

УДК 544.77:543.395:542.61

А. А. Мазурик, Е. А. Стрельцова, В. В. МенчукОдесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
кафедра физической и коллоидной химии, ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082,
E-mail: elen_streltsova@onu.edu.ua**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОГЕННЫХ
И НЕИОНОГЕННЫХ (ТВИНЫ) ПАВ ИЗ ИХ БИНАРНЫХ
ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

Изучены коллоидно-химические закономерности флотационного извлечения ионогенных и неионогенных (Твины) поверхностно-активных веществ (ПАВ) из их индивидуальных и бинарных водных растворов. Показано, что Твины целесообразно извлекать из водных растворов методом пенного фракционирования во всем интервале значений рН среды, катионные и анионные ПАВ – в кислой и щелочной среде, при концентрации растворов, не превышающей 100 мг/дм³. Меняя значение рН раствора, содержащего Твины и ДДСН, Твины и ХДДП можно добиться преимущественного извлечения одного из них. Скорость извлечения неионогенного ПАВ (Твины) больше скорости извлечения ионогенных ПАВ (ДДСН, ХДДП) из индивидуальных и эквимольных бинарных растворов.

Ключевые слова: флотация, поверхностно-активное вещество, Твины, хлорид додецилпиперидиния, додецилсульфат натрия

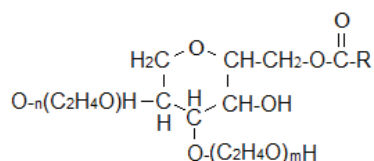
Химическими предприятиями ежегодно выбрасывается в водоемы более 100 тыс. тон поверхностно-активных веществ (ПАВ). Поэтому необходимость очистки сточных вод от ПАВ очевидна [1]. Специфические свойства ПАВ вызывают серьезные затруднения при очистке сточных вод. Выбор метода очистки от того или иного вида ПАВ зависит от их химической природы и концентрации в сточных водах, от наличия в водных стоках органических и неорганических примесей. Эффективным методом для удаления из сточных вод ПАВ является флотация. Достоинством флотации является непрерывность процесса, широкий диапазон применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простота аппаратуры, селективность выделения примесей по сравнению с отстаиванием, большая скорость процесса, высокая степень очистки (95-98%), возможность рекуперации удаляемых веществ [2].

Применяемые в промышленности и быту технические ПАВ обычно представляют собой сложные многокомпонентные системы. Особенностью таких систем является отличие физико-химических свойств от свойств индивидуальных ПАВ, входящих в их состав. Известны работы по флотационному выделению ПАВ из бинарных растворов, содержащих отдельные компоненты в несоизмеримых количествах, т.е. один из компонентов (ПАВ) рассматривается как примесь [3]. Исследований по флотационному выделению ПАВ, содержащихся в бинарном растворе в соизмеримых количествах, которые соответствуют реально существующим растворам, почти не проводилось [4 – 6].

Настоящая работа является продолжением наших исследований, указанных выше систем, и посвящена комплексному изучению закономерностей флотационного извлечения ионогенных и неионогенных (Твины) ПАВ из их индивидуальных и бинарных водных растворов с целью обеспечения максимально возможного извлечения ПАВ из разбавленных водных растворов и сточных вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве ионогенных ПАВ использовали: анионное ПАВ – додецилсульфат натрия (ДДСН) $C_{12}H_{25}OSO_3Na$, катионное ПАВ – хлорид додецилпиридиния (ХДДП) $[C_{12}H_{25}NC_5H_5]Cl$. Выбор в качестве неионогенных ПАВ Твинов одного гомологического четного и нечетного ряда со средним числом оксиэтильных групп 20 ($n + m = 20$): Твин-20, Твин-40, Твин-80 был обусловлен их широким использованием в фармацевтической и пищевой промышленности [7]. Твины имеют следующее строение:



и содержат в своем составе по 20 оксиэтильных группировок ($m+n$) с длиной углеводородного радикала (-R) – $-C_{12}H_{25}$, $-C_{15}H_{31}$ и $-C_{17}H_{33}$ соответственно.

