

- 1997. -№ 8. -Р. 125—132.
11. *Turov V.V., Leboda R.* // Adv. in Colloid and Interface Sci. -1999. -**79**. -Р. 173—211.
 12. *Туров В.В.* // Химия поверхности кремнезема. -2001. -**1**. -С. 510—607.
 13. *Gun'ko V.M., Turov V.V., Bogatyrev V.M. et al.* // Langmuir. -2003. -**19**. -Р. 10816—10821.
 14. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии. Изд. 4-е. -М.: Химия, 1971.
 15. *Государственная фармакопея СССР: В 2 т. Изд. XI, вып. 2.* -М.: Медицина, 1990.
 16. *Термодинамические свойства индивидуальных веществ* / Под ред. В.П. Глушкова. -М.: Наука, 1978.
 17. *Химия белка. Ч. 2* / Под ред. И.П. Ашмарина. -Изд-во Ленинградского ун-та, 1971. -С. 111.
 18. *Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния* / Под ред. А.А. Чуйко. -Киев: Наук. думка, 2003.

Институт химии поверхности НАН Украины, Киев

Поступила 04.01.2005

УДК 547.233.1.723: [546.791:54—36]

О.В. Перлова, А.А. Ширькалова, В.В. Менчук

АДСОРБЦИЯ ХЛОРИДОВ ДИАЛКИЛАММОНИЯ СВЕЖЕОСАЖДЕННЫМ ГИДРОКСИДОМ УРАНИЛА

Изучена адсорбция хлоридов диалкиламмония свежесажженным гидроксидом уранила. Предпринята попытка описать экспериментальные изотермы адсорбции некоторыми известными адсорбционными уравнениями (Генри, Ленгмюра, Хилла–де Бура, Харкинса–Юра). Рассчитаны константы этих уравнений и термодинамические характеристики адсорбционного процесса. Установлено, что адсорбция носит преимущественно химический характер. Предложен механизм адсорбции. Найдено, что наблюдается корреляция между адсорбцией хлоридов диалкиламмония свежесажженным гидроксидом уранила и эффективностью флотационного выделения урана (VI) в форме осадка первого рода.

В практике очистки технологических растворов и сточных вод предприятий по производству и переработке урана (VI) часто приходится сталкиваться с необходимостью выделения небольших количеств данного металла из больших объемов водных растворов [1]. Очистку сточных вод, содержащих уран (VI), осуществляют обычно методами химического осаждения, экстракции, ионного обмена, электрокоагуляции и пр. [2]. Однако эти методы малоэффективны, а иногда и экономически невыгодны для обработки больших объемов разбавленных растворов, где с успехом могут быть использованы флотационные методы или их комбинации с другими физико-химическими методами очистки воды [3].

Известно [4], что флотационное выделение ионов тяжелых металлов, в частности урана (VI), может быть осуществлено либо в форме их искусственно гидрофобизированных гидроксидов (осадков первого рода), либо в форме труднорастворимых солей, обладающих естественной гидрофобностью (осадков второго рода). Однако флотационное выделение осадков первого рода имеет ряд технологических преимуществ [5], а именно, меньший расход собирателя, высокую скорость

процесса, низкую чувствительность к присутствующим электролитам. Для выяснения теоретических основ процесса флотационного выделения ионов тяжелых металлов в форме осадков первого рода необходимо изучить основные закономерности адсорбции поверхностно-активных веществ на поверхности свежесажженных гидроксидов соответствующих металлов.

Цель данной работы — изучение основных закономерностей адсорбции хлоридов диалкиламмония (ХДАА) свежесажженным гидроксидом уранила в связи с перспективой использования данных ПАВ в качестве флотационных собирателей урана (VI) в форме осадка первого рода из щелочных растворов.

Адсорбатами являлись 10^{-2} М растворы ХДАА, содержащие в своем составе 16 и 20 атомов углерода (соответственно хлориды диоктил- и дидециламмония).

В качестве адсорбента ХДАА использовали свежесажженный гидроксид уранила. Гидроксид уранила осаждали из растворов ацетата уранила, содержащих 25 мг металла в литре, добавляя к ним 0.1 М раствора гидроксида калия в количестве, стехиометрически необходимом для полно-

го осаждения гидроксида уранила (концентрация $UO_2(OH)_2$ равнялась 0.0334 г/л, рН 10.6). Осадок идентифицировали путем его химического анализа и ИК-спектроскопического исследования.

