

УДК 544.463:66.094.524.55 + 547.999.2

**С. Л. Хилько** (ИнФОУ им. Л.М. Литвиненко НАН Украины)

### МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ СУЛЬФИРОВАНИЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

*Изучена твердофазная реакция сульфирования гуминовых кислот в лабораторных вибрационных аппаратах 75Т-ДрМ и ВОТУМ (ВЛ-3) при варьировании интенсивности (виброускорение) и времени механообработки. Доказана возможность введения сульфогрупп в структуру макромолекул гуминовых кислот.*

*Ключевые слова: механохимические реакции, твердофазный синтез, сульфирование, гуминовые кислоты, поверхностно-активные вещества.*

Поверхностную активность природных (нативных) гуминовых соединений можно увеличить путем введения в состав макромолекулы дополнительных функциональных групп. Для получения эффективных поверхностно-активных веществ (ПАВ) на основе солей гуминовых кислот (ГК) наиболее перспективно введение в структуру макромолекулы ГК активных ионогенных групп. С помощью различных методов сульфирования можно ввести сульфогруппы. ( $-\text{SO}_3^-$ ), которые способны значительно усиливать поверхностно-активные свойства нативных гуминовых препаратов.

Целью работы было проведение реакции сульфирования гуминовых кислот при механохимической обработке пробы бурого угля в присутствии  $\text{NaOH}$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в вибрационных аппаратах и анализ продуктов реакции различными методами.

#### Экспериментальная часть

Твердофазную реакцию сульфирования проводили при механохимической обработке сухой реакционной смеси (бурый уголь +  $\text{NaOH}$  +  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) в лабораторных аппаратах 75Т-ДрМ и ВОТУМ (ВЛ-3). Параметры виброобработки в аппарате ВОТУМ (ВЛ-3): частота механических колебаний,  $\nu$ , от 17,3 до 49 Гц, амплитуда колебаний,  $A$ , от 3,25 до 4,25 мм, виброускорение,  $I$ , от 44,2 до 307  $\text{м/с}^2$ ; в аппарате 75Т-ДрМ: частота  $\nu = 50$  Гц, амплитуда  $A = 3-5,0$  мм, виброускорение  $I = 300-490$   $\text{м/с}^2$ .

Варьировали интенсивность механообработки (виброускорение), время и температуру экстракции сульфогуматов натрия из реакционной смеси. Для изучения влияния времени обработки на выход сульфированного продукта через заданные промежутки времени (время активации,  $\tau_{\text{ак}} = 3, 5, 10, 15, 20$  мин) отбирали пробы из реакционной смеси. Экстракцию сульфогуматов натрия проводили при двух температурах — 20 и 100°C.

Количество функциональных групп определяли методом потенциометрического титрования 1 % раствора гумата натрия 0,1 н. раствором  $\text{HCl}$  до  $\text{pH} = 2,0$ . После добавления каждой порции титранта систему перемешивали на магнитной мешалке в течение 30 мин. Значения  $\text{pH}$  растворов измеряли на прецизионном  $\text{pH}$ -метре ОР-205/1. Точки эквивалентности определяли дифференциальным методом.

ИК-спектры записывали на спектрометре Specord IR-75 в таблетках  $\text{KBr}$  (концентрация гуминовых веществ в таблетке составляла 0,5%).

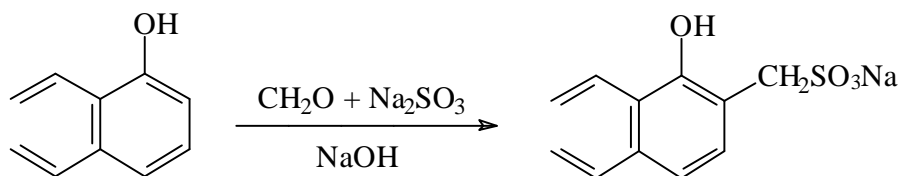
УФ-спектры растворов гуматов натрия записывали на спектрофотометре Specord UV VIS. Рассчитывали величину  $E_4/E_6$  как отношение оптических плотностей раствора при  $\lambda = 445$  и  $665$  нм.