Растворы бинарных смесей ДДСН, ХДДП и Твинов получали смешиванием индивидуальных растворов ПАВ, которые готовили из препаратов фирмы “Acros Organic” марки “ч.д.а.” без дополнительной очистки на дистиллированной воде, и последующим их разбавлением. Величину pH растворов ПАВ контролировали с помощью универсального иономера АНИОН 4101 со стеклянным электродом и изменяли прибавлением растворов HCl и NaOH с концентрацией 0,1 моль/дм³.

Флотационную обработку растворов индивидуальных ДДСН, ХДДП ($C_0 = 50$ мг/дм³) и их бинарных растворов с Твином (Tw-20, Tw-40, Tw-80) осуществляли на лабораторной пневматической установке, основным элементом которой была стеклянная колонка [4]. При коэффициенте надежности 0,95 погрешность результатов измерения степени флотационного извлечения ПАВ не превышала 3-5%. Объем раствора ПАВ, заливаемого в колонку, равнялся 50 см³. Время флотационной обработки ПАВ-содержащих растворов, необходимое для максимально возможного выделения индивидуальных ПАВ составляло 25-30 мин. Продолжительность флотации бинарных растворов разного состава сокращалась до 15 мин. При этом объем пенного продукта независимо от состава бинарного раствора ПАВ снижался в среднем с 10% до 3-5%. Остаточное содержание ДДСН, ХДДП и Твинов в отработанных растворах анализировали колориметрическим методом по методикам [8, 9].

Эффективность проведения процесса флотации оценивали по степени извлечения ПАВ из водных растворов (α , %) и степени перехода раствора ПАВ (β , %) в пенную фракцию:

$$\alpha = [(C_0 - C)/C_0] \times 100, \quad (1) \quad \beta = [(V_0 - V)/V_0] \times 100, \quad (2)$$

где C_0 , C и V_0 , V – концентрация ПАВ в растворе и объем раствора соответственно до (C_0 , V_0) и после (C , V) флотационной обработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Исследование возможных механизмов взаимодействия Твинов с ДДСН или ХДДП в широком диапазоне значений pH среды является важным в силу того, что

очищаемые технологические водные растворы и сточные воды предприятий, содержащих ПАВ, имеют разные значения pH. Поэтому было изучено влияние pH среды (значения pH среды изменяли от 2 до 12) на извлечение исследуемых ПАВ из индивидуальных и бинарных эквимольных водных растворов.

Из экспериментальных данных, представленных на рис. 1, 2 видно, что Твины (неионогенные ПАВ) как и следовало ожидать, не являются чувствительными к изменению кислотности среды.

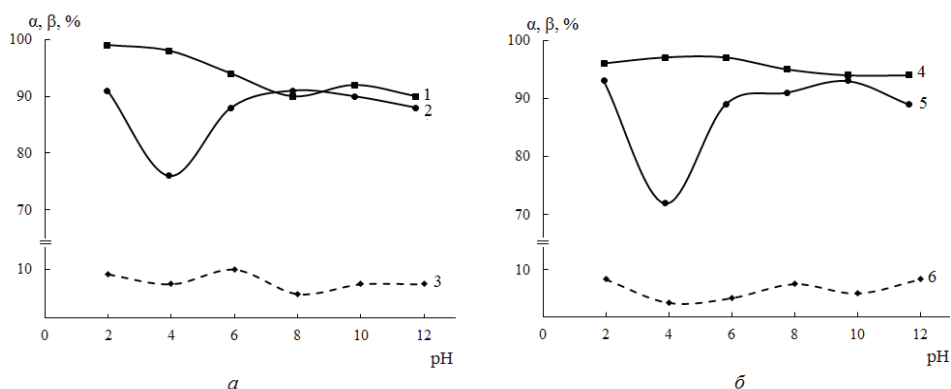


Рис. 1. Влияние pH среды на степень (α) флотационного извлечения из бинарных эквимольных растворов Твин – ДДСН: а – Твин-20 (1), ДДСН (2) и степень перехода раствора (β) в пену (3); б – Твин-80 (4), ДДСН (5) и степень перехода раствора (β) в пену (6) Температура 20°C

