

УДК 544.723:661.185.22:[546.791.6-381]

О.В.Перлова, А.А.Ширыкалова

АДСОРБЦИЯ АЛКИЛКАРБОКСИЛАТОВ КАЛИЯ СВЕЖЕОСАЖДЕННЫМ ГИДРОКСИДОМ УРАНИЛА

Изучена адсорбция алкилкарбоксилатов калия свежесаженым гидроксидом уранила. Экспериментальные изотермы адсорбции описаны некоторыми известными адсорбционными уравнениями (Ленгмюра, Харкинса–Юра, Фрейндлиха). Рассчитаны константы этих уравнений и термодинамические характеристики адсорбционного процесса. Установлено, что адсорбция носит смешанный характер. Доказано, что алкилкарбоксилаты калия образуют ассоциаты в поверхностном слое свежесаженого гидроксида уранила. Предложен механизм адсорбции.

ВВЕДЕНИЕ. Адсорбция поверхностно-активных веществ (ПАВ) из водных растворов на поверхностях твердых тел является основой многих технологических процессов, в частности, осадительной флотации [1] — осадении извлекаемых из производственных растворов и сточных вод ионов тяжелых металлов в форме трудно-растворимых гидроксидов и их последующей флотации с помощью специально подобранных собирателей [2] — ионогенных ПАВ. Отправной информацией для расчета и оптимизации этого процесса являются сведения о термодинамических характеристиках и механизме адсорбции, а также о строении адсорбционных слоев ПАВ на твердой поверхности.

Ранее [3, 4] нами было показано, что в качестве флотационных собирателей гидроксида уранила могут быть использованы катионные ПАВ — хлориды алкил- и диалкиламмония, причем наблюдалась корреляция между величиной адсорбции данных ПАВ свежесаженым гидроксидом уранила и эффективностью флотационного извлечения урана. Однако учитывая большую токсичность, меньший объем производства и более высокую стоимость катионных ПАВ по сравнению с анионными [5], представляло интерес выяснить, целесообразно ли применять анионные ПАВ (алкилкарбоксилаты калия (АКК)) в качестве флотационных собирателей гидроксида уранила. Для ответа на этот вопрос необходимы сведения о закономерностях адсорбции АКК поверхностью свежесаженого гидроксида уранила, которые в литературе отсутствуют.

Цель данной работы — изучение основных закономерностей адсорбции АКК свежесаж-

енным гидроксидом уранила в связи с перспективной использованием данных ПАВ в качестве флотационных собирателей урана (VI) в виде гидроксида уранила.

ЭКСПЕРИМЕНТ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. Адсорбатами являлись АКК, содержащие в своем составе от 10 до 16 атомов углерода. Растворы адсорбатов готовили путем нейтрализации (при нагревании) соответствующих жирных кислот водным раствором гидроксида калия и последующего подщелачивания полученного раствора (с целью предотвращения гидролиза) до pH 11,6. Концентрация адсорбатов в полученных растворах была ниже их критической концентрации мицеллообразования [6].

Адсорбентом служил свежесаженым гидроксид уранила $UO_2(OH)_2$. Осаждение гидроксида уранила осуществляли из $1 \cdot 10^{-3}$ М растворов ацетата уранила путем добавления к ним 1 М раствора гидроксида калия в количестве, стехиометрически необходимом для полного осаждения гидроксида уранила. Осадок идентифицировали путем его химического анализа и ИК-спектроскопического исследования [4].

ИК-спектры исследуемых образцов (адсорбата (пальмитата калия), адсорбента (гидроксида уранила)) до и после адсорбции АКК получали на установке Specord в области $4000—400$ cm^{-1} в таблетках с KBr. ИК-спектроскопические данные интерпретировали в соответствии с известными корреляциями [7–8].

Опыты по адсорбции АКК на границе раздела их растворов с гидроксидом уранила проводили следующим образом. В стеклянную колбу емкостью 100 мл, содержащую свежесажен-

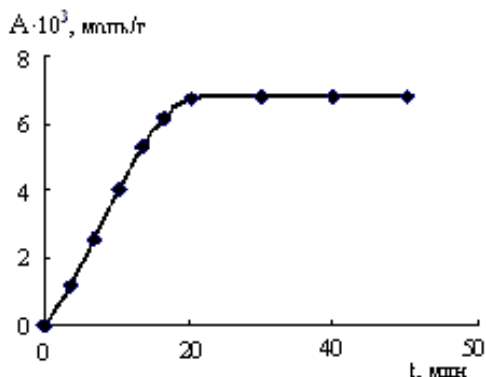


Рис. 1. Кинетика адсорбции пальмитата калия свежесажженным гидроксидом уранила. $T = 298$ К.

