

концентрации электролита приводит к снижению селективности мембран. Тем не менее выраженная тенденция к улучшению селективности по мере увеличения количества ионообменной составляющей в порах матрицы позволяет предположить возможность получения мембран, которые характеризовались бы значительной селективностью и в области высококонцентрированных растворов. Дальнейшее улучшение зарядовой селективности мембран возможно, очевидно, при совершенствовании методов их синтеза.

**РЕЗЮМЕ.** Синтезовано композиційні неорганічні мембрани на основі оксидної кераміки (інертна підложка) та гідратованого діоксиду цирконію (іонообмінна складова). На основі результатів вимірювання мембранного потенціалу показано, що отримані мембрани виявляють йонселективні властивості як у кислому, так і в лужному середовищі в інтервалі концентрацій 1-1 зарядного електроліту 0.01—0.1 М. Встановлено, що числа переносу протийонів збільшуються при підвищенні вмісту іонообмінної складової та досягають 0.92.

**SUMMARY.** The composite inorganic membranes based on oxide ceramics (inert substrate) and hydrated zirconium dioxide (ion-exchange component) were synthesized.

The membrane potential measurements showed, that the obtained membranes demonstrate ion-selective properties both in acidic (towards anions) and alkaline (towards cations) media within the concentration interval of 0.01—0.1 M for 1:1 electrolyte. It was found, that transport numbers of counter ions increase with an increase in amount of ion-exchange component and reach 0.92.

1. *Katz P.* Ultrapure Water. -1999. -**16**, № 4. -P. 52—57.
2. *Гребенюк В.* Электродиализ. -Киев: Техника, 1976.
3. *Walsh F.* A First Course in Electrochemical Engineering. -London: Alresford Press, 1993.
4. *Koruta J.* Ions, Electrodes and membranes. -Chichester, UK.: Wiley, 1991.
5. *Linkov V.N., Belyakov V.N.* // Sep. and Pur. Techn. -2001. -**25**, № 1-3. -P. 57—63.
6. *Амфлетт Ч.* Неорганические иониты. -М.: Мир, 1966.
7. *Сухарев Ю.И.* Синтез и применение специфических оксигидратных сорбентов. -М.: Энергоатомиздат. 1987.
8. *Helferich F.* Ion Exchange. -New York: Dover, 1995.
9. *Шарло Г.* Методы аналитической химии. -М.: Химия, 1966.
10. *Мархол М.* Ионообменники в аналитической химии. -М.: Мир, 1985. -Т. 1.
11. *Hale D.K., McCauley D.J.* // Trans. Faraday Soc. -1961. -**57**, № 1. -P. 135—149.

Институт общей и неорганической химии  
им. В.И. Вернадского НАН Украины, Киев

Поступила 17.12.2004

УДК 661.183.1

**С.С. Ставицкая, В.Е. Гоба, А.Н. Томашевская, Н.Т. Картель**

## **УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ АЭРОГЕЛЬНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ САЖ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Установлено влияние строения и происхождения образцов технического углерода, а также условий их термообработки (температуры, природы газовой среды), предварительной пропитки активизирующими добавками и других факторов на конечные характеристики углеродных аэрогелей — плотность, удельную поверхность, сорбционную способность.

Среди новых углеродных материалов (УМ), которые в зависимости от исходного материала и способов обработки могут обладать разнообразными формами, физико-механическими и химическими свойствами, существенный интерес представляют УМ аэрогельного типа с низкой плотностью.