Химический анализ выделенного из раствора и высушенного на воздухе до постоянной массы осадка осуществляли следующим образом. Навеску осадка растворяли в определенном количестве 1 М азотной кислоты и определяли содержание урана (VI) в полученном растворе по стандартной методике [6]. По результатам анализа рассчитывали массовую долю ω урана (VI), содержащегося в данной навеске. Полученный результат ($\omega_{\text{эксп}}=77.12\%$) сопоставляли с величинами массовой доли урана (VI), вычисленными по химическим формулам соединений урана (VI), которые могут осаждаться при данных условиях опыта ($UO_2(OH)_2$, UO_3 , K_2UO_4 , $K_2U_2O_7$). Анализ показал, что полученная экспериментально массовая доля урана (VI) наиболее близка к массовой доле урана в гидроксида уранила ($\omega=78.29\%$).

ИК-спектр исследуемого образца получали на установке Specord в области $4000-400\text{ см}^{-1}$ в таблетках с KBr. Данные ИК-спектров интерпретировали в соответствии с известными корреляциями [7]. В ИК-спектре адсорбента наблюдаются максимумы поглощения при 3355 см^{-1} , которые можно отнести к валентным колебаниям OH-группы гидроксидов [7], а также при 892 см^{-1} , которые можно отнести к асимметричным валентным колебаниям группы $[UO_2]^{2+}$ и к деформационным колебаниям связи Me-O-H.

Опыты по адсорбции ХДАА на поверхности свежесажденного гидроксида уранила проводили следующим образом. В стеклянную колбу емкостью 100 мл, содержащую свежесаженный гидроксид уранила, вводили определенное количество ($1 \cdot 10^{-4}$ — $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) адсорбата. Колбу закрывали притертой пробкой и встряхивали в течение 30 мин (как показали наши исследования (рис. 1), этого времени было вполне достаточно для установления в системе адсорбционного равновесия). Затем содержимое колбы центрифугировали 5 мин на лабораторной центрифуге ЦЛС-3 со скоростью 3000 об/мин. Центрифугат отделяли от осадка, собирали в отдельную колбу и определяли в нем содержание ХДАА. Равновесную концентрацию ХДАА определяли экстракционно-фотометрическим методом с использованием в качестве индикатора бромфенолового синего [8]. Величину адсорбции ХДАА находили по изменению их концентрации в растворе до и после адсорбции.

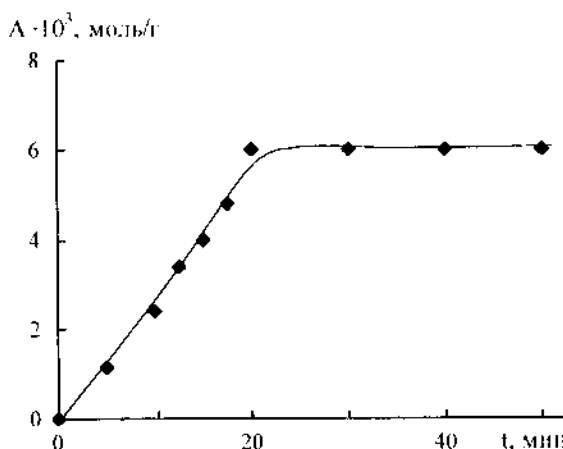


Рис. 1. Динамика адсорбции хлорида дидециламмония свежесаженным гидроксидом уранила. $T = 298\text{ К}$.

Флотационную обработку растворов осуществляли на установке для флотации путем пропускания через раствор диспергированного пористым материалом воздуха, которая представляла собой стеклянную термостатируемую колонку высотой 120 мм, диаметром 35 мм. Дном колонки и одновременно диспергатором воздуха служила стеклянная пористая пластинка (фильтр Шотта № 4). Воздух в колонку подавали снизу через пористую пластинку со скоростью $30\text{ см}^3/\text{мин}$. Объем раствора, заливаемого в колонку, равнялся 50 мл, время флотации 15 мин. Растворы в процессе флотации периодически анализировали на содержание в них урана (VI). Анализ осуществляли фотоколориметрически по стандартной методике [6]. Оптическую плотность анализируемых растворов определяли на фотоэлектроколориметре КФК-2МП. Об эффективности процесса флотации судили по степени извлечения урана из растворов:

$$\alpha = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%,$$

где C_0 и C — концентрация урана в растворе, соответственно, до и после флотации.

