

ФЛОТАЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ КАТИОННЫХ И НЕИОНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ИХ БИНАРНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

FLOTATION EXTRACTION OF CATIONIC AND NON-IONIC SURFACTANTS FROM THEIR BINARY AQUEOUS SOLUTIONS

Установлена принципиальная возможность, целесообразность и высокая эффективность флотационного извлечения катионных (хлорид додецилпиридиния) и неионогенных (Твины) поверхностно-активных веществ из их бинарных водных растворов с помощью флотореагентов (парафин, желатин). Введение в растворы ПАВ флотационного носителя — парафина, одновременно выполняющего функции адсорбента и собирателя, в количестве 0,5 мг на 1 мг ПАВ повышает степень флотационного извлечения хлорида додецилпиридиния из индивидуальных (на 20 %) и бинарных (на 8-17 %) растворов с Твинами. Оптимальное количество желатина, необходимое для максимального флотофлокуляционного извлечения Твина и хлорида додецилпиридиния из индивидуального раствора, составляет 0,5 мг на 1 мг Твина, 0,75 мг на 1 мг хлорида додецилпиридиния, а из бинарных растворов 1,5 мг на 1 мг ПАВ. Проведение флotosорбции или флотофлокуляции позволяет наиболее полно (почти на 100 %) извлечь хлорид додецилпиридиния и Твины из их бинарных водных растворов и избежать недостатков, присущих методу пенного фракционирования.

Ключевые слова: флотация, флotosорбция, флотофлокуляция, поверхностно-активное вещество, парафин

The principal possibility, expediency and high efficiency of flotation extraction of cationic (dodecylpyridinium chloride) and nonionic (Twins) surfactants from their binary aqueous solutions using flotation agents (paraffin, gelatin) was established. The introduction of a flotation vehicle (paraffin, simultaneously performing the functions of adsorbent and collector) into surfactant solutions in the amount of 0.5 mg per 1 mg of surfactant increases the degree of flotation extraction of dodecylpyridinium chloride from individual (by 20%) and binary (by 8-17%) solutions with Twins. The optimal amount of gelatin required for the maximum flotation flocculation of Tween and dodecylpyridinium chloride from an individual solution is 0.5 mg per 1 mg of Tween, 0.75 mg per 1 mg of dodecylpyridinium chloride, and from binary solutions is 1.5 mg per 1 mg of surfactant. Carrying out of flotosorption or flotoflocculation allows to extract (almost 100%) of dodecyl pyridinium chloride and Twins from their binary aqueous solutions and to avoid the drawbacks inherent in the method of foam fractionation

Key words: flotation, flotosorption, flotoflocculation, surfactant, paraffin

Е.А. Стрельцова*, доктор химических наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии химического факультета, Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Украина

А.А. Мазурик, аспирант химического факультета, Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Украина

В.В. Менчук, кандидат химических наук, доцент кафедры физической и коллоидной химии химического факультета, Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Украина

E.A. Streltsova*, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Physical and Colloid Chemistry of the Faculty of Chemistry, Odessa I.I. Mechnikov National University, Ukraine

A.A. Mazuryk, Postgraduate Student, Faculty of Chemistry, Odessa I.I. Mechnikov National University, Ukraine

V.V. Menchuk, Candidate of Chemistry, Associate Professor of the Department of Physical and Colloid Chemistry of the Faculty of Chemistry, Odessa I.I. Mechnikov National University, Ukraine

*Адрес для корреспонденции: elen_streltsova@onu.edu.ua

Е.А. Стрельцова и др. // № 8 август 2017. с. 80–87.

Введение

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) характеризуются гигиенической опасностью, связанной с ухудшением органолептических качеств воды, неблагоприятным влиянием на процессы самоочищения водоемов, способ-

ностью оказывать модифицирующее влияние на биологическую активность других, одновременно присутствующих в воде, загрязняющих веществ [1-3].

Кроме того, ПАВ, сбрасываемые с коммунальными и промышленными стоками на биологические очистные сооружения, оказывают

неблагоприятное воздействие на режим переработки сточных вод активным илом, проявляющееся в повышенном пенообразовании и угнетенном состоянии активного ила [4]. Поэтому в качестве главного критерия, регламентирующего поступления ПАВ в водоемы, используется их пенообразующая способность, определяемая санитарными службами органолептически, а минимальную концентрацию, при которой появляется пенообразование, принято считать предельно-допустимой концентрацией (**ПДК**) для водоемов [5]. Для биологических очистных сооружений четких рекомендаций для определения ПДК в настоящее время не имеется.

Результаты исследований [6-8] подтверждают принципиальную возможность удаления ПАВ из сточных вод методом пенообразования. Необходимо лишь найти оптимальные условия извлечения ПАВ из растворов и создать эффективную аппаратуру.

Одним из наиболее эффективных методов очистки сточных вод [9] от загрязняющих веществ является пропускание пузырьков воздуха через толщину воды. При этом достигается эффект фракционирования. Сущность метода извлечения ПАВ заключается в адсорбции на границе раздела раствор — газ и в непрерывном снятии поверхностного слоя. При этом необходимо соблюдение двух условий: 1) извлекаемые ПАВ должны обладать хорошими пенообразующими свойствами и 2) пена должна быть стабильной. Указанные требования, казалось бы, значительно сужают круг веществ, к которым может быть применен этот метод. Однако нужно учесть возможность выделения тех веществ, которые сами не образуют устойчивой пены, но благодаря взаимодействию с имеющимися в растворе ПАВ обладают способностью концентрироваться в пенном продукте.