ный гидроксид уранила (0.334 г/дм^3 и рН 11.3), вводили определенное количество ($1 \cdot 10^{-4}$ — $25 \cdot 10^{-4}$ моль/ дм^3) адсорбата. Колбу закрывали притертой пробкой и встряхивали в течение 30 мин (этого времени было достаточно для установления в системе адсорбционного равновесия (рис. 1)). Затем содержимое колбы центрифугировали на лабораторной центрифуге ЦЛС со скоростью 3000 об/мин в течение 15 мин. Центрифугат собирали в отдельную колбу и анализировали на содержание в нем АКК методом двухфазного титрования с помощью бромфенолового синего [9]. Величину адсорбции АКК гидроксидом уранила рассчитывали по изменению концентрации АКК в растворе до и после адсорбции.

Проведенные исследования показали (рис. 2, 3), что алкилкарбоксилаты калия интенсивно адсорбируются свежесажженным гидроксидом уранила. Изотермы адсорбции АКК свежесажженным гидроксидом уранила однотипны и имеют форму, близкую к форме изотерм S-типа по классификации Джайлса. В этом случае силы взаимодействия между адсорбированными молекулами в адсорбционном слое больше сил взаимодействия между адсорбатом и адсорбентом, поэтому молекулы адсорбата стремятся расположиться на поверхности адсорбента в виде цепей или ассоциатов [10].

При сравнительно высоких равновесных концентрациях АКК наблюдается резкое возрастание адсорбции, что объясняется увеличением удельной поверхности адсорбента от $0.21 \text{ м}^2/\text{г}$ (в отсутствие ПАВ, то есть до адсорбции) до $0.30 \text{ м}^2/\text{г}$ после адсорбции каприната калия и 0.24

$\text{м}^2/\text{г}$ — после адсорбции миристата калия [11]. Это связано [12] с дефлокуляцией и диспергированием частиц гидроксида уранила вследствие уменьшения свободной энергии на границе раздела адсорбент—вода и ослабления сил сцепления между отдельными частицами адсорбента, приводящими к освобождению дополнительной межфазной поверхности.

Температура по-разному влияет на величину адсорбции ПАВ свежесажженным гидроксидом уранила в зависимости от длины углеводородного радикала адсорбата и его равновесной концентрации в растворе (рис. 2, 3). Это связано, на наш взгляд, с совокупностью влияния различных факторов на эффективность процесса адсорбции и, прежде всего, со смешанным характером адсорбции. С одной стороны, дегидратация полярных групп адсорбатов, дегидратация поверхности адсорбента (приводящая к пептизации хлопьев адсорбента, уменьшению их размера и, следовательно, повышению удельной поверхности адсорбента) обуславливают возрастание адсорбции при увеличении температуры. С другой стороны, повышение температуры способствует ускорению образования сверхмицеллярных структур адсорбента, так как увеличи-

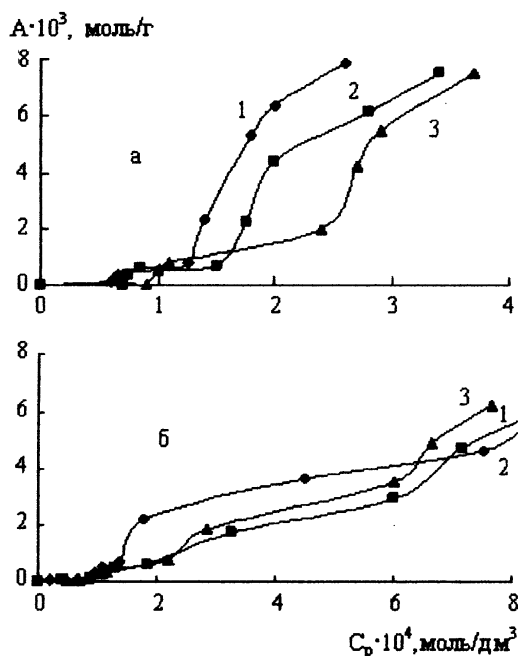


Рис. 2. Изотермы адсорбции каприната (а) и лаурата (б) калия свежесажженным гидроксидом уранила. Здесь и на рис. 3 T , К: 298 (1), 310 (2) и 318 (3).