Поверхностное натяжение растворов измеряли методом наибольшего давления газовых пузырьков [9]. Время образования пузырька составляло 3—5 мин и было достаточным для установления равновесного значения поверхностного натяжения. Погрешность измерений при коэффициенте надежности 0.95 не превышала 0.2 мН/м.

Опыты по адсорбции ХДАА на границе раздела фаз жидкость—твердое тело проводили при температурах 25, 37 и 45 °С, а опыты по адсорбции ХДАА на границе раздела фаз жидкость—

газ и опыты по флотационному выделению урана (VI) в форме осадка первого рода — при температуре 25 °С.

Значения pH растворов измеряли с помощью иономеров универсального ЭВ-74 со стеклянным электродом, pH растворов варьировали, используя 0.1 М раствора КОН.

Проведенные исследования показали, что ХДАА весьма интенсивно адсорбируются свежесажженным гидроксидом уранила, причем адсорбция ХДАА возрастает с увеличением длины углеводородного радикала адсорбата и температуры (рис. 2). Последнее может свидетельствовать о преимущественно химическом характере адсорбции. Изотермы адсорбции хлоридов диалкиламмония свежесажженным гидроксидом уранила имеют форму, близкую к форме изотерм S-типа по классификации Джэйлса [10]. 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. Такому их положению способствует сильная адсорбция растворителя и монофункциональный характер адсорбата [11].

С целью получения основных количественных характеристик адсорбционного взаимодействия ХДАА с гидроксидом уранила была сделана попытка применения к экспериментально полученным изотермам адсорбции некоторых известных адсорбционных уравнений (Генри, Ленгмюра, Хилла–де Бура, Харкинса–Юра). Проверку соответствия того или иного уравнения адсорбции характеру экспериментальной зависимости осуществляли методом линеаризации.

Ниже приведены используемые в работе адсорбционные равенства:

– уравнение Генри:

$$A = K_G \cdot C_p, \quad (1)$$

где K_G — константа Генри; C_p — равновесная концентрация адсорбата в растворе; A — удельная адсорбция;

– уравнение Ленгмюра в линеаризированной форме:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_\infty} + \frac{1}{A_\infty \beta} \cdot \frac{1}{C_p}, \quad (2)$$

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

– уравнение Хилла–де Бура, учитывающее

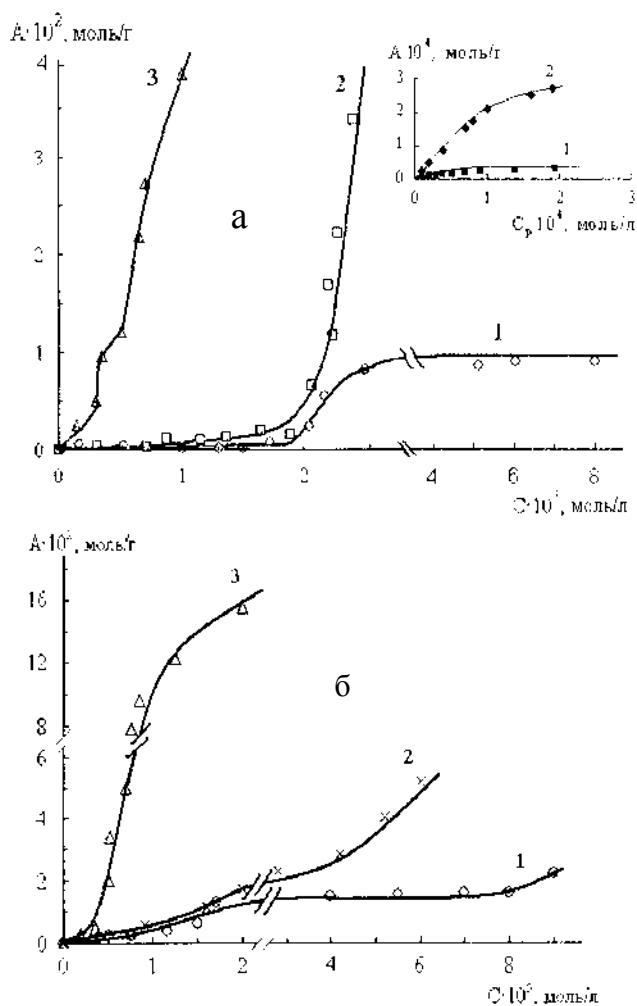


Рис. 2. Изотермы адсорбции хлоридов диоктил- (а) и дидециламмония (б) свежесажженным гидроксидом уранила. Т, К: 298 (1); 310 (2); 318 (3).