### Обсуждение результатов

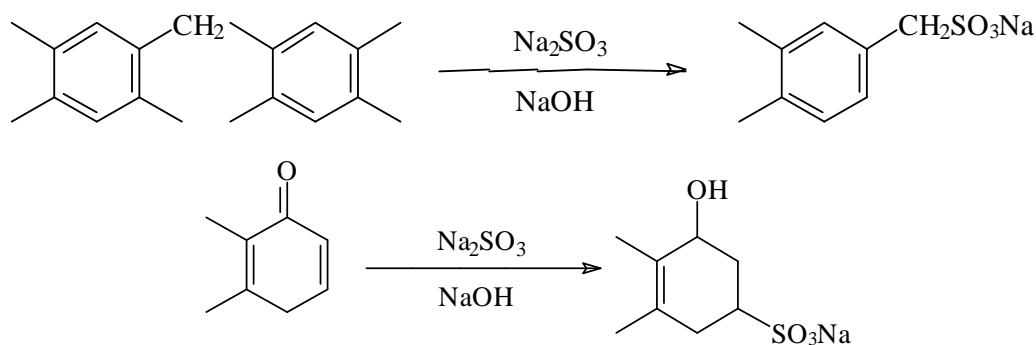
В литературе описаны различные способы химического модифицирования гуминовых кислот (ГК) из бурого угля и торфа. Наиболее известны из них — окисление [1], нитрование [2, 3], сульфирование [4, 5], сульфометилирование [5, 6] и др.

Известны способы введения сульфогрупп с помощью реакций сульфирования ГК концентрированной серной кислотой, олеумом или триоксидом серы [7, 8]. Однако такие методики требуют жестких условий проведения процессов (высокие температуры) и использование химически агрессивных реагентов.

*Moschopedis S.E.* впервые предложил проводить реакции сульфометилирования макромолекулы ГК действием сульфита или бисульфита натрия в щелочной среде [4, 5]:



В [4, 5] также была показана возможность сульфирования гуминовых кислот сульфитом или бисульфитом натрия в щелочной среде. Процесс сульфирования проводился в водной среде. Было показано, что продукты реакции отличны от нативных форм. В работах [4, 5] предположено, что сульфирование гуминовых кислот может протекать по различным структурным фрагментам макромолекулы ГК:



Согласно [6], реакции сульфирования и сульфометилирования гуминовых кислот могут протекать только после предварительного окисления последних (например, пероксидом натрия, бихроматом калия, перманганатом калия или кислородом воздуха) в присутствии щелочи.

Действие механической энергии на угольное вещество является одним из признанных методов увеличения его реакционной способности. При выделении гуматов особенно эффективно диспергирование бурого угля в щелочной среде. Использование механохимических процессов при получении сульфированных гуматов натрия позволяет исключить дорогостоящую стадию предварительного

химического окисления гуминовых кислот и совместить процессы окисления и сульфирования ГК.

*Алишанян В.Р.* и соавторы в работе [9] впервые осуществили реакцию сульфирования гуминовых кислот при механохимической активации сухой смеси бурого угля,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  и  $\text{NaOH}$  в аппарате УДА (универсальный дезинтегратор-активатор, конструкции СКТБ «Дезинтегратор», г. Таллин). Характер воздействия на материал в УДА — высокоскоростной свободный удар.

Позднее *Думбай И.Н., Гирина Л.В.* и сотрудники в работах [10, 11 и др.] показали, что выход гуминовых и сульфогуминовых кислот связан с характером процесса диспергирования, который зависит от конструкции диспергирующего аппарата. Механохимическую обработку реакционной смеси (бурый уголь +  $\text{NaOH}$  +  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) проводили аппаратах различных конструкций — струйная мельница, универсальный дезинтегратор активатор (УДА), центробежная и дифференциальная планетарные мельницы. Было показано, что наиболее эффективно повышает выход ГК сочетание ударного и истирающего режимов, которое осуществляется в центробежных планетарных мельницах. При этом авторам удалось увеличить выход ГК на 10–17%.

Проведение механической активации в мельницах различных конструкций является наиболее распространенной операцией в механохимии. Это связано с относительной простотой проведения эксперимента, распространенностью и доступностью этих аппаратов. Однако, согласно *Болдыреву* [12], мельницы обычных конструкций не предназначены для проведения механохимической активации и механохимических реакций. Основное назначение мельниц — это получение как можно большей поверхности при минимальных затратах энергии на проведение процесса измельчения.

Для проведения механохимических реакций необходимы аппараты-механореакторы, которые способны закачивать большое количество энергии в твердое тело в виде создания дефектов структуры. Для протекания твердофазных химических реакций наиболее благоприятные условия могут быть созданы в вибрационных механореакторах. При выборе вибрационных устройств для проведения химических реакций целесообразнее использование принципиально новых управляемых вибрационных машин, в которых реализуется возможность модуляции амплитуды и частоты механических колебаний. Это позволяет повысить энергонасыщенность протекающих процессов и КПД машины.

