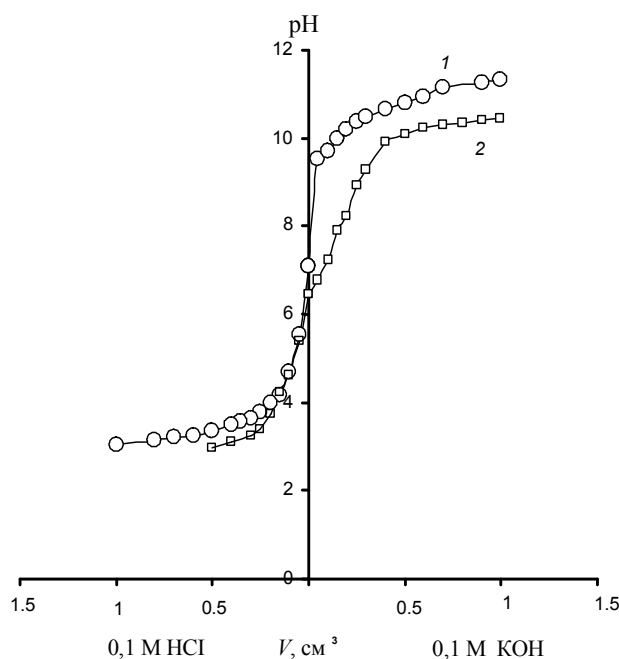


Рис. 2. Кривая потенциметрического титрования терморасширенного графита в среде 1М КС1: 1 – холостой опыт; 2 – терморасширенный графит

Левая часть кривой титрования ТРГ (см. рис. 2) в диапазоне значений

pH 3,2 – 5 выражает распределение групп сильнокислотного характера. Перегиб кривой 2 при pH 5 – 8 характеризует диссоциацию карбоксильных групп (-COOH), а дальнейшее (при pH > 9) плавное увеличение ёмкости сорбента связано с диссоциацией гидроксильных групп фенольного типа. Количество кислотных центров на поверхности исследуемого сорбента по данным потенциометрического титрования: $Q_{-COOH} = 40$ и $Q_{\text{фенол. группы}} = 85$ мк-экв/г.

Таким образом, суммарное количество активных центров на поверхности ТРГ составляет 125 мк-экв/г или $3,1 \cdot 10^{18}$ центр/м². Это выше, чем концентрация активных центров, определённая в условиях вакуума адсорбционным методом или при повышенных температурах газохроматографическим методом [11], что вполне естественно, так как потенциометрическое титрование проводили в водной среде, и на полученные результаты могли влиять кислотные свойства связанной с активными центрами воды.

Суммарную ёмкость обмена исследуемого сорбента определяли путём сопоставления кривых его титрования с холостым опытом. Зависимость величины ёмкости обмена от pH представлена на рис. 3. Судя по ходу этой зависимости, ТРГ относится по классификации Б.П. Никольского [12] к IV типу ионитов.

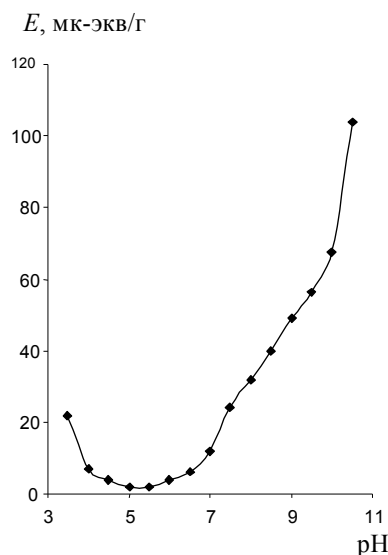


Рис. 3. Зависимость обменной ёмкости (E , мк-экв/г) термо-расширенного графита от величины pH (в среде 1М KCl)

Как видно из рис. 3, поверхность ТРГ обладает амфотерной приро-

дой, т.е. образец содержит и кислотные, и основные слабодиссоциирующие группы, таким образом, ТРГ имеет анионообменную ёмкость до 25 и катионообменную – до 104 мк-экв/г.