ван-дер-ваальсовское взаимодействие между адсорбированными молекулами [11] и в модифицированной для адсорбции из растворов форме имеющее вид:

$$\begin{aligned} \frac{\theta}{1-\theta} + \ln \left(\frac{\theta}{1-\theta} \right) - \ln C_p &= \\ &= \ln K_1 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_B \cdot 55.5} \right) + K_2 \cdot \theta, \end{aligned} \quad (3)$$

где ω , ω_B — соответственно площади, занимаемые на поверхности адсорбента молекулой ХДАА (для хлорида диоктиламмония — $5.90 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$, для хлорида дидециламмония — $6.74 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$; приведенные значения определены нами экспериментально в результате изучения адсорбции ХДАА на границе раздела фаз жидкость—газ [9])

и молекулой воды ($9.63 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$); K_1 — константа адсорбционного равновесия, учитывающая влияние растворителя на процесс адсорбции; K_2 — константа, отражающая межмолекулярное притяжение в адсорбционном слое; $\theta = A/A_\infty$ — относительное заполнение поверхности адсорбента ХДАА; значения A_∞ рассчитывали с помощью уравнения (2);

– уравнение Харкинса–Юра:

$$\ln C_p = K_1' - \frac{K_2'}{A^2}, \quad (4)$$

где K_1' — константа интегрирования; K_2' — константа, характеризующая агрегатное состояние поверхностного слоя адсорбата [12].

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

$$\Delta G_{\text{ж-т}}^0 = -RT \cdot \ln K_1; \quad (5)$$

$$\Delta H_{\text{ж-т}}^0 = RT^2 \frac{d \ln K_1}{dT}; \quad (6)$$

$$\Delta S_{\text{ж-т}}^0 = \frac{\Delta H_{\text{ж-т}}^0 - \Delta G_{\text{ж-т}}^0}{T}. \quad (7)$$

Свободную энергию адсорбции ХДАА на границе раздела фаз жидкость—газ ($\Delta G_{\text{ж-г}}$) рассчитывали по уравнению:

$$\Delta G_{\text{ж-г}} = -RT \cdot \ln \left(\frac{\Gamma}{\delta \cdot C} \right), \quad (8)$$

где $\delta = 9 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ — толщина адсорбционного слоя; Γ — гиббсовская адсорбция (поверхностный избыток), рассчитанная по уравнению адсорбции Гиббса [8] на основании изотерм поверхностного натяжения водных растворов ХДАА (рис. 3).

За стандартное принимали состояние системы, когда концентрация ПАВ в объеме раствора и поверхностном слое стремится к нулю. Стандартные изменения свободной энергии системы в результате адсорбции ХДАА на границе раздела жидкость—газ ($\Delta G_{\text{ж-г}}^0$) находили графически:

$$\Delta G_{\text{ж-г}}^0 = \lim_{C \rightarrow 0} \Delta G_{\text{ж-г}}. \quad (9)$$

Значения величин констант, характеризующих процесс адсорбции, вычисленные с помощью уравнений (1)—(4), приведены в табл. 1. Проведенные расчеты показали, что ни одно из используемых адсорбционных уравнений не описывает в целом экспериментальные изотермы адсорбции.

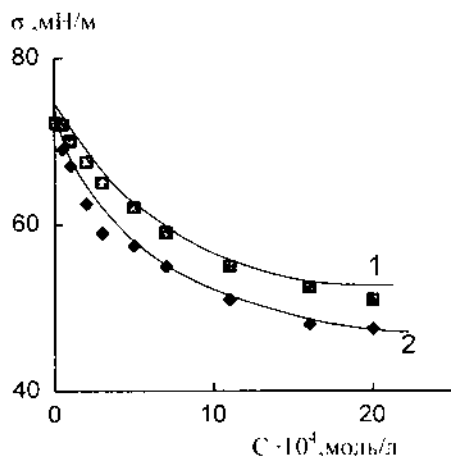


Рис. 3. Изотермы поверхностного натяжения водных растворов хлоридов диоктил- (1) и дидециламмония (2).