Обсуждение границ применимости метода флотации, а также описание различных способов его осуществления и целевого назначения дано в работах [10-14].

Весьма перспективным направлением развития флотационной технологии очистки воды от ПАВ и других загрязняющих веществ является сочетание адсорбции на твердом носителе и флотации, либо флокуляции и флотации. При этом можно выделить два основных варианта: последовательный процесс, когда сначала частицы укрупняются за счет адсорбции или флокуляции, а затем подвергаются флотации, и параллельный процесс, когда флотация и адсорбция или флокуляция осуществляются практически одновременно. Показано, что при использовании турбулентной микрофлотации можно достичь извлечения загрязняющих веществ $\approx 85-95\%$ [15].

Анализ литературных данных показывает, что к настоящему времени накоплено достаточное количество работ по извлечению ПАВ анионного и неионогенного типа из индивидуальных и бинарных водных растворов методами адсорбции, флотации, флокуляции и их сочетанием [16-18]. Следует отметить, что наименее изученными остаются закономерности извлечения катионных и неионогенных ПАВ из бинарных растворов методом флотации. В связи с этим возникает необходимость в дальнейшем исследовании и разработке оптимальных условий процесса (состав раствора, природа и расход реагента, значения pH среды и др.) для обеспечения максимально высокой степени флотационного извлечения катионных и неионогенных ПАВ из бинарных водных растворов.

Цель данной работы — изучение закономерностей извлечения катионных (хлорид додецилпиридиния) и неионогенных (Твины) ПАВ из их индивидуальных и бинарных водных растворов флотосорбционным и флотофлокуляционным методами в сравнении с методом пенного фракционирования, и разработка на основе полученных данных эффективных способов очистки техногенных растворов и сточных вод, содержащих ПАВ.

Материалы и методы исследования

В качестве ионогенного ПАВ использовали катионное поверхностно-активное вещество (**КПАВ**) — хлорид додецилпиридиния (**ХДДП**) $[C_{12}H_{25}NC_5H_5]Cl$, неионогенных поверхностно-активных веществ (**НПАВ**) — Твины (Тw) одного гомологического четного и нечетного ряда со средним числом оксиэтильных групп 20 ($n+m=20$): Твин-20, Твин-40, Твин-60, Твин-80, широко применяемые в фармацевтической и пищевой промышленности [19].

Бинарные растворы ХДДП и Твина 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. Мольную долю Твинов (n) в бинарных водных растворах с ХДДП изменяли от 0,1 до 0,8.

В качестве флотационного носителя использовали парафин (1 % водную суспензию гомогенизированного парафина, полученную путем ультразвукового диспергирования с помощью УЗГ 13-01/22 с частотой стриктера 22 кГц в нагретой до $80\text{ }^{\circ}C$ дистиллированной воде, изготовленного Черкасским заводом химреактивов (ТУ В-09-4112-75)). Дисперсионный анализ образующихся при диспергировании суспензий

осуществляли с помощью микроскопа МБИ-11, снабженного сеткой Горяева и фотонасадкой [20]. Дисперсионный анализ показал, что частицы суспензии имеют сферическую форму и близки по размерам. Средний радиус частиц составляет $2 \cdot 10^{-5}$ м. Удельная поверхность частиц парафина $S_{уд}$, вычисленная по формуле

$$S_{уд} = \frac{S}{V \cdot \rho} = \frac{3}{r \cdot \rho}$$

где S , V , ρ , r — соответственно поверхность, объем, плотность и усредненный радиус частиц, равна $0,2$ м²/г. Электрокинетический потенциал частиц парафина, который определяли методом микроэлектрофореза, составлял 15 мВ [20].

Флокулянтom служил желатин, который относится к флокулянтам катионно-анионного типа, так как имеет в своем составе как кислотные ($-\text{COOH}$), так и основные ($-\text{NH}_2$) группы. 1 г желатина содержит приблизительно $1,13 \cdot 10^{-3}$ г/экв карбоксильных и $3,9 \cdot 10^{-4}$ г/экв аминогрупп.

Флотационную обработку индивидуальных и бинарных растворов ($C_0=50$ мг/дм³) ХДДП с Твинами (Тв-20, Тв-40, Тв-60, Тв-80) осуществляли на лабораторной пневматической установке, основным элементом которой была стеклянная колонка [15]. 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 извлечения индивидуальных ПАВ, составляло $15-30$ 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 ХДДП и Твинов в отработанных растворах анализировали колориметрическим методом по методикам [21, 22].

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

$$\alpha = [(C_0 - C)/C_0] \cdot 100, \quad (1)$$

$$\beta = [(V_0 - V)/V_0] \cdot 100, \quad (2)$$

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 и их обсуждение

Проведенные исследования показали (рис. 1, 2, кривые 2), что при небольшом содержании Твинов или при стехиометрическом соотношении ПАВ в растворе степень флотационного извлечения ХДДП из бинарных растворов с Твин-40 увеличивается на 10 %, а с Твин-80 — на $5-20$ %. При большом содержании Твинов в бинарном растворе наблюдается конкуренция исследуемых ПАВ при адсорбции на поверхности пузырьков воздуха и, следовательно, степень флотационного извлечения ХДДП снижается и становится равной степени его извлечения из индивидуального раствора.