По сумме ёмкостей обмена в кислой области до $\text{pH}_{\text{изт}} 5,3$ и в щелочной области была оценена максимальная ёмкость обмена сорбента: $E = 130$ мк-экв/г. По данным кондуктометрического титрования установлено, что концентрация кислых центров на поверхности ТРГ составляет $C_{\text{H}^+} = 160$ мк-экв/г.

Можно сделать вывод, что исследуемый углеродный материал ТРГ является слабокислотным полифункциональным ионообменником, который устойчив в широкой области рН. Показано, что активные центры на его поверхности состоят в основном из карбоксильных групп и групп фенольного типа.

В работе были получены изотермы адсорбции анионного ПАВ – сульфонола (рис. 4, а) и неионогенного ПАВ – ОП-10 на ТРГ (рис. 4, б). Изотерма адсорбции сульфонола имеет четко выраженную выпуклость в области низких заполнений. Адсорбция в данном случае обусловлена в основном дисперсионным взаимодействием алкильной цепи сульфонола с углеродной поверхностью сорбента.

Величина адсорбции ОП-10 на ТРГ в области равновесных концентраций $C_p < 20$ мг/дм³ (рис. 4, б), т.е. до момента начала ассоциации молекул неионогенного ПАВ на поверхности материала, в 1,5 раза превышает адсорбцию сульфонола (рис. 4, а). Это вполне объяснимо, потому что в молекуле сульфонола имеется только одна полярная группа ($-\text{SO}_3$), в то время как в молекуле ОП-10 – десять полярных оксиэтильных групп, которые эффективно взаимодействуют с активными гидрофильными центрами на поверхности ТРГ.

Изотерма адсорбции ОП-10 на ТРГ (рис. 4, б) в области равновесных концентраций $C_p \sim 18$ мг/дм³ ($C_0 \sim 120 - 150$ мг/дм³) имеет перегиб, связанный с ассоциацией неионогенного ПАВ, в то же время на изотерме адсорбции сульфонола характерный для ассоциации ПАВ перегиб отсутствует (рис. 4, а). Это объясняется различающимися величинами ККМ для двух указанных ПАВ: ККМ ОП-10 составляет $\sim 0,15$, в то время как сульфонола – $1,88$ г/дм³.

Следует отметить, что концентрация ПАВ в поверхностном слое превышает соответствующую ей равновесную концентрацию ПАВ в растворе. Таким образом, возможно образование микромицелл ПАВ на твёрдой поверхности уже при небольших равновесных концентрациях ПАВ в растворе. По табличным данным, представленным в работе [13], образование микромицелл ПАВ на твёрдой поверхности наблюдается при равновесных концентрациях в растворе, на два порядка меньших ККМ.

Следует отметить, что ТРГ практически полностью извлекает

сульфонол при содержании его в воде до 20 мг/дм³, и на 84% – при $C_0 = 70$ мг/дм³. ПДК сульфонола на его сброс в открытый водоём составляет 0,5 мг/дм³.