Уравнения Генри и Ленгмюра, как и следовало ожидать, описывают изотермы в области малых равновесных концентраций адсорбата, а уравнение Хилла–де Бура — в области степеней заполнения поверхности адсорбента 0.1—0.5. При использовании уравнения Харкинса–Юра прямолинейная зависимость в координатах $\ln C_p = f\left(\frac{1}{A^2}\right)$ наблюдается на двух участках изотерм: в области малых и больших равновесных концентраций ХДАА. Каждому прямолинейному участку соответствует (табл. 1) определенное значение константы K_2' (K_2' и K_2''). На наш взгляд, это можно объяснить, если учесть физический смысл константы K_2' [12] и предположить, что два значения K_2' в пределах одной изотермы свидетельствуют об изменении агрегатного состояния поверхностного слоя адсорбата.

Очевидно, что для описания исследуемых изотерм адсорбции наиболее целесообразно использовать уравнение Хилла–де Бура, так как оно описывает достаточно протяженные участки изотерм, правильно отражает температурную зависимость адсорбции, точнее, констант адсорбционного равновесия (в отличие от уравнения Ленгмюра при описании адсорбции хлорида диоксиламмония), а также учитывает конкурентную адсорбцию растворителя. Учитывая изложенное, для расчета приведенных в табл. 2 термодинамических характеристик адсорбции ХДАА свежесоаженным гидроксидом уранила были использованы значения константы адсорбционного равновесия K_1 , входящей в уравнение Хилла–де Бура. Величина K_1 , характеризующая способность адсорбата концентрироваться на поверхности адсорбента, увели-

Т а б л и ц а 1

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

Адсорбат	T, К	Уравнение Генри		Уравнение Ленгмюра		Уравнение Хилла-де Бура		Уравнение Харкинса-Юра	
		K ₂ , л/г	K ₂ , л/моль	A _∞ , моль/г	β, л/моль	K ₁ , л/моль	K ₂	K ₂ '	K ₂ ''
								моль ² /г ²	
(C ₈ H ₁₇) ₂ NH ₂ Cl	298	0.17	51.40	6.67·10 ⁻⁵	5.11·10 ³	2.29·10 ⁴	3.5	565.26	7.19
	310	2.22	647.90	6.67·10 ⁻⁴	3.90·10 ³	2.78·10 ⁴	2.7	15.34	5.56
	318	160.00	4.86·10 ⁴	6.20·10 ⁻²	2.50·10 ³	3.47·10 ⁴	3.6	17.78	0.71
(C ₁₀ H ₂₁) ₂ NH ₂ Cl	298	4.67·10 ²	1.42·10 ⁵	1.33·10 ⁻²	4.46·10 ⁴	2.77·10 ⁵	2.7	10.42	0.43
	310	4.94·10 ²	1.50·10 ⁵	1.42·10 ⁻²	4.60·10 ⁴	2.89·10 ⁵	2.4	13.66	0.26
	318	7.25·10 ²	2.20·10 ⁵	1.48·10 ⁻²	5.80·10 ⁴	3.84·10 ⁵	2.5	1.31	0.01

чивается с ростом температуры и длины углеводородного радикала ПАВ. Значения коэффициентов K₂ высоки (табл. 1), что подтверждает сделанное ранее на основании S-типа изотерм адсорбции заключение о значительном межмолекулярном притяжении адсорбата в адсорбционном слое [11].

Из табл. 2 следует, что значения величины ΔG⁰_{ж-г} являющейся мерой сродства адсорбата к адсорбенту, достаточно велики (-24.87 ÷ -33.99 кДж·моль). Полученные значения свободной энергии адсорбции указывают на заметное сродство ХДАА к гидроксиду уранила и преимущественно химический характер адсорбции. Значения ΔH⁰_{ж-г} положительны, что также может указывать на преимущественно химический характер адсорбции. Значения ΔS⁰_{ж-г} положительны и достаточно велики. Это может быть объяснено вытеснением молекул растворителя из адсорбционного слоя, а также десольватацией полярных групп адсорбата [11]. Оба процесса приводят к разрушению упорядоченной структуры воды и, следовательно, к увеличению энтропии системы.