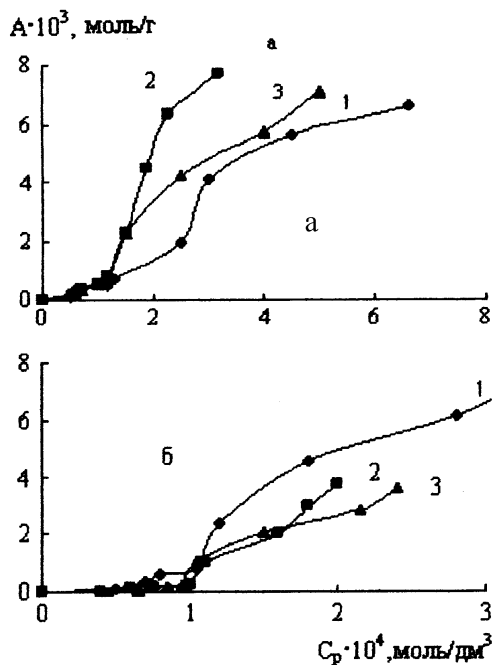


Рис. 3. Изотермы адсорбции мирилата (а) и пальмитата (б) калия свежесажженным гидроксидом уранила.

вает вероятность преодоления остаточного энергетического барьера между частицами [13], что приводит к понижению адсорбции.

Длина углеводородного радикала адсорбата оказывает сложное, неоднозначное влияние на величину адсорбции. Это связано, вероятно, с влиянием длины углеводородного радикала ПАВ на диспергирующее действие ПАВ по отношению к частицам гидроксида уранила и, следовательно, на величину удельной поверхности адсорбента, а также с затруднением адсорбции АКК и их двумерных ассоциатов в порах [11, 14] адсорбента.

С целью получения основных количественных характеристик адсорбционного взаимодействия АКК с гидроксидом уранила экспериментальные изотермы адсорбции были обработаны с помощью:

– уравнения Ленгмюра в линеаризированной форме:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty}} + \frac{1}{A_{\infty} \cdot \beta} \cdot \frac{1}{C_p}, \quad (1)$$

где A_{∞} — предельная адсорбция; β — константа адсорбционного равновесия, не учитывающая влияние растворителя на процесс адсорбции, свя-

занная с константой K (константа адсорбционного распределения, учитывающая конкурентную адсорбцию растворителя) соотношением: $K = \gamma \cdot \beta \cdot \omega_b / \omega$, где γ — число моль растворителя в 1 кг, для водных растворов $\gamma = 55.5$; ω , ω_b — соответственно площади, занимаемые на поверхности адсорбента молекулой вещества, адсорбируемого из раствора (для каприната калия ω равно $47.6 \cdot 10^{-20}$, лаурата калия — $41 \cdot 10^{-20}$, мирилата калия — $34 \cdot 10^{-20}$, пальмитата калия — $25 \cdot 10^{-20}$ м² [15]), и молекулой воды ($9.63 \cdot 10^{-20}$ м²);

– уравнения Харкинса–Юра:

$$\ln C_p = K_1' - \frac{K_2'}{A^2}, \quad (2)$$

где K_1' — константа интегрирования, K_2' — константа, характеризующая агрегатное состояние поверхностного слоя адсорбата [16];

– параболического уравнения, аналогичного уравнению Фрейндлиха:

$$A = \rho \cdot C_p^{1/n}, \quad (3)$$

где ρ и $1/n$ — константы.

Стандартные изменения свободной энергии Гиббса, энтальпии и энтропии системы в результате адсорбции ПАВ на границе раздела фаз жидкость—твердое тело рассчитывали по уравнениям:

$$\Delta G_{ж-т}^0 = -RT \ln K; \quad (4)$$

$$\Delta H_{ж-т}^0 = RT^2 \frac{d \ln K}{dT}; \quad (5)$$

$$\Delta S_{ж-т}^0 = \frac{\Delta H_{ж-т}^0 - \Delta G_{ж-т}^0}{T}. \quad (6)$$

Значения величин констант, характеризующих процесс адсорбции, вычисленные с помощью уравнений (1)–(3), приведены в табл. 1.