Присутствие ХДДП в бинарных растворах с Твинами увеличивает и без того их высокую степень извлечения из индивидуальных водных растворов и составляет для Твин-40 96 %; для Твин-80 — 97 %. Степень флотационного извлечения Твинов из бинарных растворов с ХДДП при небольшом количестве КПАВ увеличивается на $5-7$ %, для ХДДП увеличение степени флотационного извлечения существеннее — на 20 %. Максимум флотационного извлечения ХДДП имеет место при соотношениях Твин-40: ХДДП= $0,2:0,8$ и $0,5:0,5$,

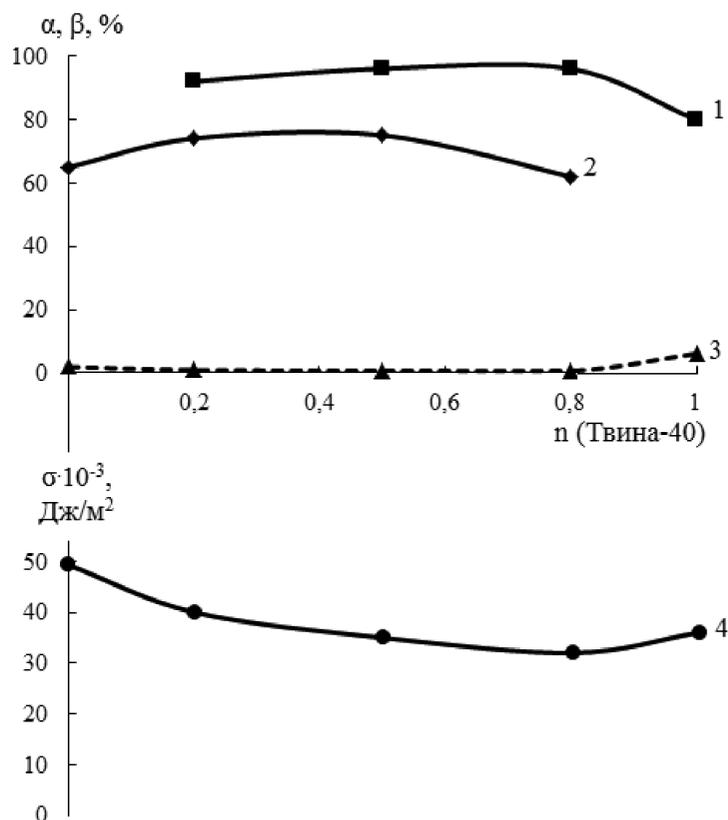


Рис. 1. Влияние состава бинарного раствора Твин-40 — ХДДП на: степень (α) флотационного извлечения Твин-40 (1), ХДДП (2); степень перехода раствора (β) в пену (3) и поверхностное натяжение (σ) (4). Температура, 20 °С, pH раствора 6 .

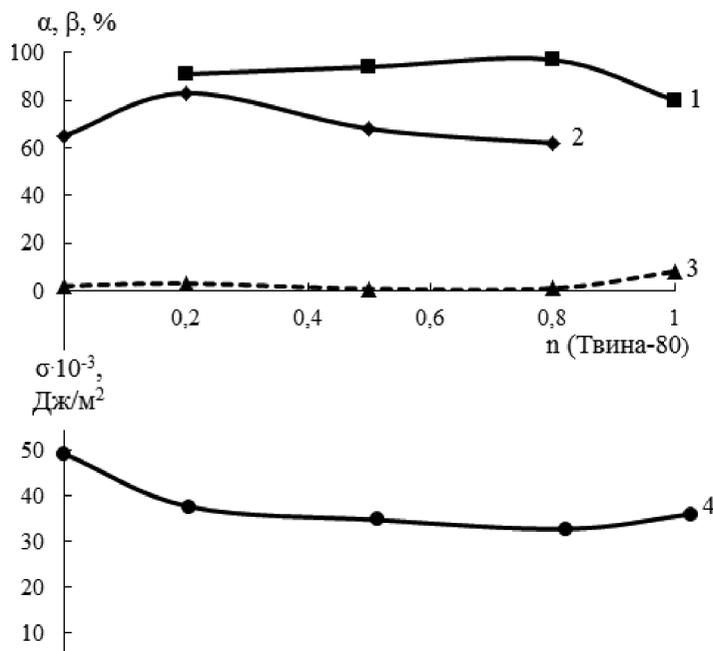


Рис. 2. Влияние состава бинарного раствора Твин-80 — ХДДП на: степень (а) флотационного извлечения Твин-80 (1), ХДДП (2); степень перехода раствора (β) в пену (3) и поверхностное натяжение (σ) (4). Температура, 20 °С, рН раствора 6.

Твин-80:ХДДП=0,2:0,8, а Твинов — при соотношениях Твин:ХДДП=0,2:0,8; 0,5:0,5 и 0,8:0,2. Это позволяет предположить, что ПАВ флотируются как в виде смешанных мицелл, состав которых разный и может отличаться от состава раствора [23], так и в виде комплексообразных соединений.

Экспериментально установлено, что в пенную фракцию наиболее полно переходят Твины, обладающие большей поверхностной активностью [24]. Изменение состава бинарного раствора Твин — ХДДП незначительно влияет на степень перехода раствора в пену — объем пенного продукта сокращается на $\approx 7\%$ (рис. 1, 2, кривые 3) и практически отсутствует в широком диапазоне соотношений ПАВ в растворе.