Свободная энергия адсорбции хлоридов диалкиламмония на поверхности гидроксида уранила больше свободной энергии адсорбции ХДАА на границе раздела фаз жидкость—газ (табл. 2), следовательно, адсорбция ХДАА на поверхности гидроксида уранила термодинамически более выгодна, чем на поверхности раствора.

Таким образом, учитывая преиму-

щественно химический характер адсорбции изученных ПАВ на поверхности свежесажженного гидроксида уранила, состав и строение молекул адсорбента, а также формы нахождения адсорбата в растворе [13], можно предположить, что адсорбция ХДАА осуществляется на трех видах адсорбционных центров, имеющих у данного адсорбента. Этими адсорбционными центрами, на наш взгляд, являются: атом урана, имеющий вакантные f- и d-орбитали и способный к образованию координационной связи с электронно-донорными атомами азота адсорбата; изолированные (не связанные друг с другом водородными связями [10]) гидроксильные группы, являющиеся сильными адсорбционными центрами для молекул (ионов), способных к образованию водородных связей; электронно-донорные атомы кис-

Т а б л и ц а 2

Термодинамические характеристики процесса адсорбции ХДАА на поверхности свежесажженного гидроксида уранила и на границе раздела фаз жидкость—газ

Адсорбат	T, К	-ΔG ⁰ _{ж-г}	-ΔG ⁰ _{ж-г}	ΔH ⁰ _{ж-г}	ΔS ⁰ _{ж-г} , Дж/(моль·К)
		кДж/моль			
(C ₈ H ₁₇) ₂ NH ₂ Cl	298	23.22	24.87		134
	310		26.37	15.12	134
	318		27.63		134
(C ₁₀ H ₂₁) ₂ NH ₂ Cl	298	24.29	31.04		155
	310		32.40	15.24	154
	318		33.99		155

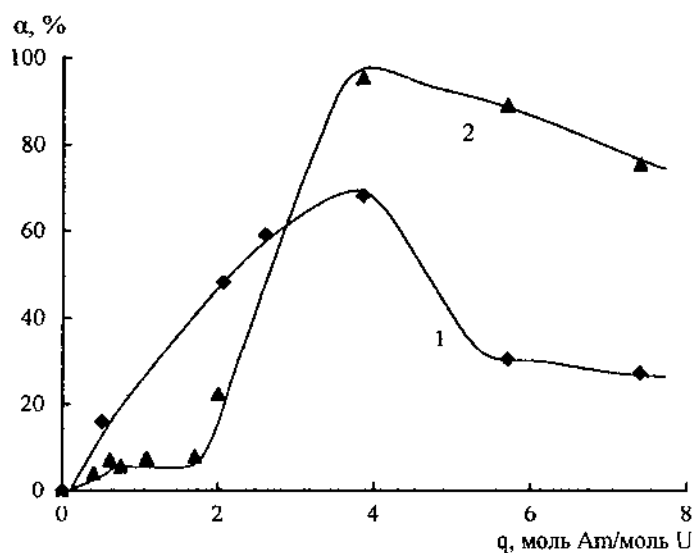


Рис. 4. Влияние расхода (q) хлоридов диоктил- (1) и дидециламмония (2) на степень (α) флотационного выделения урана (VI) в форме осадка первого рода.

лорода, входящие в состав уранильной группы, также способные к образованию водородных связей с молекулами (ионами) исследуемых адсорбатов.

Очевидно, что такое взаимодействие адсорбата и адсорбента сопровождается гидрофобизацией поверхности адсорбента вследствие ориентации молекул адсорбата полярной группой к гидрофильной поверхности адсорбента, а углеводородными радикалами — к водной фазе.