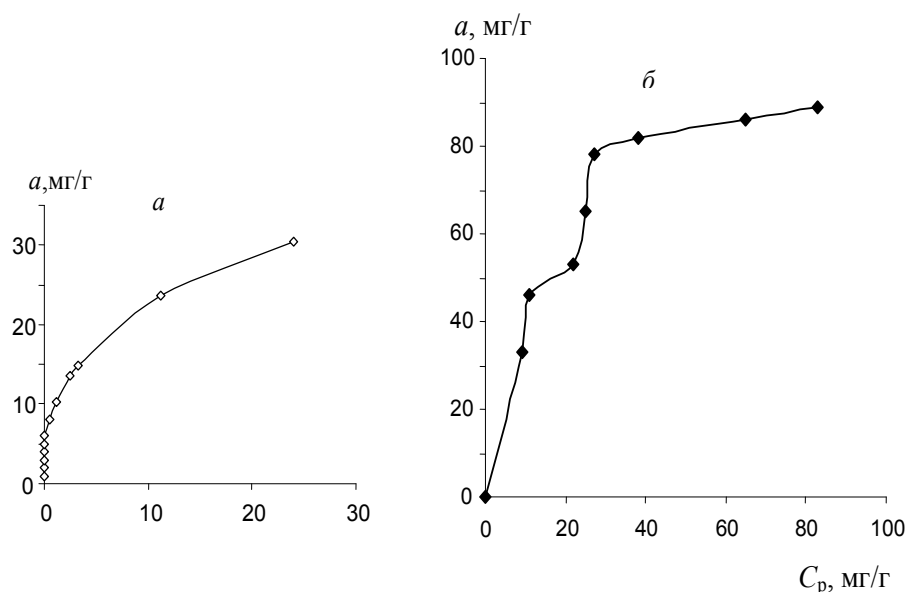


Рис. 4. Изотермы адсорбции сульфонола (а) и ОП-10 (б) на терморасширенном графите

Известно [14], что большинство синтетических водорастворимых красителей, содержащихся в сточных водах, не подвергаются биохимическому окислению и для их обезвреживания необходимо применять физико-химические и химические методы очистки. В связи с этим целесообразно исследовать возможности адсорбционного метода очистки водных растворов от анионных и катионных органических красителей, используя в качестве сорбента ТРГ.

Как видно из рис. 5, ТРГ обладает высокой сорбционной ёмкостью относительно катионных и анионных красителей. Это связано с достаточно большой удельной поверхностью этого образца (см. таблицу) и наличием в его субмикроскопической структуре крупных вторичных мезопор, что и обуславливает повышенную сорбционную ёмкость ТРГ по отношению к красителям.

Сопоставление изотерм адсорбции КФ и ПА позволяет отметить для второго красителя перегиб в области $C_p \approx 30$ мг/дм³, который, скорее всего, связан с ассоциацией молекул ПА, характеризующегося вдвое большей молекулярной массой в сравнении с КФ.

Основным механизмом адсорбции анионного красителя ПА на поверхности исследуемого сорбента можно считать дисперсионное взаимодей-

ствии. В то же время КФ сорбируется на поверхности ТРГ не только за счёт дисперсионных сил, но и за счёт электростатического взаимодействия, возникающего между отрицательно заряженными кислотными группами углеродного материала в водной среде с катионами красителя.

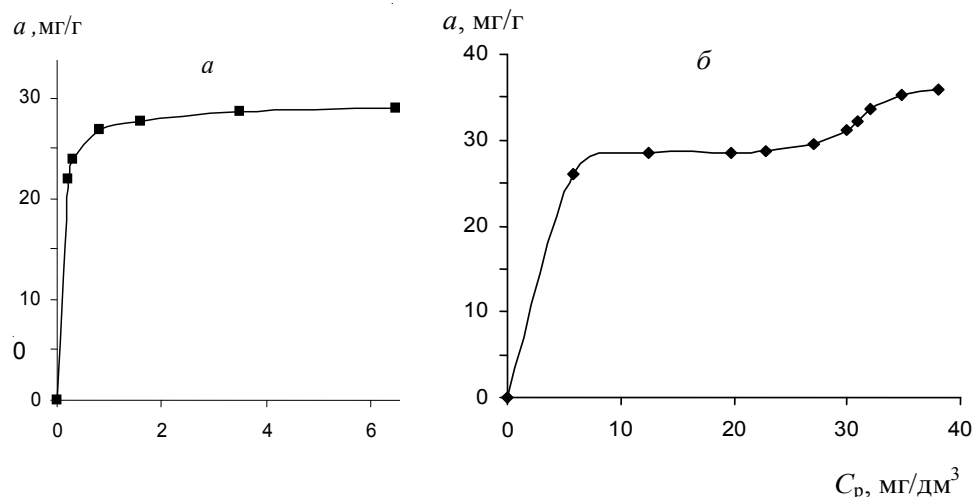


Рис. 5. Изотермы адсорбции кристаллического фиолетового (а) и прямого алого (б) на терморасширенном графите