Экспериментально определенные значения A_{∞} (табл. 1) и удельной поверхности адсорбента [11] позволили рассчитать площадь, занимаемую одной молекулой адсорбата (ω_0) в адсорбционном слое [17]:

$$\omega_0 = \frac{S_{уд}}{A_{\infty} \cdot N_A}. \quad (7)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 1. Поскольку полученные значения меньше, чем площади, занимаемой молекулами соответствующих ПАВ в насыщенном (мономолекулярном) адсорбционном слое (ω), можно полагать [12,

Т а б л и ц а 1

Результаты обработки экспериментальных изотерм адсорбции АКК на поверхности свежесажженного гидроксида уранила с помощью различных адсорбционных уравнений

Адсорбат	T, К	Уравнение Ленгмюра			Параболическое уравнение		Уравнение Харкинса–Юра	
		$A_{\infty} \cdot 10^4$, моль/г	$\beta \cdot 10^{-5}$, дм ³ /моль	$\omega_0 \cdot 10^{20}$, м ²			K_2'	K_2''
					1/n	ρ , ммоль/г	моль ² /г ²	
C ₉ H ₁₉ COOK ($\omega = 47.6 \cdot 10^{-20}$ м ²)	298	7.51	0.90	0.16	3.2	9.5	8.83	0.46
	310	3.88	0.78	0.32	2.6	7.2	9.27	0.06
	318	2.27	0.39	0.54	2.2	5.5	—	—
C ₁₁ H ₂₃ COOK ($\omega = 41 \cdot 10^{-20}$ м ²)	298	6.30	5.91	0.19	1.7	5.1	6.94	0.05
	310	3.03	4.38	0.40	1.6	0.8	4.53	0.30
	318	3.78	1.31	0.32	1.4	0.2	3.20	0.55
C ₁₃ H ₂₇ COOK ($\omega = 34 \cdot 10^{-20}$ м ²)	298	5.37	5.63	0.23	1.5	0.6	2.33	2.07
	310	8.16	4.91	0.14	2.5	0.4	12.50	—
	318	17.94	2.60	6.82	1.6	0.2	12.50	0.06
C ₁₅ H ₃₁ COOK ($\omega = 25 \cdot 10^{-20}$ м ²)	298	1.13	0.71	0.11	2.0	5.2	—	—
	310	21.72	0.60	5.63	2.3	6.4	—	—
	318	12.60	0.41	9.71	2.8	8.2	—	—

13], что при $C_p < KKM_1$ на поверхности свежесажженного гидроксида уранила образуются двухмерные или трехмерные ассоциаты ионогенного ПАВ в результате концентрирования ПАВ в приповерхностном слое адсорбента, которое обусловлено проявлением гидрофобного и адсорбционного взаимодействия адсорбат—адсорбат и адсорбат—адсорбент. Ионы АКК сближаются до некоторого расстояния, при котором наступает их агрегация (гидрофобная коагуляция) и адагуляция на поверхности раньше, чем в объеме раствора.

Сделанный вывод подтверждается (табл. 1) численными значениями величины $1/n$ в параболическом уравнении ($1/n > 1$), что соответствует значению $n < 1$. Полученные данные свидетельствуют об агрегации адсорбируемого вещества на поверхности адсорбента [18]. В этом случае n характеризует степень ассоциации молекул ПАВ на поверхности, что весьма вероятно, поскольку поверхностная концентрация адсорбата превосходит объемную и в поверхностном слое создаются условия для ассоциации молекул ПАВ.

При использовании уравнения Харкинса–Юра прямолинейная зависимость в координатах $\ln C_p = f(1/A^2)$ наблюдается на двух участках

изотерм: в области малых и больших равновесных концентраций ПАВ. Каждому прямолинейному участку соответствует (табл. 1) определенное значение константы K_2 (K_2' и K_2''). На наш взгляд, это можно объяснить, предположив, что два значения K_2' в пределах одной изотермы свидетельствуют об изменении агрегатного состояния поверхностного слоя адсорбата [16] и косвенно подтверждают ассоциацию молекул (ионов) ПАВ в поверхностном слое.