Таким образом, на основании проведенных исследований и расчетов можно сделать вывод о том, что адсорбция хлоридов диалкиламмония на поверхности гидроксида уранила термодинамически выгодна, носит химический характер. Этот факт, наряду с гидрофобизацией поверхности гидроксида уранила данными ПАВ, позволяет предположить, что хлориды диалкиламмония могут быть использованы в качестве эффективных флотационных собирателей гидроксида уранила, что подтверждено нами экспериментально (рис. 4). Максимальная степень флотационного выделения урана наблюдается при добавлении 3.6 моль ХДАА на 1 моль находящегося в растворе урана и составляет 65 % в случае использования в качестве собирателя хлорида диоктиламмония и 92 % — в случае использования в качестве собирателя хлорида дидециламмония. Сопоставление результатов исследования (рис. 2, табл. 2 и рис. 4) показало, что наблюдается корреляция между адсорбцией хлоридов диалкиламмония

свежеосажденным гидроксидом уранила и эффективностью флотационного выделения урана в форме осадка первого рода.

При добавлении к растворам, содержащим свежеосажденный гидроксид уранила, все возрастающих количеств хлоридов диалкиламмония степень флотационного выделения урана из них сначала повышается (в связи с увеличением количества адсорбированного ПАВ), а затем уменьшается (в связи с повышенным пенообразованием растворов и конкуренцией за место на поверхности пузырьков воздуха между частицами гидроксида уранила, адсорбированного ПАВ, и ионами собирателя).

В заключение отметим, что флотационное выделение урана (VI) с помощью ХДАА в форме осадка первого рода более эффективно, чем в форме осадка второго рода [14], так как достигается более высокая степень флотационного выделения урана (VI) при меньшем расходе ПАВ.

РЕЗЮМЕ. Вивчено адсорбцію хлоридів діалкіламонію свіжоосадженим гідроксидом уранілу. Зроблено спробу описати експериментальні ізотерми адсорбції деякими відомими адсорбційними рівняннями (Генрі, Ленгмюра, Хілла-де Бура, Харкінса-Юра). Розраховані константи цих рівнянь і термодинамічні характеристики адсорбційного процесу. Встановлено, що адсорбція має хімічний характер. Запропоновано механізм адсорбції. Знайдено, що спостерігається кореляція між адсорбцією хлоридів діалкіламонію свіжоосадженим гідроксидом уранілу та ефективністю флотационного вилучення урану у формі осаду першого роду.

SUMMARY. Dialkylammonium chlorides adsorption by freshly precipitated uranyl hydroxide has been studied. An attempt to describe the experimental adsorption isotherms by some known adsorption equations (Henry, Langmuir, Hill-de Boer, Harkins-Jura) has been made. These equations constants and the adsorption process thermodynamic characteristics were calculated. It has been found that adsorption has chemical nature. The adsorption mechanism has been offered. It has been established that correlation between dialkylammonium chlorides adsorption by freshly precipitated uranyl hydroxide and the efficiency of the uranium flotation allocation in the form of the first sort precipitate was observed.

1. Бахуров В.Г., Луценко И.К., Шапкина И.Н. Радиоактивные отходы урановых заводов. -М.: Атомиздат, 1965.
2. Вдовенко В.М. Химия урана и трансураниевых

- элементов. -М.: Изд-во АН СССР, 1960.
3. *Гольман А.М.* Ионная флотация. -М.: Недра, 1982.
 4. *Гольман А.М.* Современное состояние и перспективы развития теории флотации. -М.: Наука, 1979.
 5. *Кузькин С.Ф., Гольман А.М.* Флотация ионов и молекул. -М.: Недра, 1971.
 6. *Марков В.К., Верный Е.А., Виноградов А.В.* Уран и методы его определения. -М.: Атомиздат, 1964.
 7. *Накамото К.* Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. -М.: Мир, 1966.
 8. *Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.И.* Поверхностно-активные вещества: синтез, анализ, свойства, применение. -Л.: Химия, 1988.
 9. *Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии* / Под ред. Ю.Г. Фролова, А.С. Гродского. -М.: Химия, 1986.
 10. *Адсорбция* из растворов на поверхностях твердых тел / Под ред. Г. Парфита, К. Рочестера. -М.: Мир, 1986.
 11. *Когановский А.М., Клименко Н.А.* Физико-химические основы извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов и сточных вод. -Киев: Наук. думка, 1978.
 12. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии. -Л.: Химия, 1984.
 13. *Хан Г.А., Габриелова Л.И., Власова Н.С.* Флотационные реагенты и их применение. -М.: Недра, 1986.
 14. *Менчук В.В.* Дисс. ... канд. хим. наук. -Одесса, 1983.

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова

Поступила 17.01.2005