Углеродные материалы с низкой плотностью — углеродные аэрогели (УА) как новый тип аэ-

рогелей впервые были получены в конце 80-х годов XX столетия [1, 2] пиролизом органических аэрогелей — резорцинол-формальдегидной смолы при температурах от 250 до 600 °С в токе азота с последующей высокотемпературной активацией углекислым газом при 900—1000 °С. Все последующие исследования посвящены синтезу и изучению структурных характеристик, адсорбционных и электрофизических свойств углерод-

© С.С. Ставицкая, В.Е. Гоба, А.Н. Томашевская, Н.Т. Картель, 2006

ных аэрогелей [4—8]. Подробно изучалось влияние соотношения исходных компонентов [4], термостабильности выбранных смол [5], растворителей (в основном спиртов) [6], наличия катализаторов в процессе полимеризации ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  [7]), сшивающих агентов, например меламина [8], на конечные свойства получаемых УА. Обычно для синтеза в качестве исходных использовали резорцинол-формальдегидную, фенол-фурфуроловую, меламин-формальдегидную, полиуретановую, фенол-формальдегидную, реже — поливинилхлоридную системы [9]. Известны случаи получения металл (медь)-содержащих УА [10] для улучшения электропроводящих и других свойств последних. В [11, 12], например, синтезированы углеродные материалы с низкой плотностью путем карбонизации полимерных соединений, в том числе и вспученных, с использованием разных обработок и неорганических добавок. Преимуществом такого типа УА перед другими является возможность получения формированных изделий уже на стадии синтеза, с заданной структурой. В качестве наполнителя был использован тонко диспергированный  $\text{NaCl}$ . Возможность синтеза углеродсодержащих композитов с низкой плотностью — поликарбидов кремния, титана, бора, урана и алюминия была показана в [13].

Интерес к материалам аэрогельного типа обусловлен разнообразными возможностями их использования в химической технологии и электротехнике благодаря их высокой, уникальной пористости, электропроводности, коррозионной и кислотной устойчивости, биостабильности. Их применяют в качестве перспективных электродов в высокочастотных источниках тока, в топливных элементах, при разделении и выделении ионов тяжелых металлов и других ионов, адсорбции газов (в частности, в качестве "контейнеров" для хранения водорода и метана [7]), наполнителей хроматографических колонок, в качестве носителей катализаторов и самих катализаторов, теплоизоляторов и различных фильтров [3, 4, 7, 8, 10—14]. Можно также ожидать, что эти низкоплотные углеродные материалы, как правило, с однороднопористой структурой найдут свое применение также в биохимии и в медицине как поглотители токсичных и носители лечебных веществ и т.п.

Между тем, в литературе главное внимание уделялось способам получения УА, их свойствам и мало исследовались возможности направленного изменения пористой структуры, химической природы поверхности приготовленных УА, например, с помощью специальных обработок и на-

правленного модифицирования. Поэтому поиск новых путей синтеза и новых форм УА является весьма актуальным.

В настоящей работе в качестве исходного вещества для получения УА были использованы образцы тонкодисперсных саж (технического углерода) — П-701, которые готовят термическим разложением природного газа, и П-803, полученные термоокислительным разложением жидких углеводородов. Эти образцы различались исходной кажущейся плотностью ( $d$ ) — 470 и 240  $\text{мг}/\text{см}^3$  соответственно, и степенью графитизации, которая для П-803 была значительно более высокой, чем для П-701. Предполагалось, что изменение (уменьшение) плотности этих веществ может быть достигнуто за счет образования пустот при выгорании внутренней области частиц сажи, представленных обычно так называемым "неорганизованным" углеродом, тогда как внешнюю обкладку, как правило, составляют более упорядоченные кристаллиты углерода [15]. На такой процесс, происходящий в окислительной атмосфере при действии высокой температуры, могут влиять температурный режим, длительность обработки, природа газовой атмосферы и др.

Особенности строения элементарной структуры технического углерода как наиболее тонкодисперсного материала дают основание считать, что при термической окислительно-деструктивной обработке его (как исходного вещества) можно получать углеродные аэрогели. Действительно, сажи характеризуются сильно развитой цепочной структурой; частицы сажи, как известно [15], состоят из большого числа псевдографитных кристаллитов углерода и аморфного ("неорганизованного") углерода. Отдельные элементарные частицы имеют приближенно сферическую форму. Жесткие цепочки частиц, определяющие структурность сажи, состоят из частиц почти одинакового диаметра — от 100 до 2500  $\text{Å}$ .