Конструкция большинства измельчающих аппаратов такова, что интенсивность обработки материала является неизменяемой величиной. Только в последние годы были разработаны различные активаторы и механореакторы с регулируемой интенсивностью обработки, которую принято выражать через ускорение частиц под действием различных сил (например, в единицах ускорения свободного падения  $[g] = \text{m/c}^2$ ) [13].

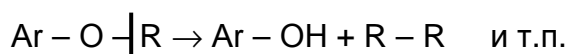
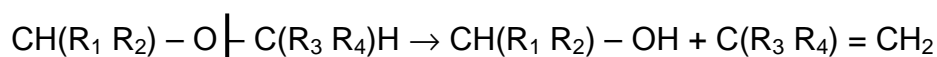
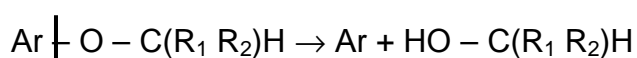
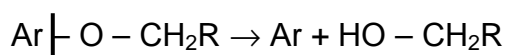
Вибрационные машины ВОТУМ (вибрационная обрабатывающая технологическая универсальная машина, НПО «ВОТУМ», г. Одесса) относятся к новому поколению виброаппаратов [14]. Основным отличием таких устройств является возможность непрерывного (без остановки машины) регулирования основных параметров вибрационного воздействия — амплитуды ( $A$ ) от 0 до 10 мм и частоты механических колебаний ( $\nu$ ) от 2 до 100 Гц.

Основными действующими факторами при обработке материала в вибромашине являются истирание (трение), удар, давление и сдвиг. Выбор величин амплитуды и частоты колебаний, а при необходимости и давления и температуры, позволяет сдвигать процессы в сторону какого-либо конкретного механохимического процесса.

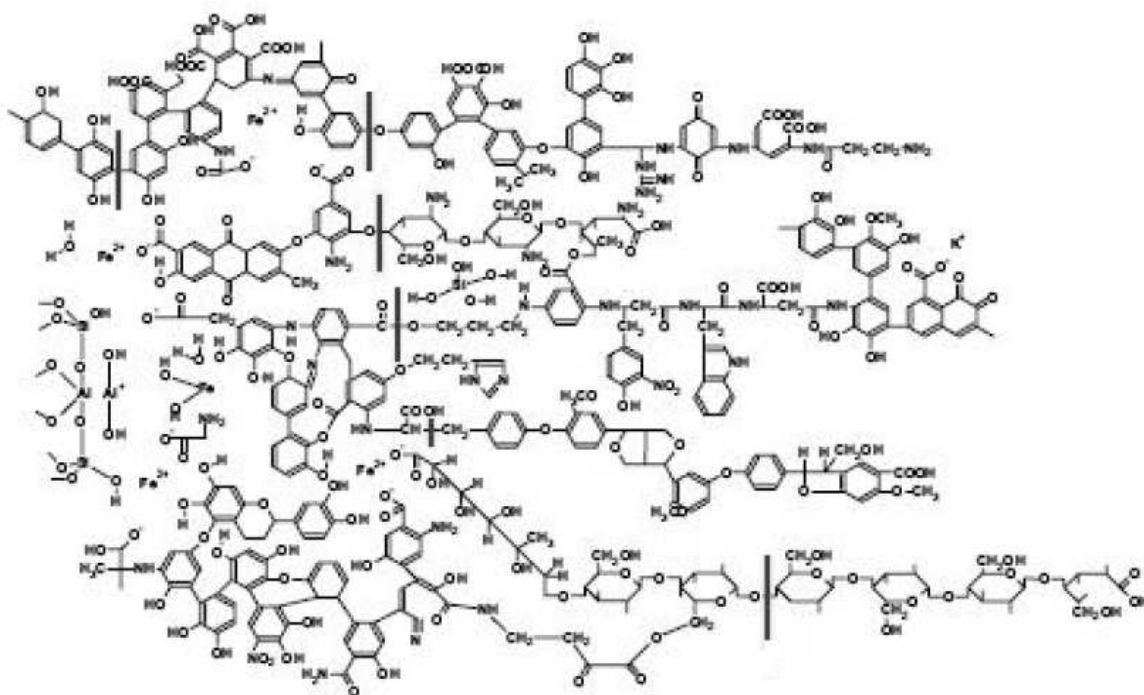
В качестве основного параметра интенсивности вибрационного воздействия используют величину виброускорения ( $I, g, \text{м/с}^2$ ), которую рассчитывают по формуле:  $I = A\omega^2, I = 4\pi^2Av^2$ , где  $A$  — амплитуда колебаний, мм;  $v$  — частота колебаний, Гц;  $\omega = 2\pi v$  — угловая частота механических колебаний.