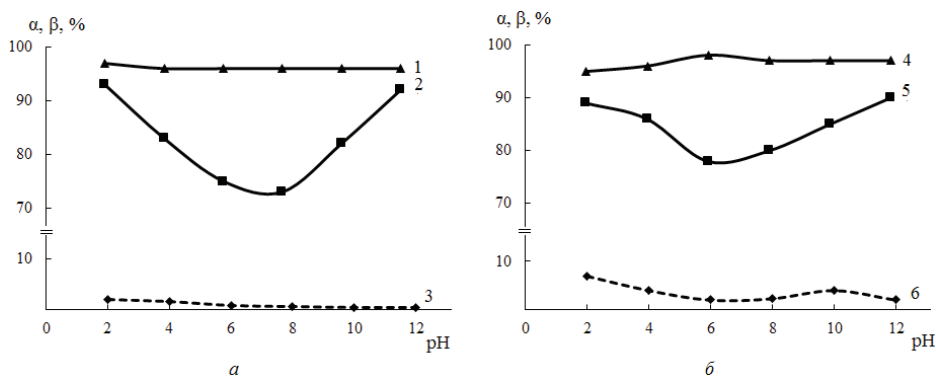


Рис. 2. Влияние pH среды на степень (α) флотационного извлечения из бинарных эквимольных растворов Твин – ХДДП: а – Твин-40 (1), ХДДП (2) и степень перехода раствора (β) в пену (3); б – Твин-80 (4), ХДДП (5) и степень перехода раствора (β) в пену (6) Температура 20 °C

Характер изменения степени флотационного извлечения Твина-20, Твина-40, Твина-80 из бинарных водных растворов с ДДСН или ХДДП аналогичен характеру изменения степени извлечения неионогенных ПАВ из индивидуальных водных растворов от значений pH среды с одной только разницей, что извлечение неионогенных ПАВ увеличивается с учетом ошибки метода флотации во всем интервале значений pH среды и достигает 92-98 %, 95-98 %, 92-96 % (Твин-20), (Твин-40) и (Твин-80) соответственно.

Это связано с тем, что оксониевая форма существования неионогенных ПАВ в кислой среде [7] вследствие незначительного ее содержания в растворе, а также вследствие наличия в молекулах Твина длинного углеводородного радикала не влияет на их способность адсорбироваться на поверхности всплывающих пузырьков воздуха (поверхностная активность Твинов во всем диапазоне pH среды мало изменяется), а, следовательно, и на степень извлечения Твинов.

ХДДП лучше извлекается из бинарных водных растворов с Твинами в сильнокислой (pH 2) и сильнощелочной (pH 12) средах. Область значений pH, оптимальных для флотационного извлечения ХДДП (обеспечивающее максимальное извлечение), совпадает с областью, где максимально снижается поверхностное натяжение растворов. Минимум его флотационного извлечения наблюдается в интервале значений pH среды 6 – 8 (рис. 2 – кривые 2, 5). Степень перехода раствора в пенную фракцию для смешанных систем Твин – ХДДП несколько уменьшается при смещении значений pH среды в щелочную область на 2-5% (рис. 2 – кривые 3, 6).

При извлечении ДДСН (как соль сильного основания и сильной кислоты ДДСН не подвергается гидролизу) из индивидуальных водных растворов максимум флотационного извлечения наблюдается в кислой ($C_{12}H_{25}OSO_3H$) и щелочной ($C_{12}H_{25}OSO_3^-$) средах, что соответствует его максимальной поверхностной активности. Аналогичная картина происходит и при извлечении ДДСН из эквимольных бинарных водных растворов с Твинами. Однако в довольно широком диапазоне значений pH среды степень его флотационного извлечения из бинарных растворов по сравнению с извлечением из индивидуальных растворов в зависимости от значений pH увеличивается на $\approx 15\%$. Минимум флотационного извлечения ДДСН наблюдается в интервале значений pH среды 3 – 5 (рис. 1 – кривые 2, 5). Это предположительно можно объяснить влиянием концентрации ионов водорода на величину адсорбционно-мицеллярного энергетического соотношения (АМЭС) ПАВ, представляющего собой отношение свободной энергии адсорбции ($\Delta G_{\text{Адс}}^0$) ПАВ на поверхности раствора к свободной энергии мицеллообразования ($\Delta G_{\text{Миц}}^0$):

$$\text{АМЭС} = \frac{\Delta G_{\text{Адс}}^0}{\Delta G_{\text{Миц}}^0} \quad (3)$$

Наибольшей флотационной активностью обладают ПАВ, АМЭС которых равно или близко к 1 [10]. При значении pH среды меньше 5 уменьшается значение АМЭС, и процесс адсорбции на границе раздела фаз раствор – воздух, обуславливающий пенообразование, а, следовательно, и флотационное извлечение ДДСН, будет термодинамически менее выгоден, чем процесс мицеллообразования, затрудняющий пенообразование. В области значений pH 5 – 12 степень флотационного извлечения практически постоянна (здесь АМЭС близко к 1).