Поверхностное натяжение бинарных растворов ПАВ коррелирует с изменением степени флотационного извлечения исследуемых ПАВ. Для ХДДП при введении Твинов в бинарные растворы наблюдается синергетическое действие по отношению к поверхностному натяжению, которое проявляется в уменьшении значения последнего с 49,3 до 32 мДж/м². При мольной доле n (Твинов) в бинарных растворах с ХДДП больше 0,8 поверхностное натяжение смешанных растворов немного повышается (на 4 мДж/м²), что соответственно приводит к снижению степени флотационного извлечения НПАВ (рис. 1, 2, кривые 4).

Таким образом, найдена корреляция между степенью извлечения Твинов, ХДДП, поверх-

ностным натяжением смесей и составом бинарного раствора. Предположительно объяснен механизм процесса пенного фракционирования смесей НПАВ (Твины) и КПАВ (ХДДП). Для оптимального извлечения КПАВ из бинарного раствора с НПАВ рекомендованными соотношениями являются соотношения Твин:ХДДП=0,2:0,8; 0,5:0,5, а для Твинов (Твин-20, Твин-80) — все исследуемые соотношения компонентов. Это обстоятельство может быть учтено, например, для очистки разбавленных технологических водных растворов, содержащих соли алкилпиридиния с помощью небольшого количества Твинов.

На рис. 3 и 4 представлены результаты исследований, посвященные выяснению влияния добавок разного количества парафина (0,1 % водная суспензия в количестве 0,25–2,0 см³ на 25 см³ раствора ПАВ) на эффективность флотосорбционного извлечения Твинов и ХДДП из индивидуальных и бинарных водных растворов.

При введении парафина степень извлечения Твинов из бинарных растворов с ХДДП незначительно изменяется (для Твин-20 составляет 95–99 %; для Твин-40 — 96–99 %; для Твин-60 —

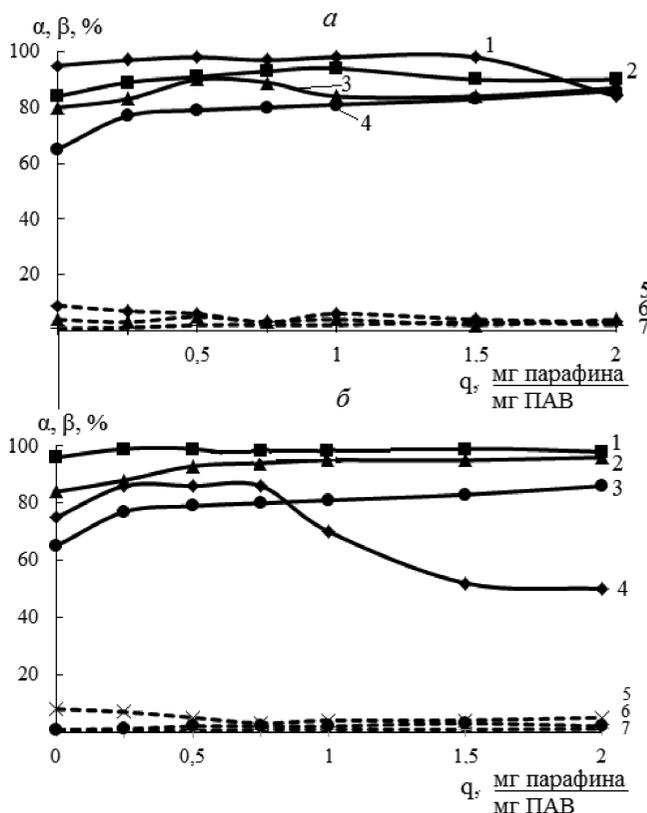


Рис. 3. Влияние расхода (q) парафина на степень (а) флотосорбционного извлечения: а — Твин-20 (2, 1), ХДДП (4, 3) и б — Твин-40 (2, 1), ХДДП (3, 4) из индивидуальных и бинарных растворов соответственно и степень перехода раствора (β) в пену Твин-20, Твин-40 (5) и ХДДП (7) из индивидуальных и бинарных (6) растворов. Температура, 20 °С, рН раствора 6.