В окислительной атмосфере под действием высокой температуры внутренняя часть частиц должна выгорать значительно быстрее с образованием пустот. Реакционная способность и свойства технических саж в значительной мере определяются размерами первичных сажевых агрегатов, состоящих из элементарных частиц в виде жестких цепочек.

В настоящей работе были изучены условия получения углеродных материалов аэрогельного типа на основе технического углерода и установлено влияние природы исходного УМ, газовой атмосферы, температурного режима, длительно-

Т а б л и ц а 1

Воздействие  $\gamma$ -облучения и ультразвука на образцы технического углерода различной природы

Условия обработки	Сажа П-701		Сажа П-803	
	$d$ , мг/см <sup>3</sup>	$W_s$ , см <sup>3</sup> /г	$d$ , мг/см <sup>3</sup>	$W_s$ , см <sup>3</sup> /г
Исходный образец	470	0.026	240	0.047
$\gamma$ -Облучение* (Рад)	различными дозами:			
50	750	0.015	220	0.050
300	510	0.018	240	0.032
500	750	0.017	230	0.044
Ультразвук:				
$\tau=30$ мин	750	0.013	240	0.045
$\tau=60$ мин	440	0.020	230	0.050

\* Облучение осуществляли в вакуумированных ампулах (обычно по 0.5 г сорбента);  $\tau$  — время обработки.

сти обработки и других факторов на конечные свойства синтезированных УА — кажущуюся плотность, степень обгара, сорбционную способность по парам бензола, которые определяли стандартными методами [16]. Изучалась также устойчивость названных образцов технического углерода к воздействию ультразвука и  $\gamma$ -облучения, а также возможность "химической" активации сажевых частиц. В последнем случае образцы предварительно обрабатывали веществами, которые могли бы при последующей термической обработке разлагаться на газообразные продукты непосредственно внутри частиц сажи, что должно было способствовать их разрыхлению и снижению плотности. С этой целью использовали пропитку образцов технического углерода растворами ацетата или бикарбоната аммония, или двухстадийную пропитку серной кислотой и бикарбонатом аммония. Термообработку проводили в атмосфере воздуха, углекислоты, паров воды, водорода или аргона.

С целью увеличения степени дисперсности углеродные сажи разной природы подвергали действию ультразвука и  $\gamma$ -облучению. При этом было изучено влияние времени обработки, дозы облучения на изменение дисперсности сажи и их свойства (табл. 1).

Как оказалось, действие ультразвука (30 мин) на сажу П-701 похоже на воздействие вибрационного помола, при котором происходит распад цепочной структуры на отдельные фрагменты,

уменьшается пористость [15]. О повышении дисперсности системы свидетельствует и увеличение кажущейся плотности ( $d$ ), то есть плотности упаковки (табл. 1), уменьшение пористости (сорбционной способности) по бензолу ( $W_s$ ) [16].

Обработка жестким  $\gamma$ -облучением (50—500 Рад) также способствует повышению степени дисперсности. Изменение структурности обработанных образцов сажи П-701 было подтверждено и данными рентгеноструктурного анализа. Для сажи марки П-803 в аналогичных условиях названные характеристики не изменяются (табл. 1).

Существенная разница конечных характеристик получаемых материалов наблюдалась и при термообработке образцов П-701 и П-803 при температурах 600—900 °С в присутствии паров воды, углекислоты, воздуха. Таковую окислительно-деструктивную обработку — высокотемпературную активацию использовали для снижения плотности тонкодисперсных сажи с целью получения на их основе аэрогелей. При этом были изучены оптимальные условия получения УА, определены основные параметры активации, влияние различных факторов на конечные свойства углерода: температурный режим, время контакта образца с активирующим агентом, природа исходного материала и используемого окислителя. Контроль качества полученных образцов осуществляли по величинам их плотности  $d$ , степени обгара ( $m$ ), сорбционной емкости по  $C_6H_6$  ( $W_s$ ). Полученные данные приведены в табл. 2 и рис. 1, 2.