*Бутягиным* [15] определены критические параметры возбуждения механохимических реакций: критическая энергия колебательного возбуждения деформированных связей, которая необходима для разрыва связи, значительно меньше энергии связи и составляет величину  $\approx 0,2 U_0$ , а величина минимальной энергии деформации, необходимой для инициирования химической реакции, составляет величину 10–100 ккал/моль. Место разрыва связей не всегда определяется расположением связи с минимальной прочностью. Высоко вероятны разрывы макромолекулярных цепей и по связям с относительно большой энергией.

Согласно *Хренковой* [16], для угольного вещества наиболее вероятны при механическом воздействии разрывы химических связей в местах стыка ответвлений боковых цепей с ароматическим ядром, поперечные связи в сетках, изломы макромолекулярной цепи в местах включения гетероатомов. Кроме разрывов валентных связей, высока вероятность механического воздействия и на невалентные связи в структуре угольного вещества. При механохимическом воздействии могут подвергаться деструкции наиболее слабые С-О связей в кислородных мостиках в макромолекулах гуминовых кислот:



Механохимические превращения гуминовых кислот сопровождаются структурной перестройкой их макромолекул, обусловленной разрывом химических связей и изменением количества функциональных групп. В работе [17] приведены возможные пути механохимических превращений макромолекул гуминовых кислот, связанные с разрывом химических связей. На рис. 1 обозначены наиболее вероятные места разрывов химических связей в структуре макромолекулы гуминовой кислоты в механохимических процессах. Наиболее «уязвимы» с механохимической точки зрения такие связи:  $\text{Ar} \text{---} \text{O} \text{---} \text{Ar}$ ,  $\text{Ar} \text{---} \text{Ar}$ ,  $\text{Ar} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}(\text{COOH}) \text{---} \text{Ar}$  и др.:



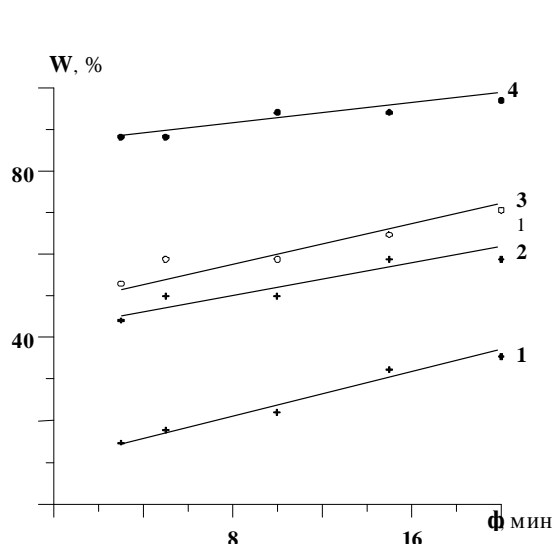
**Рис. 1.** Гипотетический структурный фрагмент гуминовых кислот по *Kleinhempel* [18] и возможные пути механохимических превращений, связанные с разрывом химических связей, согласно *Ломовскому* и сотр.[17]

Количество введенных сульфогрупп в структуру гуминовой кислоты является важным, поскольку должно определять свойства поверхностно-активного вещества. Продукты механохимической реакции сульфирования гуминовых кислот были проанализированы методами ИК- и УФ-спектроскопии, потенциометрического титрования, проведен элементный анализ продуктов и оценен выход сульфопроизводных гуминовых кислот.