Расчеты термодинамических характеристик процесса адсорбции (уравнения (4)–(6)) показали (табл. 2), что процесс адсорбции АКК свежесажженным гидроксидом уранила является экзотермическим. Значения $\Delta S_{ж-г}^0$ положительны, что может быть связано с вытеснением молекул растворителя из адсорбционного слоя, а также с десольватацией полярных групп адсорбата [13]. Значения величины $\Delta G_{ж-г}^0$, являющейся мерой сродства адсорбата к адсорбенту, достаточно велики (–27.65 — –33.77 кДж/моль). Полученные значения свободной энергии адсорбции указывают на заметное сродство данных ПАВ к гидроксиду уранила и смешанный характер адсорбции.

Данный вывод подтверждается результата-

Т а б л и ц а 2

Термодинамические характеристики адсорбции АКК свежесажженным гидроксидом уранила

Т, К	$K \cdot 10^{-4}$, дм ³ /моль	$-\Delta G^0_{ж-т}$	$-\Delta H^0_{ж-т}$	$\Delta S^0_{ж-т}$, Дж/(моль·К)
		кДж/моль		
C₉H₁₉COOK				
298	8.99	28.26	18.71	32
310	7.75	29.02	"	33
318	3.93	27.97	"	29
C₁₁H₂₃COOK				
298	59.10	32.93	24.91	27
310	43.80	33.48	"	28
318	13.10	31.15	"	20
C₁₃H₂₇COOK				
298	56.30	32.81	21.80	37
310	49.10	33.77	"	39
318	26.00	32.97	"	35
C₁₅H₃₁COOK				
298	7.06	27.65	17.96	33
310	5.99	28.35	"	34
318	4.11	28.08	"	32

ми опытов по десорбции ПАВ дистиллированной водой, согласно которым степень десорбции зависит от равновесной концентрации, температуры, длины углеводородного радикала ПАВ и лежит в пределах от 3 до 100 % (рис. 4). Из рисунка видно, что десорбция АКК существенна при малых равновесных концентрациях адсорбата; затем она практически отсутствует. Это может быть связано с тем, что при малых равновесных концентрациях закрепление АКК на поверхности гидроксида уранила происходит в результате физической адсорбции, а при увеличении равновесных концентраций ПАВ преобладает химическая адсорбция.

ИК-спектроскопические исследования (табл. 3) подтверждают образование химических связей в результате адсорбции. В ИК-спектре гидроксида уранила после адсорбции АКК (пальмитата калия) имеются полосы поглощения, характерные для исходных веществ — адсорбента и адсорбата. В ИК-спектре гидроксида уранила после адсорбции паль-

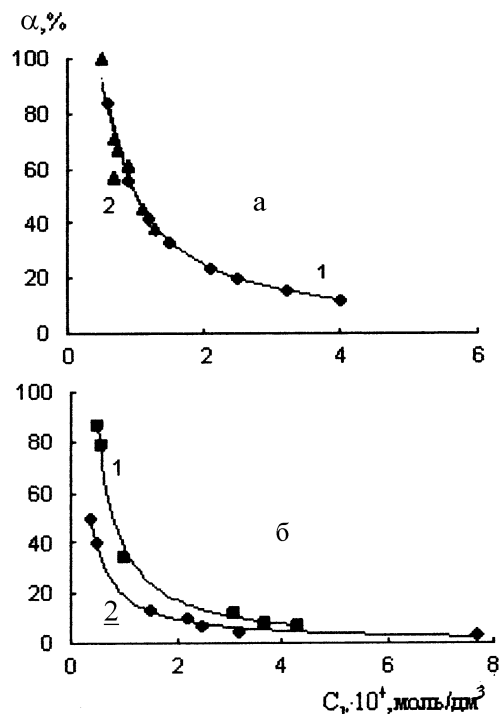


Рис. 4. Зависимость степени десорбции (α) каприната (а) и лаурата (б) калия от равновесной концентрации (C_p) ПАВ в растворе. Т, К: 298 (1) и 318 (2).

митата калия присутствует сильная узкая полоса поглощения с максимумом при 890 см^{-1} , аналогичная полосе поглощения при 892 см^{-1} в ИК-спектре исходного адсорбента. Эту полосу можно отнести к симметричным валентным колебаниям группы UO_2^{2+} .