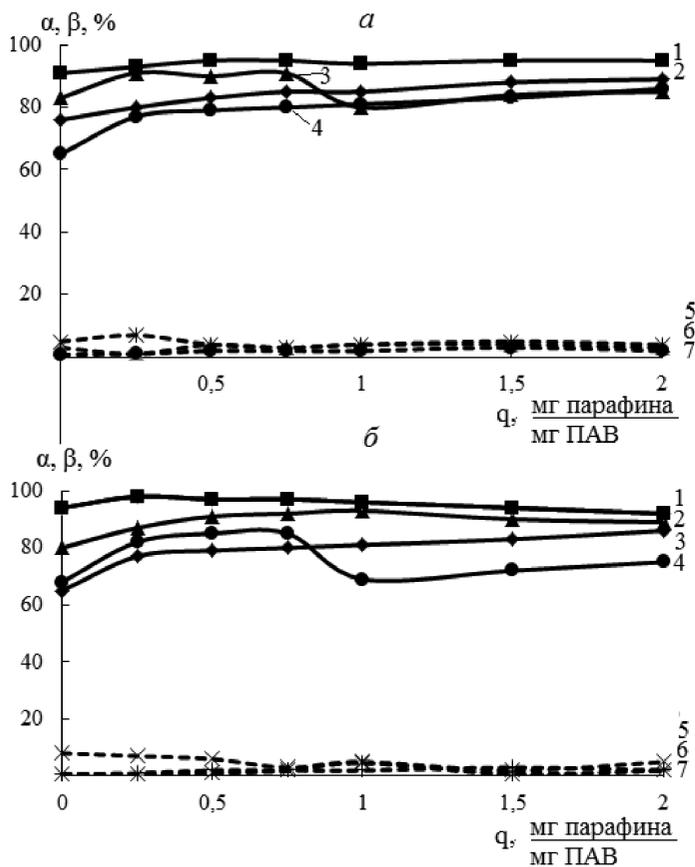


Рис. 4. Влияние расхода (q) парафина на степень (а) флотационного извлечения: а — Твин-60 (2, 1), ХДДП (4, 3) и б — Твин-80 (2, 1), ХДДП (3, 4) из индивидуальных и бинарных растворов соответственно и степень перехода раствора (β) в пену Твин-60, Твин-80 (5) и ХДДП (6) из индивидуальных и бинарных (7) растворов. Температура, 20 °С, pH раствора 6.

91-95 %; для Твин-80 — 94-98 %) при расходе парафина 0,5 мг на 1 мг ПАВ. Степень флотационного извлечения ХДДП из индивидуального раствора при флотосорбционном извлечении с использованием в качестве носителя парафина возрастает на 20 % (расход парафина 2 мг на 1 мг ПАВ); а для бинарных растворов с Твин-20, Твин-40, Твин-60 и Твин-80 на 10, 11, 8 и 17 %, соответственно (расход парафина 0,5 мг на 1 мг ПАВ). Добавление парафина в бинарные растворы Твин — ХДДП не оказывает влияния на объем раствора, переходящего в пенную фракцию.

С помощью введения парафина в бинарные растворы Твинов и ХДДП можно достичь не только увеличения степени извлечения исследуемых ПАВ из водных растворов, но и увеличить скорость флотации.

Механизм действия флотационного носителя — парафина заключается в адсорбции ПАВ на его поверхности за счет физических сил и последующей флотации. Согласно прове-

денным исследованиям [15, 25, 26] требования, которые предъявляются к флотационным носителям, следующие: они должны быстро и полно адсорбировать ПАВ из водных растворов; хорошо флотироваться и при флотации забирать с собой небольшое количество раствора.

Исследования, посвященные флотофлокуляционному извлечению ХДДП и Твинов с помощью желатина (1 % водный раствор в количестве 0,25-2,0 см³ на 25 см³ раствора ПАВ) показали, что при его введении в индивидуальные и эквимольные бинарные растворы Твин-20 и ХДДП степень извлечения как неионогенного, так и катионного ПАВ из индивидуального раствора возрастает на 10 и 25 % соответственно (расход желатина 2 мг на 1 мг ПАВ); для бинарных растворов степень извлечения ХДДП несколько снижается, а Твин-20 существенно не меняется. Добавление желатина в бинарные смеси Твин-20 — ХДДП мало влияет на объем раствора, переходящего в пенную фракцию (рис. 5). Оптимальное количество желатина, необходимое для максимального флотофлокуляционного извлечения Твин-20 и ХДДП, из индивидуального раствора составляет 0,5 мг на 1 мг Твин-20, 0,75 мг на 1 мг ХДДП, а из бинарных растворов — 1,5 мг на 1 мг ПАВ.

Механизм флотофлокуляции заключается в связывании макромолекул желатина и ионов, молекул или ассоциатов ПАВ за счет сил Ван-дер-Ваальса в трехмерные структуры, способные к более быстрому и полному отделению жидкой фазы. Причиной возникновения таких структур является взаимодействие

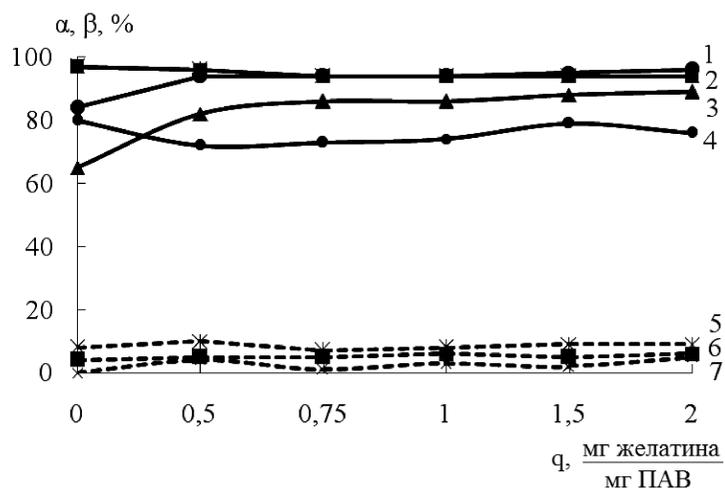


Рис. 5. Влияние расхода (q) желатина на степень (а) флотофлокуляционного извлечения Твин-20 (2, 1) и ХДДП (3, 4) из индивидуальных и бинарных растворов соответственно и степень перехода раствора (β) в пену Твин-20 (5) и ХДДП (6) из индивидуальных и бинарных (7) растворов.