### Выход продукта (*W*, %)

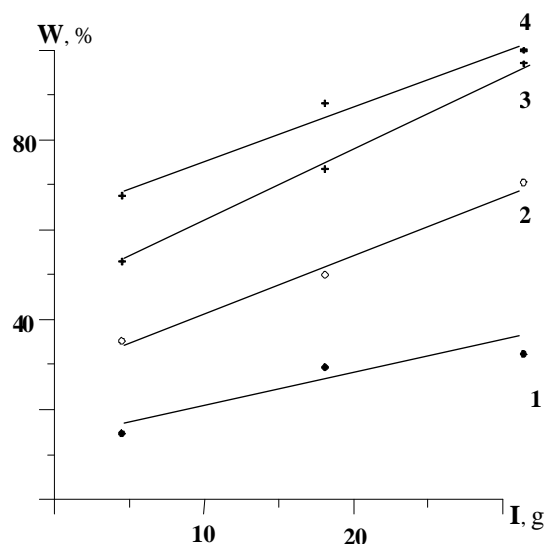
Выход сульфогуматов натрия рассчитывали на сухую и беззольную массу органического вещества бурого угля. Согласно данным рис. 2 и 3, выход сульфогуматов натрия растет с увеличением времени механообработки и величины виброускорения. Кроме того, выход продукта заметно выше при высокотемпературной экстракции продукта (100°C), чем при  $t_{эк} = 20^\circ\text{C}$ . Выход сульфогумата натрия после виброобработки возрастает примерно в 2–3 раза (от 15 до 45% и от 40 до 85% при минимальных нагрузках и до 95–98% при максимальных нагрузках). Это значительно больше, чем при механообработке в аппаратах обычных конструкций, не предназначенных для проведения механохимических реакций (увеличение выхода продукта на 10–17%, согласно [10, 11]).

**Элементный анализ** образцов нативных и сульфированных методом твердофазного синтеза гуминовых кислот приведен в табл. 1. Анализируемые гуминовые кислоты были очищены методом осаждения 5% раствором HCl и последующим многократным отмыванием дистиллированной водой. Содержание органической серы в нативных и сульфированных гуминовых кислотах определяли согласно [19].



**Рис. 2.** Изменение выхода сульфогуматов натрия от времени активирования реакционной смеси в вибромашине при различных виброускорениях ( $l$ , g) и температуре экстракции образцов ( $t_{\text{эк}}$ , °C):

$l = 4,5$  g, 1 –  $t_{\text{эк}} = 20^\circ\text{C}$ , 2 –  $t_{\text{эк}} = 100^\circ\text{C}$ ;  
 $l = 31,4$  g, 3 –  $t_{\text{эк}} = 20^\circ\text{C}$ ; 4 –  $t_{\text{эк}} = 100^\circ\text{C}$



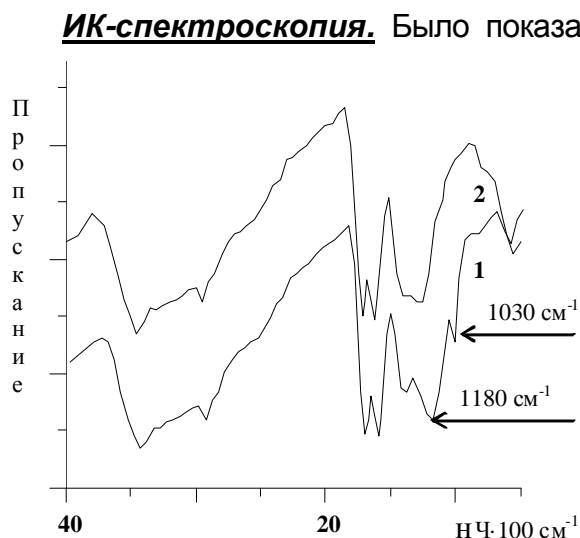
**Рис. 3.** Изменение выхода сульфогуматов натрия от величины виброускорения при различных времени обработки в вибромашине ( $\tau$ , мин) и температуре экстракции образцов ( $t_{\text{эк}}$ , °C):

1 –  $\tau_{\text{ак}} = 3$  мин;  $t_{\text{эк}} = 20^\circ\text{C}$ ; 2 –  $\tau_{\text{ак}} = 20$  мин;  $t_{\text{эк}} = 20^\circ\text{C}$ ; 3 –  $\tau_{\text{ак}} = 3$  мин;  $t_{\text{эк}} = 100^\circ\text{C}$ ; 4 –  $\tau_{\text{ак}} = 20$  мин;  $t_{\text{эк}} = 100^\circ\text{C}$

Количество органической серы в сульфогуминовых кислотах больше, чем в нативных формах, что подтверждает прохождение реакции механохимического сульфирования.