Поскольку пористая структура (не путать со структурностью — степенью соединения сажевых частиц), под которой понимают внутреннее стро-

Т а б л и ц а 2

Характеристики образцов после термообработки сажи П-701 (исходная плотность  $d=470$  мг/см<sup>3</sup>; сорбция бензола  $W_s=0.026$  см<sup>3</sup>/г)

Газовая среда	$T$ , °С	$\tau$ , ч	$m$ , %	$d$ , мг/см <sup>3</sup>	$W_s$ , см <sup>3</sup> /г
H <sub>2</sub> O	600	30	45	460	0.126
H <sub>2</sub> O	700	20	69	320	0.170
H <sub>2</sub> O	900	3	90	160	1.100
CO <sub>2</sub>	800	50	30	270	0.440
CO <sub>2</sub>	900	40	54	80	0.730
Воздух+CO <sub>2</sub>	900	20	50	90	0.700

Примечание.  $T$  — температура обработки образцов;  $\tau$  — время обработки;  $m$  — обгар сажи.

ение частиц, проявляется в сажах только после их длительного, глубокого окисления атмосферным кислородом при 450 °С в течение 50 ч [15], в данной работе, где были использованы подобные условия только в исключительных случаях (табл. 2), не приводятся характеристики пористой структуры (объем пор определенного размера, распределение пор по радиусам, геометрическая поверхность пор и т.п.). Были получены величины удельной поверхности исходных образцов и наиболее перспективных материалов аэрогелевого типа [16]. Эти величины составляли для П-701 и П-803 25 и 21 м<sup>2</sup>/г соответственно, а для низкоплотных образцов с  $d = 80\text{--}90$  мг/см<sup>3</sup> — 86 и 91 м<sup>2</sup>/г.

Из данных табл. 2 и рис. 1, 2, на которых приведены типичные кривые изменения обгара и кажущейся плотности образцов, происходящие при их термообработке, видно, что для менее графитизированных образцов П-701 наряду с обгаром, вызванным образованием фазовых оксидов углерода, наблюдалось значительное увеличение сорбционной способности по бензолу и уменьшение кажущейся плотности. На процессы заметно влияет температура обработки (табл. 2, рис. 2). В определенных условиях (900 °С, обработка водяным паром или СО<sub>2</sub>) могут быть получены образцы с кажущейся плотностью 160–90 мг/см<sup>3</sup> — углеродные аэрогели. Была найдена существенная

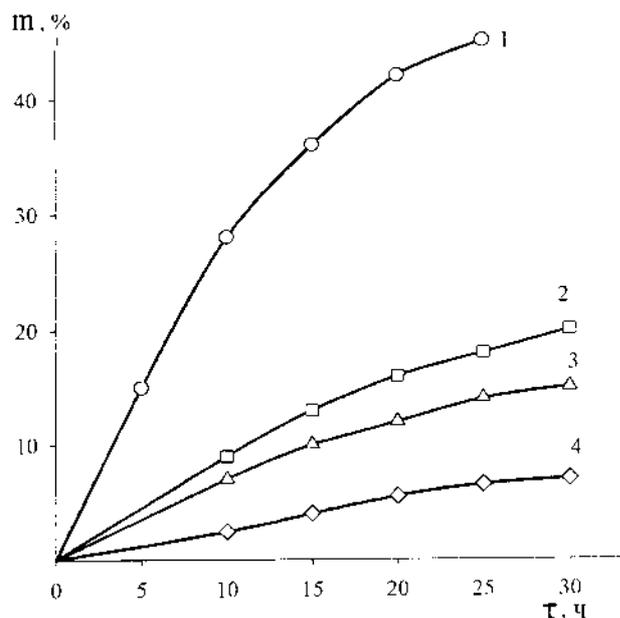


Рис. 1. Изменение обгара ( $m, \%$ ) саж П-701 (1, 3) и П-803 (2, 4) в атмосфере СО<sub>2</sub> от времени в результате термообработки при 600 (3, 4) и 800 °С (1, 2).