Содержание растворённых органических веществ в природной воде является одним из важнейших показателей её качества. Известно, что основную часть растворённых органических веществ, обуславливающих цветность воды, составляют гумусовые вещества и, в том числе, ФК. Учитывая возможность сорбционного механизма обесцвечивания воды, нам представляется целесообразным исследовать взаимодействие ФК с ТРГ.

На рис. 6 представлены изотермы адсорбции ФК на ТРГ при различных рН. Как видно, величина адсорбции ФК на поверхности ТРГ при рН 2 значительно превышает таковую при рН 7. Это связано с тем, что в кислой области активные группы в молекуле ФК неионизированы, и в приповерхностном адсорбционном слое возможна наиболее плотная упаковка молекул ФК.

Перегибы на изотермах адсорбции ($C_p = 18 - 38$ мг/дм³), скорее всего, связаны с адсорбцией ассоциатов ФК на поверхности сорбента.

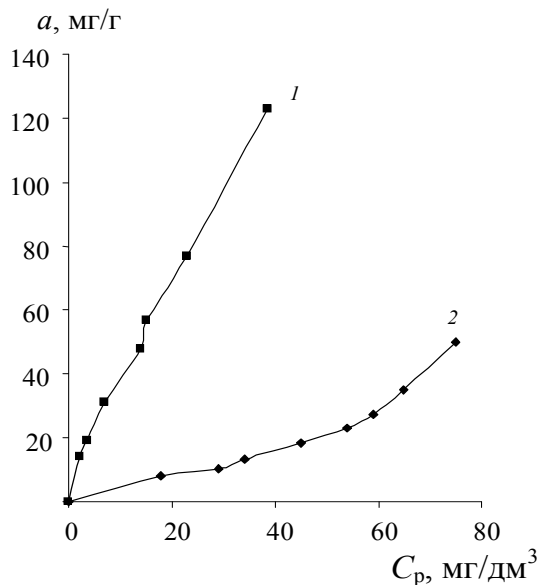


Рис. 6. Изотермы адсорбции фульвокислот на терморасширенном графите при pH 2 (1) и 7 (2)

Выводы. Таким образом, на основании проведенных исследований можно прийти к заключению, что ТРГ является неоднородно-пористым сорбентом с преобладанием мезопор и характеризуется ярко выраженной гидрофобностью. В то же время на его поверхности присутствует небольшое количество гидрофильных центров кислого и основного характера. По их соотношению можно сделать вывод, что исследуемый сорбент является слабокислотным полифункциональным ионообменником, устойчивым в широкой области pH. Активные центры на его поверхности состоят в основном из карбоксильных и фенольных групп. Результаты адсорбционных исследований показали перспективность использования ТРГ для извлечения водорастворимых органических соединений различной природы из воды. Действительно, по данным [15], ТРГ эффективен для поглощения из воды нефти и нефтепродуктов. Одним из наиболее важных показателей ТРГ является то, что он не тонет в воде. Это связано как с его гидрофобностью, так и с малой насыпной массой. Подобно гидрофобному перлиту, такое свойство ТРГ позволяет использовать его в качестве всплывающего флотореагента при флотационной очистке воды от органических загрязняющих веществ.

Резюме. На основі даних з адсорбції парів азоту, *n*-гексану, води та електрохімічних вимірів показано, що терморозщеплений графіт має неодноріднопористу структуру і чітко виражену гідрофобну поверхню, на 1 м² якої приходиться ~10¹⁸ активних гідрофільних центрів. Проведена їх ідентифікація. Вивчена адсорбція аніонних (сульфонол, барвник прямий червоний, фульвокислоти), катіонних (барвник кристалічний фіолетовий) і неіоногенних (*i*-ОсPh(OE)₁₀) органічних сполук на поверхні терморозщепленого графіту. Показана перспективність використання досліджуваного сорбенту в процесах очистки води від розчинених органічних сполук.