**Таблица 1.** Элементный анализ образцов гуминовых кислот (%)

Образец	C	H	S	N
Нативная гуминовая кислота, $t_{\text{эк}} = 20^\circ\text{C}$	54,68	4,80	3,52	1,87
Сульфогуминовая кислота, $t_{\text{эк}} = 20^\circ\text{C}$	56,21	5,10	4,25	1,74
Нативная гуминовая кислота, $t_{\text{эк}} = 100^\circ\text{C}$	54,78	4,80	3,62	2,05
Сульфогуминовая кислота, $t_{\text{эк}} = 100^\circ\text{C}$	58,30	5,37	5,22	2,15



**Рис. 4.** ИК-спектры (в таблетках KBr) сульфированных (1) и нативных (2) гуминовых кислот

Количественный анализ ИК-спектров гуминовых кислот осложнен тем, что большинство полос представляет собой результат суммарного поглощения несколькими функциональными группами, поэтому вычисление

интенсивностей полос поглощения, а также расчет по ним концентрации определенных групп, затруднителен. Данные ИК-спектроскопического анализа позволяют получать информацию о том, прошло ли механохимическое сульфирование, но не позволяют судить о количестве введенных сульфогрупп в структуру макромолекулы гуминовой кислоты.

**УФ-спектроскопия.** Важной характеристикой, извлекаемой из УФ-спектров растворов солей гуминовых кислот и широко используемой для оценки их свойств, является показатель  $E_4/E_6$ , который представляет собой отношение оптических плотностей при  $\lambda = 465$  и  $\lambda = 665$  нм. Это соотношение характеризует степень ароматичности, содержание углерода и молекулярный вес гуминовых веществ [20]. Как видно из таблицы 2, отношения  $E_4/E_6$  различаются для нативных гуматов и гуматов, экстрагированных из угля подвергнутого механической обработке. Однако, отношения  $E_4/E_6$  практически не различаются для сульфированных гуматов и гуматов, подвергнутых механообработке без щелочи и сульфита натрия. То есть, изменение отношения  $E_4/E_6$  связано с механической обработкой образцов, а не с их сульфированием.

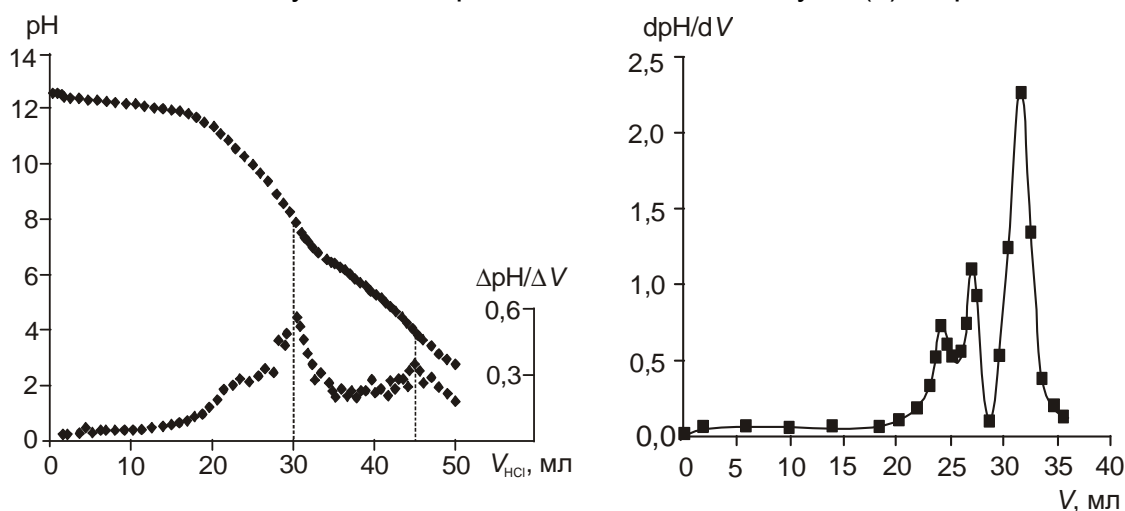
**Таблица 2.** Отношение  $E_4/E_6$  для различных образцов гуматов натрия по данным УФ-спектров

Образец	$t_{эк}, ^\circ\text{C}$	$E_4/E_6$
Нативный гумат натрия	100	2,5
	20	2,4
Гумат натрия из механоактивированного бурого угля без добавок ( $\tau_{ак} = 5$ мин.)	20	4,4
Гумат натрия из механоактивированной смеси бурого угля и NaOH ( $\tau_{ак} = 5$ мин.)	20	5,3
Сульфогумат натрия ( $\tau_{ак} = 5$ мин.)	100	5,5
	20	4,9

### Потенциометрическое титрование гуминовых веществ.

Количество функциональных групп в структуре макромолекул гуминовых кислот (ГК) является важной характеристикой, определяющей их реакционную способность и физико-химические свойства.