В эквимольярных бинарных растворах Твин – ДДСН при любых значениях рН среды в пенную фракцию переходит преимущественно то ПАВ, которое имеет большую поверхностную активность (рис. 1, табл. 1). В бинарном растворе Твин-20 – ДДСН в интервале значений рН 2 – 6 пенная фракция содержит больше Твина-20, чем ДДСН, а в интервале значений рН 8 – 10 – ДДСН. При значении рН 12 пенная фракция, образующаяся в процессе флотационной обработки бинарных растворов Твина-20 и ДДСН с эквимольярным соотношением компонентов, содержит одинаковое количество Твина-20 и ДДСН. Другими словами, в последнем случае флотационная обработка бинарных растворов приводит к образованию эквимольярной по ПАВ пенной фракции и разделение Твина и ДДСН не происходит. В бинарных же растворах Твин-80 – ДДСН во всем интервале значений рН среды пенная фракция обогащена Твином-80.

Таблица 1

Влияние значений рН среды на величину коэффициента флотационного разделения Твина и ДДСН из их бинарных растворов

рН	К	
	Твин-20 – ДДСН	Твин-80 – ДДСН
2	5,1	1,5
4	7,9	6,6
6	1,1	2,4
8	0,5	1,9
10	0,7	1,4
12	1,0	3,0

Меняя значение рН раствора, содержащего Твины (Твин-20, Твин-80) и ДДСН, можно добиться преимущественного выделения одного из них – Твина. Сказанное подтверждает рис. 1 и табл. 1, из которых следует, что пенная фракция растворов, содержащих Твины и ДДСН, при рН 4 обогащена Твином-20 в случае бинарных растворов Твин-20 – ДДСН и Твином-80 в случае бинарных растворов Твин-80 – ДДСН.

Механизм взаимодействия Твинов с ДДСН достаточно сложный. Можно предположить, что в кислой среде возможна координация протонированной полиоксиэтиленовой цепи около додецилсульфат-иона. В области нейтральных значений рН среды протонизация полиоксиэтиленовой цепи мала и соответственно, исключена в щелочной среде. Наиболее вероятный механизм взаимодействия в нейтральной, слабощелочной и щелочной (рН 7 – 11) средах заключается в ассоциации неионогенными ПАВ противоионов анионного ПАВ – ионов натрия. Оксигильные цепи неионогенных ПАВ имеют незамкнутую линейную структуру, обладают большой гибкостью и поэтому могут обворачивать катионы натрия, образующиеся при диссоциации додецилсульфата натрия, Твины как бы превращаются в ассоциированные катионные ПАВ, которые способны к электростатическому взаимодействию с анионными ПАВ (с додецилсульфат- ионами) [11]. Наличие у

неионогенных ПАВ (Твин-20, Твин-80) двух оксиэтильных цепей, суммарная длина которых равна 20, способствует большему их взаимодействию с ДДСН и соответственно каждая молекула Твина может взаимодействовать не с одним, а с двумя додецилсульфат-ионами. Такое взаимодействие сводится как к образованию водородной связи между полярными группами, гидрофобного взаимодействия, обусловленного неполярными фрагментами ПАВ, так и к образованию поверхностно-активных по сравнению с индивидуальными компонентами «комплексов» $[\text{Me}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n]^+$ и $[\text{Me}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_m]^+$ (при условии, что $n+m=20$).

При выборе оптимальных технологических параметров проведения флотации ПАВ необходимо также учитывать кинетику процесса [12 – 14].