В ИК-спектре гидроксида уранила после адсорбции пальмитата калия, так же как и в ИК-

Т а б л и ц а 3

Значения волновых чисел в ИК-спектрах $\text{UO}_2(\text{OH})_2$, $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOK}$, а также $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ после адсорбции $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOK}$

Отнесение полос	Волновое число, см^{-1}		
	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOK}$	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$
$\nu(\text{O-H})$	3355	—	3608
$\nu_{as}(\text{C-H})$ в группе CH_3	—	2960	2957
$\nu(\text{C-H})$ в группе CH_2	—	2920; 2850	2920; 2850
$\nu_{as}(\text{COO}^-)$, $\nu_s(\text{COO}^-)$	—	1560; 1420	1520; 1468
$\delta(\text{Me-O-H})$	890	892	889
$\rho[-(\text{CH}_2)_n-]$	—	720	720

спектре исходного пальмитата калия, имеются максимумы поглощения при 2957, 2918 и 2852 см^{-1} , обусловленные симметричными и асимметричными валентными колебаниями метильных и метиленовых групп. При 716 и 720 см^{-1} в спектрах адсорбата и адсорбента после адсорбции имеются полосы, характерные для маятниковых колебаний метиленовых групп. В этих спектрах присутствуют полосы поглощения при 1560 (адсорбат) и при 1527 см^{-1} (гидроксид уранила после адсорбции пальмитата калия), ответственные за асимметричные валентные колебания ионизированных карбоксильных групп, а также полосы, соответственно при 1420 и 1468 см^{-1} , ответственные за их симметричные валентные колебания.

Разность волновых чисел $\Delta\nu = \nu_{as} - \nu_s$, равная 140 (адсорбат) и 59 см^{-1} (гидроксид уранила после адсорбции пальмитата калия), свидетельствуют [8] о том, что группа COO^- связана с различными по природе ионами металлов. Этот факт доказывает образование химической связи между атомом урана адсорбента и ионизированной карбоксильной группой адсорбата. Уменьшение частоты асимметричных валентных колебаний группы COO^- в ИК-спектре гидроксида уранила после адсорбции пальмитата калия (1527 см^{-1}) по сравнению с частотой асимметричных валентных колебаний группы COO^- в ИК-спектре адсорбата (1560 см^{-1}) наряду со значительным увеличением интенсивности данной полосы указывает [19] на образование водородной связи между адсорбатом и адсорбентом в процессе адсорбции.

Таким образом, из результатов термодинамических расчетов, ИК-спектроскопических исследований и результатов опытов по десорбции следует, что адсорбция АКК осуществляется посредством образования координационной связи между атомом урана, имеющим вакантные f - и d -орбитали, и полярной группой адсорбата; образования водородных связей между изолированными поверхностными гидроксильными группами адсорбента и карбоксильными группами АКК, а также путем гидрофобных взаимодействий углеводородных радикалов ПАВ, приводящих к ассоциации адсорбата в поверхностном слое адсорбента.

Можно предположить, что ассоциация адсорбата в поверхностном слое адсорбента мо-

жет привести к гидрофиллизации поверхности гидроксида уранила после адсорбции АКК. Для доказательства этого предположения нами были проведены опыты по измерению динамической вязкости суспензий, дисперсной фазой которых являлся гидроксид уранила в отсутствие и в присутствии АКК (на примере каприната калия). По данным визкозиметрических исследований [15] с использованием уравнения Эйнштейна

$$\eta = \eta_0(1 + 2.5 \cdot \phi_r) \quad (8)$$

(η и η_0 — соответственно динамическая вязкость исследуемой суспензии и дисперсионной среды; r — радиус негидратированных частиц дисперсной фазы; ϕ_r — объемная доля гидратированной дисперсной фазы) рассчитывали объемную долю гидратированной дисперсной фазы, связанную с толщиной гидратных оболочек δ на поверхности частиц дисперсной фазы:

$$\delta = r \cdot [(\phi_r / \phi)^{1/3} - 1], \quad (9)$$

где ϕ — объемная доля негидратированной дисперсной фазы.