Приведенные на рис. 5 дифференциальные кривые потенциометрического титрования солей гуминовых кислот 0,1 н. раствором HCl, для нативных гуматов натрия имеют два максимума (а), первый из которых



**Рис. 2.** Изменение выхода сульфогуматов натрия от времени активирования реакционной смеси в вибромашине при различных виброускорении ( $l, g$ ) и температуре экстракции образцов ( $t_{эк}, ^\circ\text{C}$ ): 1 –  $t_{эк}=20^\circ\text{C}$ , 2 –  $t_{эк}=100^\circ\text{C}$ ; 1 – 31,4 g, 3 –  $t_{эк}=20^\circ\text{C}$ ; 4 –  $t_{эк}=100^\circ\text{C}$

соответствует оттитровыванию карбоксильных групп, а второй — гидроксильных групп. Дифференциальная кривая титрования сульфогумата натрия характеризуется наличием трех максимумов, где третий максимум соответствует оттитровыванию кислых сульфогрупп. Количество функциональных групп в образцах нативного гумата натрия ( $C_{ГН} = 1,0$  мас. %,  $t_{ек} = 20^\circ\text{C}$ ):  $-\text{COOH}$  — 2,35 мг-экв/г,  $-\text{OH}$  — 1,23 мг-экв/г; в образцах сульфированных гуматов натрия ( $C_{ГН} = 1,0$  мас. %,  $\tau_{ак} = 5$  мин.,  $t_{ек} = 20^\circ\text{C}$ ):  $-\text{COOH}$  — 3,50 мг-экв/г,  $-\text{OH}$  — 2,36 мг-экв/г,  $-\text{SO}_3$  — 3.85 мг-экв/г.

Таким образом, доказана возможность введения сульфогрупп в структуру макромолекул гуминовых кислот в результате твердофазной реакции сульфирования в лабораторных вибрационных аппаратах 75Т-ДрМ и ВОТУМ (ВЛ-3). Показано, что при варьировании интенсивности (виброускорение) и времени механообработки можно получать сульфопродукты с высоким выходом и содержанием сульфогрупп.

### Литература

1. Кухаренко Т.А. Окисленные в пластах бурые и каменные угли / Кухаренко Т.А. — М.: Недра, 1993. — 176 с.
2. Moliner R. Amino-acids in humic, nitrohumic and nitrofulvic acids from coal / Moliner R., Gavilan J.M. // *Fuel*. — 1981. — V. 60, № 1. — P. 64–66.
3. Пат. 53-144501 Япония, кл. МКИ (С 07 G17/00) Получение нитрогуминовых кислот / Мацузава Хироси, Какидзи Тадао, Хосоя Ясуми (Япония); заявл.13.08.82, опубл. 20.02.84.
4. Moschopedis S.E. Sulphomethylation of humic acids, lignites and coals / Moschopedis S.E. // *Fuel*. — 1970. — V. 49, № 7. — P. 336–338.
5. Moschopedis S.E. Modification of humic acids, lignites and coals / Moschopedis S.E., Speight J. // *Fuel*. — 1971. — V. 50, № 1. — P. 214–218.
6. Тищенко Д. О реакции сульфометилирования фенолов / Д. Тищенко, А. Кислицын // *Журнал прикладной химии*. — 1961. — № 7. — С. 1612–1616.
7. Таджиев А.Т. Получение активированных гуминовых препаратов из отходов производства сульфоуглей / А.Т. Таджиев, Г.Ф. Рубинчик, Е.М. Бескараваева, Д.Р. Рахимов // *Химия тверд. топлива*. — 1991. — № 6. — С. 53–58.
8. Пат. 853012235 США, Low-viscosity coal-water slurries containing sulfonated humic acids / Vaghmate Farrokh, Mc Keon Ronald James (США); заявл.22.02.85, опубл. 27.08.86.
9. А.с. 1188165 СССР, МКИ С 07 С 143/54//С 09 К 7/02 Способ получения сульфированных гуматов / В.Р. Алишанян, Л.П. Вахрушев, Б.М. Гаврилов, Думбай И.Н., Гирина Л.В., Дуленко В.И., Кинк А.А., Каск С.О. (СССР). — №3698672/23-04; Заявлено 17.11.83; Опубл. 30.10.85, Бюл. № 40. — 4 с.
10. Гирина Л.В. Способ повышения выхода гуматов из бурого угля Александрийского месторождения / Л.В. Гирина, В.И. Дуленко, И.Н. Думбай // *Химические продукты из угля*. — Киев: Наукова думка, 1983. — С. 49–56.
11. Гирина Л.В. Интенсификация процесса извлечения гуминовых кислот из бурого угля при диспергировании // *Химия твердого топлива*. — 1985. - №6. — С. 59-65.
12. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ / В.В. Болдырев // *Успехи химии*. — 2006. — Т. 75, № 3. — С. 203–216.
13. Семенюк И.В. Влияние механохимической обработки торфа и бурых углей на их свойства / И.В. Семенюк, Т.П. Смычник, А.А. Терентьев // *Химия твердого топлива*. — 1997. — № 1. — С. 59–65.
14. Моцаренко Г.П. Эволюция и перспективы развития вибрационных машин для обработки дисперсных материалов и сред // *Материалы научной школы «Вибротехнология-97»*. Механическая обработка дисперсных (сыпучих материалов) и сред. Одесса: НПО «ВОТУМ». — 1997. — С. 75–85.
15. Бутягин П.Ю. Кинетика и природа механохимических реакций / П.Ю. Бутягин // *Успехи химии*. — 1971. — Т. 40, вып. 11. — С. 1935–1959.
16. Хренкова Т.М. Механохимическая активация углей / Хренкова Т.М. — М.: Недра, 1993. — 176 с.