Проведенное формальное изучение кинетики флотационного извлечения Твинов и ДДСН из бинарных растворов (рис. 3) показало, что при незначительном изменении поверхностного натяжения кинетика процесса описывается уравнением, аналогичным уравнению химической реакции первого порядка [15, 16]:

$$\lg(a - \alpha) = \lg a - \frac{K}{2,3}t, \quad (4)$$

где α – количество ПАВ (%), флотируемого за время t ; a – максимальное (при данных условиях опытов) количество ПАВ (%), переходящее в пену; K – константа скорости процесса.

Уравнение (4) позволяет графически определить величину константы скорости, которая является одной из характеристик флотационного извлечения ПАВ. Значения констант скорости флотации Твинов, ДДСН, ХДДП из смешанных водных растворов достаточно велики и зависят как от природы ионогенного ПАВ, так и от строения Твина (табл. 2, 3).

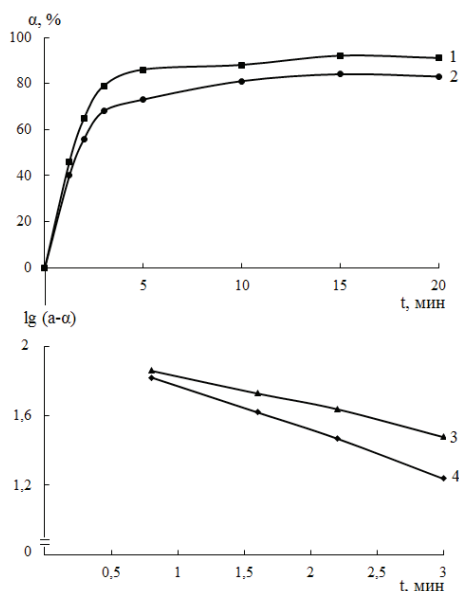


Рис. 3. Кинетика флотационного извлечения Твин-20 (1,4) и ДДСН (2,3) из бинарного эквимолярного раствора. Температура, 20 °С, рН раствора 5,6

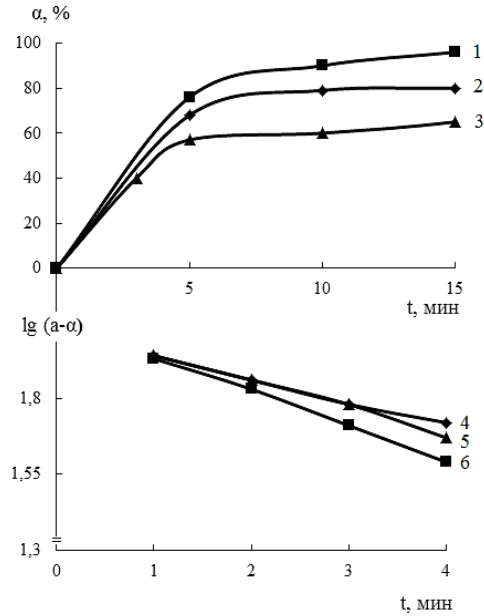


Рис. 4. Кинетика флотационного извлечения ХДЦП из индивидуального раствора (3, 4); Твина-40 (1, 6) и ХДЦП (2, 5) из бинарного раствора
Температура, 20 °С, рН раствора 6

Таблица 2

Значения констант скорости процесса флотационного извлечения Твинов и ДДСН из бинарных эквимольных растворов

	ДДСН	Твин-20 – ДДСН		Твин-40 – ДДСН		Твин-80 – ДДСН	
		Твин-20	ДДСН	Твин-40	ДДСН	Твин-80	ДДСН
$K \cdot 10^1, \text{мин}^{-1}$	1,25	7,5	4,78	9,1	4,7	9,6	6

Время, необходимое для максимального извлечения Твинов и ДДСН из бинарного раствора сокращается по сравнению с индивидуальными растворами и составляет $\approx 2-3$ мин, а для извлечения Твинов и ХДЦП из их бинарного раствора – 5-7 мин при скорости подачи воздуха $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 3

Значения констант скорости процесса флотационного извлечения Твинов и ХДЦП из бинарных эквимольных растворов

	ХДЦП	Твин-40 – ХДЦП		Твин-80 – ХДЦП	
		Твин-40	ХДЦП	Твин-80	ХДЦП
$K \cdot 10^1, \text{мин}^{-1}$	1,7	5,6	2,1	8,7	5,2