Таблица 1

Сравнительная характеристика влияния парафина и желатина на степень извлечения Твин-20 и ХДДП из индивидуального раствора

q(реагента) мг на 1 мг ПАВ	Степень извлечения ХДДП с добавлением		Степень извлечения Твин-20 с добавлением	
	парафина	желатина	парафина	желатина
0	65	65	85	85
0,5	70	90	90	95

Таблица 2

Сравнительная характеристика влияния парафина и желатина на извлечение Твин-20 и ХДДП из бинарного раствора

q(реагента) мг на 1 мг ПАВ	Степень извлечения ХДДП с добавлением		Степень извлечения Твин-20 с добавлением	
	парафина	желатина	парафина	желатина
0	80	80	97	97
0,5	85	80	98	96

макромолекул желатина с несколькими частичками ПАВ с образованием между ними полимерных мостиков, образовании хлопьев и прилипанию свободных сегментов макромолекул, находящихся в хлопьях, к пузырькам воздуха. Образовавшийся флотоагрегат имеет мозаичную структуру и в нем каждая макромолекула связана с несколькими пузырьками, а каждый пузырек газа — с несколькими макромолекулами. Плотность флотоагрегатов меньше плотности воды, и они всплывают, образуя на поверхности флотационную пену. Во время всплывания происходит захват крупными флотоагрегатами свободных ионов, молекул, ассоциатов ПАВ и мелких флотоагрегатов — процесс аналогичный гравитационной коагуляции [27].

Сравнение флotosорбционного (реагент — парафин) и флотофлокуляционного (реагент — желатин) методов извлечения ПАВ (табл. 1, 2) показало: степень извлечения Твин-20 из его индивидуального раствора увеличивается на 5-10 %, из бинарного — введение реагента существенно не влияет на степень извлечения;

степень извлечения ХДДП из его индивидуального раствора при введении парафина увеличивается на 5 %, при введении желатина на 20 %, а из бинарного — введение желатина существенно не влияет на степень извлечения, введение парафина несколько увеличивает извлечение.

Заключение

Таким образом, показана эффективность использования флотореагентов (парафин и желатин) для извлечения Твинов и ХДДП из их индивидуальных и бинарных растворов, что открывает новые перспективы совершенствования флотационных технологий очистки техногенных многокомпонентных разбавленных водных растворов и сточных вод, а также позволяет не только достичь наибольшего концентрирования исследуемых ПАВ, сократить объем раствора, переходящего в пенную фракцию, но и увеличить скорость процесса.

Литература

1. Швердяев О.Н. Поверхностно-активные вещества. Свойства, технология, применение, экологические проблемы / О.Н. Швердяев, П.С. Белов, А.М. Шнитов. Под ред. П.С. Белова. М.: Изд-во ВЗПИ. 1992. 171 с.
2. Бочаров В.В. О взаимосвязи коллоидно-химических и гигиенических характеристик ПАВ, загрязняющих водоемы / В.В. Бочаров, Ю.Ф. Перегудин // Коллоидный журн. 1998. Т. 50. №5. С. 985-988.
3. Jardak K. Surfactants in aquatic and terrestrial environment: Occurrence, Behavior, and treatment processes / Jardak K., Drogui P., Daghri R. // Journal Environmental science and pollution research. 2016. V. 23. №4. P. 3195-3216.

References

1. Sheverdiaev O.N., Belov P.S., Shnitov A.M., Belov P.S. (ed.) Poverkhnostno-aktivnye veshchestva. Svoistva, tekhnologii, primeneniye, ekologicheskie problem [Surface-active substances. Properties, technology, application, environmental problems]. Moscow, VZPI Publ., 1992, 171 p.
2. Bocharov V.V., Peregudin Iu.F. O vzaimosvizi kolloidno-khimicheskikh i gigienicheskikh kharakteristik PAV, zagriznianiushchikh vodoemy [On the relationship of colloid-chemical and hygienic characteristics of surfactants polluting water bodies]. *Kolloidnyi zhurn. — Colloidal Journal*, 1998, vol. 50, no. 5, pp. 985-988.
3. Jardak K., Drogui P., Daghri R. Surfactants in aquatic and terrestrial environment: Occurrence, Behavior, and