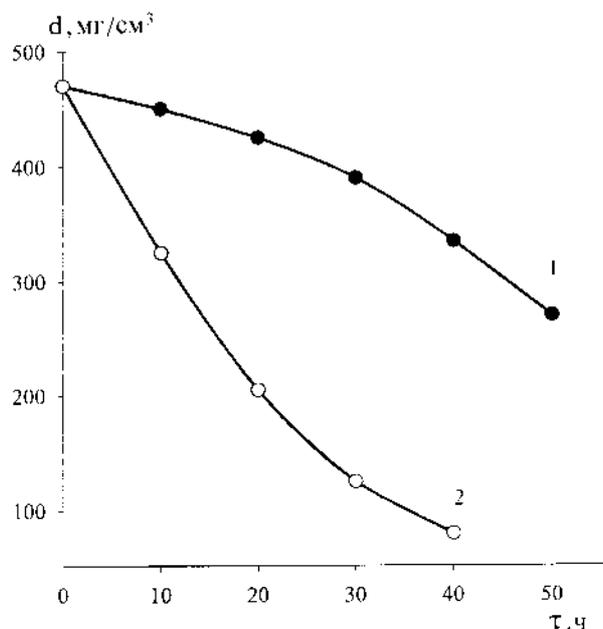


Рис. 2. Изменение кажущейся плотности при термической активации сажи П-701 в токе СО<sub>2</sub> при температуре 800 (1) и 900 °С (2) во времени.

разница в конечных характеристиках образцов, термообработанных в присутствии паров воды и углекислоты (табл. 2): характерная для аэрогелей низкая плотность в присутствии паров воды достигалась быстро, но при весьма высоких величинах обгара (до 90 %). Таким образом, использование паров воды для активации технического углерода с целью получения из него аэрогелей оказалось нецелесообразным, поскольку приводило к низкому выходу продукта. Значительно меньший обгар и более низкая плотность конечных образцов наблюдались при термообработке в атмосфере СО<sub>2</sub>. Термообработка образцов П-803 не дала подобных результатов. Из данных рис. 1 видно, что в одинаковых условиях наблюдался существенно меньший обгар сажи П-803 по сравнению с П-701, при этом и кажущаяся плотность изменялась незначительно, например, при 50 %-м обгаре — с 240 до 225 мг/см<sup>3</sup>; в исследованных условиях образования аэрогелей не наблюдалось.

Более предпочтительным оказалось получение УА из сажи П-701 комбинированной обработкой — кислородом воздуха при 450 °С для разрушения упорядоченной внешней оболочки сажевых частиц с последующей обработкой в атмосфере СО<sub>2</sub> при 900 °С для удаления неорганизованного углерода внутренней структуры. При этом образцы с плотностью, соответствующей по-

нению "аэрогель" (80—90 мг/см<sup>3</sup>), были получены в значительно более короткое время (табл. 2). Следует отметить также, что полученные УА проявили намного большую, чем исходные, сорбционную способность по парам бензола (табл. 2).

Кроме того, было установлено, что дополнительная высокотемпературная (~1000 °С) обработка водородом газовой сажи, предварительно подвергнутой окислительной активации, приводит к получению сорбентов с очень высокой сорбционной емкостью ( $W_s$ ) по бензолу — от 0.8 до 1.1 см<sup>3</sup>/г, что значительно превышает такой показатель для обычного активированного угля [16]. Однако при этом происходит значительное уменьшение степени дисперсности полученных образцов, по-видимому, за счет агрегирования их частиц из-за образования в таких условиях достаточно активных поверхностных радикалов [17].

Для синтеза веществ аэрогелевого типа из технического углерода был использован и метод химической активации. Насыщенные растворами ацетата или бикарбоната аммония либо после двухстадийной пропитки серной кислотой и бикарбонатом аммония образцы подвергали вначале термообработке в инертной атмосфере (Ar, H<sub>2</sub>), а затем — действию окислителя.