К сожалению, ввиду отсутствия данных о радиусах негидратированных частиц дисперсной фазы не удалось рассчитать толщину гидратных оболочек, поэтому о степени гидратации частиц дисперсной фазы судили по величине $(\phi_r / \phi)^{1/3}$. Проведенные исследования и расчеты показали, что $(\phi_r / \phi)^{1/3} = 5.2$ для $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ в отсутствие ПАВ и $(\phi_r / \phi)^{1/3} = 6.2$ для $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ после адсорбции ПАВ. Таким образом, можно полагать, что частицы гидроксида уранила после адсорбции каприната калия являются более гидрофильными, чем исходный адсорбент.

На основании полученных данных можно прогнозировать невысокую эффективность использования АКК в качестве флотационных собирателей гидроксида уранила. Проведенные исследования подтвердили правильность сделанного прогноза и показали, что степень флотационного извлечения гидроксида уранила с помощью АКК не превышает 20 %.

Таким образом, несмотря на эффективную адсорбцию АКК свежесаженым гидроксидом уранила исследованные ПАВ нецелесообразно применять в качестве флотационных собирателей гидроксида уранила, поскольку ассоциация ПАВ в поверхностном слое приводит к гидрофиллизации поверхности адсорбента и, как след-

стве, низкой степени флотационного извлечения урана.

РЕЗЮМЕ. Вивчено адсорбцію алкілкарбоксилатів калію свіжоосадженим гідроксидом уранілу. Експериментальні ізотерми адсорбції описано деякими відомими адсорбційними рівняннями (Ленгмюра, Харкінса–Юра, Фрейндліха). Розраховано константи цих рівнянь і термодинамічні характеристики адсорбційного процесу. Встановлено, що адсорбція має змішаний характер. Доведено, що алкілкарбоксилати калію утворюють асоціати в поверхневому шарі свіжоосадженого гідроксиду уранілу. Запропоновано механізм адсорбції.

SUMMARY. Potassium alkylcarboxylates adsorption by freshly precipitated uranyl hydroxide has been studied. The experimental adsorption isotherms are described by some known adsorption equations (Langmuire, Harkins–Jura, Freundlich). These equations constants and the adsorption process thermodynamic characteristics were calculated. It has been found that adsorption has mixed nature. It is proved that the potassium alkylcarboxylates form clathrates in the adsorbent surface layer. The adsorption mechanism has been offered.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузькин С.Ф. Флотация ионов и молекул. -М.: Недра, 1971.
2. Гольман А.М. Ионная флотация. -М.: Недра, 1982.
3. Перлова О.В., Ширькалова А.А., Менчук В.В. // Вопросы химии и хим. технологии. -2004. -№ 3. -С. 140—144.
4. Перлова О.В., Ширькалова А.А., Менчук В.В. // Укр. хим. журн. -2006. -72, № 6. -С. 86—92.
5. Стрельцова О.О. Фізико-хімічні основи процесу флотажного виділення поверхнево-активних речовин із водних розчинів та стічних вод. -Одеса, Астропринт, 1997.
6. Поверхностно-активные вещества: справочник / Под. ред. А.А.Абрамзона, Г.М.Гаевого. -Л.: Химия, 1979.
7. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. -М.: Мир, 1966.
8. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. -М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
9. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества: синтез, анализ, свойства, применение. -Л.: Химия, 1988.
10. Джэйлс Ч., Инграм Б., Кьюни Дж. и др. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел. -М.: Мир, 1986.
11. Перлова О.В., Ширькалова А.А. // Вісн. ОНУ. Сер. Хімія. -2006. -11, вип. 1. - С. 51—58.
12. Когановский А.М., Клименко Н.А. Физико-химические основы извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов и сточных вод. -Киев: Наук. думка, 1978.
13. Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. Адсорбция органических веществ из воды. -Л.: Химия, 1990.
14. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. -М.: Наука, 1977.
15. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю.Г.Фролова, А.С.Гродского. -М.: Химия, 1986.
16. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. -Л.: Химия, 1984.
17. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. -М.: Химия, 1989.
18. Пушкарев В.В., Трофимов Д.И. Физико-химические особенности очистки сточных вод от ПАВ. -М.: Химия, 1975.
19. Соколов Н.Д. Некоторые вопросы теории водородной связи // Водородная связь. -М.: Наука, 1964. -С. 7—39.

Одесский национальный университет
им. И.И.Мечникова
Одесский государственный медицинский
университет

Поступила 08.06.2012