4. Грушко Я.М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах. Л.: Химия, 1982. 33 с.
5. Климовицкая Л.М. Справочное руководство по компонентному составу водосточков и сточных вод различных производств / Л.М. Климовицкая, Ю.С. Котов, Ю.Н. Почкин; Ю.Н. Дедков, В.З. Лапытова. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1992. 82 с.
6. Думанский А.В. Коллоиды диффузионного сока // Журнал сахарной промышленности. 1930. Т. 4. №7. С. 427-442.
7. Шедловский Л. Обзор методов разделения смесей путем образования пен // В сб. статей «Хроматография». М.: Изд-во ин. лит-ры, 1949. С. 176-198.
8. Pushkarev V.V. Adsorptive fuffle separation techniques Ed. R. Lemlich. Academic Prees N.Y.— L., 1972. 299 p.
9. Сибажумша А.М. Исследование эффективности удаления из сточных вод поверхностно — активных веществ — ПАВ на флотационной установке // Тр. научн. конф. по итогам научно-исследовательских работ Мар. гос. технологического университета Йошкар-Ола / Йошкар-Ола: Изд-во Мар. гос. техн. ун-та, 1999. С. 63-64. Рус. ДЕП в Винити 25.08.99. №2172—В 99.
10. Кузькин С.Ф. Флотация ионов и молекул / С.Ф. Кузькин, А.М. Гольман. М.: Недра, 1971. 136 с.
11. Себба Ф. Ионная флотация. М.: Metallurgiya, 1965. 254 с.
12. Bikerman G.G. Foams: Theory and industrial applications N.Y.: L., 1953. 161 p.
13. Abribat M. Separations of fractionnements par moussage // Chem. Analit. 1957. V. 39. №6. P. 217-224.
14. Свиридов В.В. Физико-химические основы процессов микрофлотации / В.В. Свиридов, А.В. Свиридов, А.Ф. Никифоров. Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО УГЛТУ. 2006. 578 с.
15. Стрельцова Е.А. Флотационное выделение пеназолина из водных растворов и сточных вод / Е.А. Стрельцова, Е.А. Хромышева // Вопросы химии и химической технологии. 2000. №1. С. 233-235.
16. Chen Y. Interactions of anionic surfactants with cationic polyelectrolyte gels: competitive binding and application in separation processes / Chen Y., Lappitsky Y. // Journal Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects. 2010. V. 372. №1-3. P. 196-203.
17. Волкова Г.А. Методы очистки сточных вод, содержащих синтетические поверхностно-активные вещества / Г.А. Волкова, Н.Ю. Сторожук // Вестник Брестского государственного технического университета. 2012. №2. С. 38-41.
18. Алексеев Е.В. Изучение показателей флотосорбции в процессе адсорбционно-пузырькового извлечения синтетических поверхностно-активных веществ // Журнал Научное обозрение. 2016. №9. С. 70-76.
19. Шварц А. Поверхностно-активные вещества (их химия и техническое применение) / А. Шварц, Дж. Перри. М.: Инлитиздат, 1953. 544 с.
20. Практикум по коллоидной химии и электронной микроскопии. / Под ред. Воюцкого С.С., Панича Р.М. М.: Химия, 1974. 224 с.
- treatment processes. *Journal Environmental science and pollution research*, 2016, vol. 23, no. 4, pp. 3195-3216.
4. Grushko Ia.M. Vrednye organicheskie soedineniia v promyshlennykh stochnykh vodakh [Harmful organic compounds in industrial wastewater]. Leningrad, Khimiia, 1982, 33 p.
5. Klimovitskaia L.M., Kotov Iu.S., Pochkin Iu.N. Dedkov Iu.N., Lapytova V.Z. Spravochnoe rukovodstvo po komponentnomu sostavu vodostokov i stochnykh vod razlichnykh proizvodstv [Guidance on the component composition of drainage and sewage water of various industries]. Kazan', Kazan' State University Publ., 1992, 82 p.
6. Dumanskii A.V. Kolloidy diffuzionnogo soka [Colloids of diffusion juice]. *Zhurnal sakharnoi promyshlennosti — Journal of the Sugar Industry*, 1930, vol. 4, no. 7, pp. 427-442.
7. Shedlovskii L. Obzor metodov razdeleniia smesei putem obrazovaniia pen [Overview of methods for separating mixtures by forming foams]. In: Sb. statei «Khromatografiia» [Collection of articles «Chromatography»]. Moscow, Publishing house of foreign literature, 1949, pp. 176-198.
8. Pushkarev V.V., Lemlich R. (ed.) Adsorptive fuffle separation techniques. Academic Prees N.Y.— L., 1972, 299 p.
9. Sibazhumsha A.M. Issledovanie effektivnosti udaleniia iz stochnykh vod poverkhnostno — aktivnykh veshchestv — PAV na flotatsionnoi ustanovke [Investigation of the efficiency of removing surface-active substances from wastewater — surfactants in a flotation unit]. In: Tr. nauchn. konf. po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot Mar. gos. tekhnologicheskogo universiteta Ioshkar-Ola [Proceedings of the scientific conference on the results of scientific research works of the Mari State Technical University, Yoshkar-Ola]. Ioshkar-Ola, Mari State Technical University Publ., 1999, pp. 63-64. Rus. DEP v Viniti 25.08.99. №2172—V 99.
10. Kuz'kin S.F., Gol'man A.M. Flotatsiia ionov i molekul [Flotation of ions and molecules]. Moscow, Nedra, 1971, 136 p.
11. Sebba F. Ionnaia flotatsiia [Ion Flotation]. Moscow, Metallurgiiia, 1965, 254 p.
12. Bikerman G.G. Foams: Theory and industrial applications N.Y.: L., 1953, 161 p.
13. Abribat M. Separations of fractionnements par moussage. *Chem. Analit.*, 1957, vol. 39, no. 6, pp. 217-224.
14. Sviridov V.V., Sviridov A.V., Nikiforov A.F. Fiziko-khimicheskie osnovy protsessov mikroflotatsii [Physico-chemical basis of micro-flotation processes]. Ekaterinburg, GOU VPO UGLTU Publ., 2006, 578 p.
15. Streltsova E.A., Khromysheva E.A. Flotatsionnoe vydelenie penazolina iz vodnykh rastvorov i stochnykh vod [Flotation separation of penazoline from aqueous solutions and wastewater]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii — Issues of chemistry and chemical technology*, 2000, no. 1, pp. 233-235.
16. Chen Y., Lappitsky Y. Interactions of anionic surfactants with cationic polyelectrolyte gels: competitive binding and application in separation processes. *Journal Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 2010, vol. 372, no. 1-3, pp. 196-203.
17. Volkova G.A., Storozhuk N.Iu. Metody ochistki stochnykh vod, soderzhashchikh sinteticheskie poverkhnostno-