Исследования показали (табл. 3), что при термообработке предварительно пропитанных различными веществами саж ("химической активации") сорбционная способность получаемых образцов увеличивалась, однако снижение кажущейся плотности для более реакционноспособной П-701 оказалось сравнительно небольшим, а для П-803 эта величина в ряде случаев даже увели-

чивалась. Данные по химической активации показали, что наиболее эффективным оказался способ двухстадийного насыщения в сочетании с термообработкой.

Таким образом, показана возможность получения углеродных материалов аэрогелевого типа из отдельных образцов тонкодисперсных саж с меньшей степенью графитизации при их термоокислительной обработке. Установлено влияние происхождения, реакционной способности, исходного углеродного продукта, газовой среды, температурного режима и других факторов на конечные свойства синтезированного продукта. Более предпочтительным оказалось получение УА (с плотностью 80—90 мг/см<sup>3</sup>) комбинированной обработкой кислородом воздуха при 450 °С с последующей обработкой в атмосфере СО<sub>2</sub> при 900 °С. Найдено, что более упорядоченные (графитизированные) образцы, устойчивые к физическим (ультразвуковое и радиационное облучение) и химическим воздействиям, не проявляют склонности и к изменению плотности полученного материала (образованию аэрогелей).

**РЕЗЮМЕ.** Встановлено вплив будови і походження зразків технічного вуглецю, а також умов їх термообробки (температура, природа газового середовища), попереднього насичування активними домішками та інших факторів на кінцеві характеристики вуглецевих аерогелів — щільність, питому поверхню, сорбційну здатність.

**SUMMARY.** Influence of structure and an origin of samples of technical carbon, as well as conditions of their heat treatment (temperatures, nature of the gas environment), preliminary impregnation of activating additives and other factors on final characteristics of carbon aerogels (density, specific surface, sorptive ability) is investigated.

Т а б л и ц а 3

**Характеристики образцов саж после предварительной пропитки и термообработки** (время термообработки — 1 ч, температура прокаливания 900—950 °С)

Образец	Пропитывающий агент	Газовая среда термообработки	$d$ , мг/см <sup>3</sup>	$W_s$ , см <sup>3</sup> /г
П-701				
1	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Воздух	360	0.04
2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	"	320	0.07
П-803				
1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	Аргон	180	0.02
2	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	"	240	0.04
3	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	"	350	0.07
4	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	Водород	310	0.05
5	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	"	340	0.07

1. Pekala R.W. // J. Mater. Sci. -1989. -24, № 9. -P. 3221—3231.
2. Пат.476778 США, МКИ С 01 В 3/02. Organic aerogels from the sol-gel polymerization of phenol-furfural mixtures.
3. Pekala R.W., Farmer J.C., Alvino C.T., Tran T.D. // J. Non-Cryst Solids. -1998. -225, № 1. -P. 74—80.
4. Petricevic M., Glora M., Fricke J. // Carbon. -2001. -39, № 6. -P. 857—867.
5. Yamashita J., Ojima T., Hatori H., Yamada Y. // Ibid. -2003. -41, № 2. -P. 285—295.
6. Guotong Qin, Shucui Guo // Ibid. -2001. -39, № 12. -P. 1935—1937.
7. Thery A., Clinard C., Beguin F. et al. // Proc. of Intern. Conf. on Carbon. 15—20 sept. 2002. -Beijing,