17. Иванов А.А. Влияние механо-химической активации на состав и свойства гуминовых кислот торфов / А.А. Иванов, Н.В. Юдина, О.И. Ломовский // Известия Томского политехнического университета. — 2006. — Т. 309, № 5. — С. 73–77.
18. Kleinhempel D. Ein Beitrag zur Theorie des Huminstoffzustandes / Kleinhempel D. // Albrecht-Thaer-Archiv. — 1970. — V. 14, № 1. — P. 3–14.
19. Черонис Н.Д. Микро- и полумикрометоды органического функционального анализа / Черонис Н.Д. — М.: Химия, 1973. — 576 с.
20. Khalili F. Isolation and characterization of humic acid from Jordanian oil shale / Khalili F. // Fuel. — 1990. — V. 69, № 2. — P. 151–165.

© Хилько С.Л., 2011

Надійшла до редколегії 28.12.2010 г.

УДК 544.72:541.183 + 547.992

**С. Л. Хилько, А. И. Ковтун** (ИнФОУ им. Л.М. Литвиненко НАН Украины)

### **СИНЕРГИЗМ ДЕЙСТВИЯ В СМЕСЯХ ЦЕТИЛТРИМЕТИЛАММОНИЙ БРОМИДА И СОЛЕЙ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ**

*Методом кольца Дю Нуи исследованы адсорбционные характеристики смесей цетилтриметиламмоний бромида (ЦТАБ) и солей нативных гуминовых кислот на границе раздела жидкость-газ. Показано, что смеси более эффективно снижают поверхностное натяжение, чем каждый компонент в отдельности (синергизм). Синергизм может быть обусловлен образованием в поверхностном слое комплексов между макроанионами гумата натрия и катионом цетилтриметиламмония (ЦТА<sup>+</sup>).*

*Ключевые слова: смеси ПАВ, цетилтриметиламмоний бромид, соли гуминовых кислот, адсорбция, синергизм.*

Для регулирования процессов на межфазных границах обычно используют смеси поверхностно-активных веществ (ПАВ) с различной поверхностной активностью [1, 2]. Среди смесей ПАВ особый интерес представляют смеси высокомолекулярных и низкомолекулярных ПАВ [3–6]. Это связано с тем, что компоненты таких смесей способны выполнять различные функции при формировании дисперсных систем. Низкомолекулярные ПАВ могут значительно уменьшать межфазное натяжение, способствуя процессам разжижения (пластифицирования), эмульгирования и пенообразования. Высокомолекулярные ПАВ образуют структурированные адсорбционные слои на поверхности раздела фаз, которые предотвращают разрушение дисперсных систем за счет агрегации, седиментации или коалесценции («коллоидная защита»), то есть выполняют стабилизирующую функцию. Кроме того, добавки низкомолекулярных ПАВ модифицируют поверхностные слои, образованные высокомолекулярными ПАВ, при этом изменяются их адсорбционные характеристики.

Целью работы было исследование адсорбционных характеристик смесей цетилтриметиламмоний бромида и солей нативных гуминовых кислот на границе раздела жидкость–газ.