Скорость извлечения неионогенных ПАВ (Твины) больше скорости извлечения ионогенных ПАВ (ДДСН, ХДДП) как из индивидуальных, так и из бинарных растворов. Скорость извлечения катионного ПАВ (ХДДП) больше, чем скорость извлечения анионного ПАВ (ДДСН) из индивидуальных растворов. Разница существует и в скоростях флотационного извлечения ПАВ одного типа (как катионного, так и анионного), которая зависит от их химического строения [15, 16]. Значения констант скорости флотации увеличиваются в $\approx 3,5 - 5$ раза для ДДСН при извлечении их из бинарных растворов Твин – ДДСН по сравнению с извлечением из индивидуальных растворов; в $\approx 1,5 - 3$ раза для ХДДП при извлечении их из бинарных растворов Твин – ХДДП.

Таким образом, изучение коллоидно-химических закономерностей процесса извлечения исследуемых ПАВ из индивидуальных и эквимольных бинарных растворов показало, что Твины целесообразно извлекать из водных растворов методом пенного фракционирования во всем интервале значений pH среды, катионные и анионные ПАВ – в кислой и щелочной среде, при концентрации растворов, не превышающей 100 мг/дм^3 . Меняя значение pH раствора, содержащего Твины и ДДСН, Твины и ХДДП можно добиться преимущественного извлечения одного из них. Скорость извлечения неионогенных ПАВ (Твины) больше скорости извлечения ионогенных ПАВ (ДДСН, ХДДП) из индивидуальных и эквимольных бинарных растворов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдин А.А. Химическое загрязнение природных вод // Мир химии. – 2004. – № 9. – С. 23.
2. Свиридов В.В., Свиридов А.В., Никифоров А.Ф. Физико-химические основы процессов микрофлотации. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГЛТУ: ГОУ ВПО УГЛТУ, 2006. – 578 с.
3. Швердяев О.Н., Белов П.С., Шнитов А.М. Поверхностно-активные вещества. Свойства, технология, применение, экологические проблемы / Под ред. д.т.н., проф. П. С. Белова. – М.: Изд-во ВЗПИ. – 1992. – 171 с.
4. Стрельцова Е.А., Гросул А.А., Воловач О.В. Интенсификация флотационного извлечения неионогенных поверхностно-активных веществ // Вісник ОНУ. Хімія. – 2013. – Т. 17, № 4. – С. 34-41.
5. Стрельцова Е.А., Воловач О.В., Гросул А.О. Спосіб очистки води від іоногенних поверхнево-активних речовин // Винахідник і раціоналізатор. – 2015. – № 4. – С. 22-25.
6. Стрельцова Е.А., Гросул А.А., Попова И.В. Спосіб очищення води від сумішей неіоногенної та аніонної поверхнево-активних речовин // Патент на винахід №111787 від 10.06.2016 р. (Бюл. № 11).
7. Саввин С.Б. Поверхностно-активные вещества. – М.: Наука, 1991. – 250 с.
8. Штыков С.Н., Сумина Е.Г., Чернова Р.К., Лемешкина Н.В. Новый экспрессный метод раздельного определения неионных и анионных поверхностно-активных веществ в сточных водах // Журн. аналит. химии – 1985. – Т. 11, № 5. – С. 907- 910.
9. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. – М.: Химия, 1973. – 376 с.
10. Стрельцова Е.А. Физико-химические основы флотационного выделения ионогенных ПАВ: Дис.... докт. хим. наук: 02.00.23. – Одесса, 1997. – 434 с.
11. Плетнев М.Ю. Мицеллообразование и специфические взаимодействия в водных растворах смесей ПАВ // Успехи коллоидной химии. – Л.: Химия. – 1991. – С. 60-82.
12. Когановский А.М., Клименко Н.А. Физико-химические основы извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов и сточных вод. – К.: Наукова думка, 1978. – 176 с.
13. Пушкарев В.В., Трофимов Д.И. Физико-химические особенности очистки сточных вод от ПАВ. – М.: Химия, 1975. – 144 с.
14. Стрельцова О.О. Фізико-хімічні основи процесу флотаційного виділення іоногенних поверхнево-активних речовин із водних розчинів та стічних вод / Одес. держ. ун-т. – Одеса: Астропринт, 1997. – 140 с.
15. Стрельцова Е.А., Хромышева Е.А. Флотационное выделение пеназолина из водных растворов и сточных вод // Вопр. химии и хим. технол. – 2000. – № 1. – С. 233-235.
16. Стрельцова Е.А., Хромышева Е.А. Флотационное выделение катионных ПАВ // Химия и технол. воды. – 2000. – Т. 22, № 3. – С. 259-267.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2017