- China. CD-ROM SBN 7-900362-03-7/G03.
8. Rui Zang, Zhihong Li, Yiao Xu et al. // Ibid.
  9. Thorikawa T., Ogawa K., Mizuno K. et al. // Carbon. -2003. -41, № 3. -P. 465—472.
  10. Petricevic R., Reichenauer G., Fricke J. // J. Non-Cryst. -1998. -225, -№.1. -P. 41—51.
  11. Gilow K.M., Shapovalova L.N. // Polym. Degrad. and Stab. -1992. -38, № 1. -P. 27—34.
  12. Митрофанов В.Д., Манаков А.И., Швейкин Г.П. Карбиды и материалы на их основе. -Киев: АН УССР. Ин-т проблем материаловедения, 1991.
  13. Noriko Yoshizawa, Yasushi Soneda, Hiroaki Hatori, Yohko Hanzawa // Proc of Intern. Conf. on Carbon, 6–10 July, 2003. -Oviedo, Spain. CD-ROM JSBN 0-9674971-2-49674972.
  14. Li W.C., Lu A.H. Guo S.C. // Carbon. -2001. -39, № 12. -P. 1989—1994.
  15. Самойлов В.С., Сенин Н.Д., Смирнов В.Н. Производство и свойства углеродных саж. -Омск., 1980.
  16. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. -М.: Химия, 1984.
  17. Кураков Ю.И., Глухоманюк А.М., Ильенков В.К. Электрохимические и плазмохимические процессы в химической технологии. -Л., 1990.

Институт сорбции и проблем эндоэкологии  
НАН Украины, Киев

Поступила 18.01.2005

УДК 553.611.6:549.02:541:18:621.315.615

## И.И. Марцин, П.А. Косоруков, Л.Г. Надел, Е.А. Соловьева, В.А. Михайлик, М.А. Пластинина МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА БЕНТОНИТА ВАРВАРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Методами РФА, ДТА, ИК-спектроскопии исследован минеральный состав бентонитовой породы нового месторождения Украины — с. Варваровка, Хмельницкой обл. Установлено, что глинистый минерал представляет собой Al-Fe-монтмориллонит. Кислотная активация приводит к частичному разрушению структуры монтмориллонита с образованием аморфного кремнезема, выщелачиванию компонентов структуры. При обработке серной кислоты 10—20 %-м раствором степень разрушения глинистого минерала составляет 55 и 70 % соответственно, удельная поверхность увеличивается от 58 до 168 м<sup>2</sup>/г. Отсутствие токсичных элементов и концентрации элементов-примесей в глинистом минерале указывает на возможность использования варваровского монтмориллонита для получения сорбентов.

В Славутском районе (Хмельницкая обл.) в районе участка Варваровки для нужд сельского хозяйства добывался верхний слой, состоящий в основном из известняка. Очищенная от известняка толща состоит из минерала, который по предварительным данным может быть отнесен к бентонитовым глинам. Согласно литологическому разрезу, покрывающий слой Варваровского месторождения представлен известняками, известковистыми песчаниками — до 0.6 м, затем следует слой сероватой бентонитовой породы мощностью 4.5—6 м, слой кремнистых пород — до 1—1.5 м и сапонитовый слой — до 70—80 м. Добыча монтмориллонита может выполняться с поверхности, с зачисткой 0.2—0.6 м покрывающего слоя [1].

Цель настоящей работы — исследование минерального, химического и микроэлементного составов бентонитовой породы Варваровского месторождения, идентификация породобразующего глинистого минерала и изучение влияния кислотной активации на степень разрушения мине-

рала и изменение удельной поверхности при получении сорбентов для очистки масел на основе модифицированных дисперсных минералов.

Объекты исследования — пробы бентонитовой породы Варваровского месторождения, ориентированные препараты катионзамещенных форм глинистого минерала, а также образцы отмученного бентонита фракции <1 мкм и активированного H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10—20 %-й концентрации в течение 6 ч при 98 °С и соотношении твердая фаза : раствор кислоты = 1:4.

Рентгенофазовый анализ (РФА) бентонитовой породы, катионзамещенных форм глинистого минерала и кислотно-активированных образцов отмученного бентонита фракции <1 мкм осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-УМ1 с двумя щелями Соллера с фильтрованным CoK<sub>α</sub>-излучением при скорости съемки 1°/мин. Точность определения количественного состава фаз составляет ± 5 %. Минеральный состав идентифицировали в соответствии с карто-