*V.V. Lukjanova, Yu.I. Tarasevich, S.V. Bondarenko, G.N. Malysh,
A.I. Zhukova, A. P. Kozhan*

**STRUCTURAL-SORPTION PROPERTIES OF THERMALLY
EXPANDED GRAPHITE AND OPTIONS FOR ITS APPLICATION
FOR THE REMOVAL OF ORGANIC SUBSTANCES FROM
AQUEOUS SOLUTIONS.**

Summary

From the data obtained using the adsorption of nitrogen, *n*-hexane and water vapours, and the electrochemical measurements it is shown that the thermally expanded graphite possesses inhomogeneously- porous structure and expressly hydrophobic surface with ~10¹⁸ active centres per one square meter. The centres are identified. The adsorption of anionic (sulphonol, direct scarlet dye, fulvic acids) and non-ionic (*i*-ОсPh(OE)₁₀) organic substances at the surface of thermally expanded graphite is studied. It is shown that the studied sorbent is promising with regard to its application in the processes of removal of dissolved organic substances, the main pollutants of natural and disposable waters.

1. *Кинле Х., Бадер Э.* Активные угли и их промышленное применение. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.
2. *Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г.* Адсорбция органических веществ из воды. – Л.: Химия, 1990. – 256 с.
3. *Пат. 38655 Україна, МКІ СО1В31/04* // Б.І. Бондаренко, О.П. Кожан, М.П. Тютюнник. – Опубл. 15.05.2001, Бюл. Пром. власність №9.
4. *Заяц М.М.* // Хім. пром-сть України. – 1994. – № 4. – С.9 – 17.
5. *Орлов Д.С.* Химия почв: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.
6. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его

трансформации. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.

7. *Васильев Н.Г., Головки Л.В., Овчаренко Ф.Д.* // Коллоид. журн.–1976. – **38**, № 5. – С.842 – 846.
8. *Тарасевич Ю.И., Бондаренко С.В., Брутко В.В., Жукова А.И., Малыш Г.Н., Полякова И.Г.* // Журн. прикл. химии. – 2003. – **76**, №10.– С.1619 – 1624.
9. *Белл Р.* Протон в химии. – М.: Мир, 1977. – 382 с.
10. *Вартапетян Р.Ш., Волощук А.М., Дубинин М.М., Московская Т.А.* // Изв. АН СССР, Сер.хим. – 1988.– № 9.– С.1961 – 1966.
11. *Tarasevich Yu.I., Bondarenko S.V., Zhukova A.I.* // Adsorption.– 2005. – **11**, Spec.Issue.– P.385 – 391.
12. *Иониты в химической технологии* /Под ред. Б.П.Никольского, П.Г.Романкова. – Л.: Химия, 1982. – 416 с.
13. *Овчаренко Ф.Д., Дьяченко Н.С., Вдовенко Н.В., Тарасевич Ю.И., Шаркина Э.В.* // Укр.хим.журн. – 1967.– **33**, №10.– С.1023 – 1039.
14. *Тарасевич Ю.И.* Природные сорбенты в процессах очистки воды. – Киев: Наук. думка, 1981.– 208 с.
15. *Inagaki M., Nagata T., Suwa T. et al.* // Proc. 3rd Int. Conf. "Oil pollution: Prevention, Characterization, Clean Technology" (Gdansk, Poland, 8 – 11september, 2002). – Gdansk: Chem. Faculty Gdansk Univ. Technology, 2002. – **1**.– P.104 – 108.

Ин-т коллоид. химии и химии воды
им. А.В. Думанского НАН Украины,
г. Киев

Поступила 25.01.2007