А. О. Мазурик, О. О. Стрельцова, В. В. Менчук

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра фізичної та колоїдної хімії, вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082,
E-mail: elen_streltsova@onu.edu.ua

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИЛУЧЕННЯ ІОНОГЕННИХ І НЕІОНОГЕННИХ (ТВІНИ) ПАР З ЇХ БІНАРНИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

Вивчені закономірності флотаційного вилучення іоногенних і неіоногенних (Твіни) поверхнево-активних речовин (ПАР) з їх індивідуальних і бінарних водних розчинів. Показано, що Твіни доцільно вилучати з водних розчинів методом пінного фракціонування у всьому інтервалі значень рН середовища, катіонні та аніонні ПАР – в кислому та лужному середовищі, при концентрації розчинів, яка не перевищує 100 мг/дм³. Змінюючи значення рН розчину, що містять Твіни і ДДСН, Твіни і ХДДП можна досягти переважного вилучення одного з них. Швидкість вилучення неіоногенних ПАР (Твіни) більша за швидкість вилучення іоногенних ПАР (ДДСН, ХДДП) з індивідуальних та еквімолярних бінарних розчинів.

Ключові слова: флотація, поверхнево-активна речовина, Твіни, хлорид додецил-піридинію, додецилсульфат натрію

A. A. Mazuryk, E. A. Streltsova, V. V. Menchuk

I. I. Mechnikov Odessa National University, Department of Physical and Colloidal
Chemistry, 2, Dvoryanskaya St., Odessa, 65082. Ukraine
E-mail: elen_streltsova@onu.edu.ua

REGULARITIES OF EXTRACTION OF IONIC AND NONIONIC SURFACTANTS FROM THEIR BINARY AQUEOUS SOLUTIONS

The regularities of the flotation extraction of ionic surfactants – sodium dodecyl sulfate; Dodecylpyridinium chloride and nonionic surfactants – Twins (Tween-20, Tween-40, Tween-80) from their binary equimolar aqueous solutions under conditions of varying the acidity of the medium from 2 to 12 have been experimentally studied. Possible mechanisms for the interaction of surfactants of various types in a wide range of pH values of the medium are proposed. Studies have shown that Twins are not sensitive to a change in the acidity of the medium, their extraction from binary solutions with sodium dodecyl sulfate and Dodecylpyridinium chloride increases over the entire pH range of the medium and reaches 92-98%. Dodecylpyridinium chloride is best extracted from binary aqueous solutions with Twins in strong acid (pH 2) and strong alkaline (pH 12) media. In a wide range of pH values of the medium, the degree of flotation extraction of sodium dodecyl sulfate from binary solutions is increased by about 15% as compared to its extraction from an individual solution. The maximum of flotation extraction of sodium dodecyl sulfate from both individual and equimolar binary aqueous solutions with Twins is observed in acidic (pH 7) and alkaline (pH 7-10) media. The coefficient of flotation separation for binary solutions of Tween-sodium dodecyl sulfate is calculated, it which shows exactly how the surfactant is enriched with a foam fraction at a certain pH value. The formal study of the kinetics of flotation extraction of surfactants allowed to calculate the rate constant of the process and to establish the optimal flotation time. The time required for the maximum extraction of Twins and sodium dodecyl sulfate from the binary solution has reduced in comparison with individual solutions and it is about 2-3 minutes, and for extraction of Twins and Dodecylpyridinium chloride from their binary solution it is 5-7 minutes. The values of the rate constants of flotation are increased

by 2-5 times for Twins, 3,5-5 times for sodium dodecyl sulfate when they are extracted from binary solutions of Tween- sodium dodecyl sulfate as compared to extraction from individual solutions; \approx 1,5 – 3 times for Twins and 1,5 – 3 times for Dodecylpyridinium chloride when they are extracted from binary solutions of Twin – Dodecylpyridinium chloride. The obtained results can be used in the selection of optimal technological parameters for flotation of ionic and non-ionic surfactants.