21. Штыков С.Н. Новый экспрессный метод раздельного определения неионных и катионных поверхностно-активных веществ в сточных водах / С.Н. Штыков, Е.Г. Сумина, Р.К. Чернова, Н.В. Лемешкина // Журнал аналитической химии. 1985. Т. 11. №5. С. 907- 910.
22. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. Изд. 2-е. М.: Химия, 1973. 376 с.
23. Харитоновна Т.В. Адсорбция и мицеллообразование в растворах смесей бромид додецилпиридиния — неионогенное ПАВ / Т.В. Харитоновна, Н.И. Иванова, Б.Д. Сумм // Коллоидный журнал. 2002. Т. 64. №2. С. 249-256.
24. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение: Учеб. пособие для вузов / А.А. Абрамзон, Л.П. Зайченко, С.И. Файнгольд. Л.: Химия, 1988. 200 с.
25. Стрельцова Е.А. Адсорбция Твинов (-60, -80) и додецилсульфата натрия из их бинарных водных растворов на поверхности парафина / Е.А. Стрельцова, А.А. Гросул // Вестник Одес. национ. ун-та. Серия Химия. 2013. Т. 18. Вып. 2 (46). С. 25-34.
26. Стрельцова Е.А. Адсорбция додецилсульфата натрия, хлорида додециламмония и Твинов из водных растворов на парафине / Е.А. Стрельцова, А.А. Гросул // Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т. 14. Вып. 1. С. 129-137.
27. Стрельцова Е.А. Интенсификация флотационного извлечения неионогенных поверхностно-активных веществ / Е.А. Стрельцова, А.А. Гросул, О.В. Волювач // Вестник Одес. национ. ун-та. Серия Химия. 2012.Т. 17. Вып. 4 (44). С. 34-42.
- aktivnye veshchestva [Waste water treatment methods containing synthetic surfactants]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Brest State Technical University*, 2012, no. 2, pp. 38-41.
18. Alekseev E.V. Izuchenie pokazatelei flotosorbtsii v protsesse adsorbtsionno-puzyr'kovogo izvlecheniia sinteticheskikh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv [Study of flotosorption indices during the adsorption-bubbly extraction of synthetic surfactants]. *Zhurnal Nauchnoe obozrenie — Journal of Scientific Review*, 2016, no. 9, pp. 70-76.
19. Shvarts A., Perri Dzh. Poverkhnostno-aktivnye veshchestva (ikh khimii i tekhnicheskoe primenenie) [Surface-active substances (their chemistry and technical application)]. Moscow, Inlitizdat, 1953, 544 p.
20. Voiutskiy S.S., Panich R.M. (eds.) Praktikum po kolloidnoi khimii i elektronnoi mikroskopii [Workshop on colloid chemistry and electron microscopy]. Moscow, Khimiiia, 1974, 224 p.
21. Shtykov S.N., Sumina E.G., Chernova R.K., Lemeshkina N.V. Novyi ekspresnyi metod razdel'nogo opredeleniia neionnykh i kationnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v stochnykh vodakh [A new express method for the separate determination of non-ionic and cationic surfactants in wastewater]. *Zhurnal analiticheskoi khimii — Journal of analytical chemistry*, 1985, vol. 11, no. 5, pp. 907- 910.
22. Lur'e Yu.Yu. Unifitsirovannye metody analiza vod. Izd. 2-e [Unified methods of water analysis. Second Edition]. Moscow, Khimiiia, 1973, 376 p.
23. Kharitonova T.V., Ivanova N.I., Summ B.D. Adsorbtsiia i mitselloobrazovanie v rastvorakh smesei bromid dodetsilpiridiniia — neionogennoe PAV [Adsorption and micelle formation in solutions of mixtures of dodecylpyridinium bromide is a nonionic surfactant]. *Kolloidnyi zhurnal — Colloidal journal*, 2002, vol. 64, no. 2, pp. 249-256.
24. Abramzon A.A., Zaichenko L.P., Faingol'd S.I. Poverkhnostno-aktivnye veshchestva. Sintez, analiz, svoistva, primenenie: Ucheb. posobie dlia vuzov [Surface-active substances. Synthesis, analysis, properties, application: Proc. Manual for high schools]. Leningrad, Khimiiia, 1988, 200 p.
25. Streltsova E.A., Grosul A.A. Adsorbtsiia Tvinov (-60, -80) i dodetsilsul'fata natriia iz ikh binarnykh vodnykh rastvorov na poverkhnosti parafina [Adsorption of Twins (-60, -80) and sodium dodecyl sulfate from their binary aqueous solutions on the surface of paraffin]. *Vestnik Odes. natsion. un-ta. Serii Khimiiia — Bulletin of the Odessa National University. Series Chemistry*, 2013, vol. 18, no. 2 (46), pp. 25-34.
26. Streltsova E.A., Grosul A.A. Adsorbtsiia dodetsilsul'fata natriia, khlorida dodetsilammonii i Tvinov iz vodnykh rastvorov na parafine [Adsorption of sodium dodecyl sulfate, dodecylammonium chloride and Twins from aqueous solutions on paraffin]. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy — Sorption and chromatographic processes*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 129-137.
27. Streltsova E.A., Grosul A.A., Voliuvach O.V. Intensifikatsiia flotatsionnogo izvlecheniia neionogennykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv [Intensification of flotation extraction of non-ionic surfactants]. *Vestnik Odes. natsion. un-ta. Serii Khimiiia — Bulletin of the Odessa National University. Series Chemistry*, 2012, vol. 17, no. 4 (44), pp. 34-42.