Keywords: flotation, surfactant, Twins, Dodecylpyridinium chloride, sodium dodecyl sulfate

REFERENCES

1. Boldin A.A. *Himicheskoe zagryaznenie prirodnyh vod* Mir himii, 2004, no 9, pp. 23. (in Russian)
2. Sviridov V.V., Sviridov A.V., Nikiforov A.F. *Fiziko-himicheskie osnovy processov mikroflotaci*. Ekaterinburg: GOU VPO UGLTU: GOU VPO UGLTU, 2006, 578 p. (in Russian)
3. Sheverdjaev O.N., Belov P.S., Shnitov A.M. *Poverhnostno-aktivnye veshhestva. Svoystva, tehnologija, primenenie, jekologicheskie problem*. Pod red. d.t.n., prof. P.S. Belova. Moscow. Izd-vo VZPI, 1992, 171 p. (in Russian)
4. Streltsova E.A., Grosul A.A., Voljuvach O.V. *Intensifikacija flotacionnogo izvlechenija neionogennyh poverhnostno-aktivnyh veshhestv*. Visn. Odes. nac. univ., Him., 2013, vol.17, no. 4, pp. 34-41. (in Ukrainian)
5. Streltsova E.A., Voljuvach O.V., Grosul A.A. *Sposib ochistki vodi vid ionogennyh poverhnevo-aktivnyh rechovin*. Vinahidnik i racionalizator, 2015, no 4, pp. 22-25.
6. Streltsova E.A., Grosul A.A., Popova I.V. *Sposib ochishhennja vodi vid sumishej neionogennoi ta anionnoi poverhnevo-aktivnyh rechovin* Patent na vinahid № 111787 vid 10.06.2016 r. Bjul. № 11. (in Ukrainian)
7. Savvin S.B. *Poverhnostno-aktivnye veshhestva*. Moscow. Nauka, 1991, 250 p. (in Russian)
8. Shtykov S.N., Sumina E.G., Chernova R.K., Lemeshkina N.V. *Novyj jekspressnyj metod razdel'nogo opredelenija neionnyh i anionnyh poverhnostno-aktivnyh veshhestv v stochnyh vodah*. Zhurn. analit. himii., 1985, vol. 11, no 5, pp. 907. (in Russian)
9. Lur'e Ju.Ju. *Unificirovannye metody analiza vod*. Moscow. Himija, 1973, 376 p. (in Russian)
10. Streltsova E.A. *Fiziko-himicheskie osnovy flotacionnogo vydelenija ionogennyh PAV*. Dis....dok. him. nauk: 02.00.23. Odessa, 1997, 434 p. (in Russian)
11. Pletnev M.Ju. *Micelloobrazovanie i specificheskie vzaimodejstvija v vodnyh rastvorah smesej PAV*. Uspehi kolloidnoj himii. Leningrad. Himija, 1991, pp. 60-82. (in Russian)
12. Koganovskij A.M., Klimenko N.A. *Fiziko-himicheskie osnovy izvlechenija poverhnostno-aktivnyh veshhestv iz vodnyh rastvorov i stochnyh vod*. Kiev. Naukova dumka, 1978, 176p. (in Russian)
13. Pushkarev V.V., Trofimov D.I. *Fiziko-himicheskie osobennosti ochistki stochnyh vod ot PAV*. Moscow. Himija, 1975, 144 p. (in Russian)
14. Streltsova O.O. *Fiziko-himichni osnovi procesu flotacijnogo vidlennja ionogennyh poverhnevo-aktivnyh rechovin iz vodnih rozchiniv ta stichnih vod*. Odes. derzh. un-t. Odesa. Astroprint, 1997, 140 p. (in Russian)
15. Streltsova E.A., Hromysheva E.A. *Flotacionnoe vydelenie penazolina iz vodnyh rastvorov i stochnyh vod*. Voprosy khimii i khimicheskoi tehnologii, 2000, no 1, pp. 233-235. (in Russian)
16. Streltsova E.A., Hromysheva E.A. *Flotacionnoe vydelenie kationnyh PAV* Himija i tehnologija vody, 2000, vol. 22, no 3, pp. 259-267. (in Russian)