

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФЛОТАЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТУ НАТРІЮ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ У ПРИСУТНОСТІ ТВІНІВ

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова

Експериментально доведено, що введення Твіну (Твін-40, Твін-60) у водні розчини додецилсульфату натрію (ДДСН) сприяє інтенсифікації процесу його флотаційного вилучення. Встановлено кореляцію між ефективністю процесу флотаційного вилучення ПАР із їх бінарних водних розчинів і поверхневою активністю сумішей ДДСН-Твін різного складу. Обґрунтовано механізм взаємодії компонентів у залежності від значень рН середовища. Введення невеликих кількостей одно-однорядного неорганічного електроліту в бінарні еквімолярні аніон-неіоногенні розчини ПАР збільшує ступінь флотаційного вилучення ДДСН на 35% при його залишковій концентрації в розчинах 4–6 мг/л.

Сучасний рівень розвитку світової цивілізації призвів до загострення низки екологічних проблем, одна з яких — глобальне накопичувальне забруднення гідросфери. Могутнім джерелом її забруднення є виробничі стічні води, з якими у природні водоймища потрапляє широкий спектр токсичних речовин. До таких речовин відносяться і поверхнево-активні речовини (ПАР) [1–5].

Сьогодні розчини ПАР та їх синергетичні суміші через свої унікальні колоїдно-хімічні властивості все більше використовуються в побуті у складі синтетично мийних засобів, в хімічній, нафтовидобувній, текстильній і в багатьох інших промисловостях, а також на різних стадіях більшості технологічних процесів (полімеризація, обробка і фарбування тканин, знесмолування сульфитної целюлози та ін.) [1–6], що призводить до забруднення ними технологічних водних розчинів і стічних вод, і відповідно до збільшення антропогенного навантаження на водні об'єкти. Для ефективного очищення ПАР-вмісних розчинів часто використовують біологічні (у випадку біологічно м'яких ПАР) та різні фізико-хімічні (осаджування, коагуляція, флокуляція, адсорбція тощо) методи очищення або вдале їх поєднання [7–14]. До числа таких ефективних методів відноситься і метод флотації, де використовується легкодоступний адсорбент — повітря [7,8,10,11,14–16].

Відомі дані [7,8,15,17–19] про флотаційне вилучення іоногенних ПАР із розбавлених індивідуальних і бінарних аніон-аніонних, аніон-катіонних, іоноген-неіоногенних водних розчинів ПАР (у відсутності або в присутності неорганічних елек-

тролітів). Досліджень з флотаційного вилучення аніонних ПАР, а саме найпоширенішого і часто присутнього у побутових (як основна складова частина синтетично мийних засобів) і стічних водах більшості підприємств додецилсульфату натрію [1,2,4,5] із багатокомпонентних водних розчинів, що містять, наприклад, неіоногенні ПАР та різні кількості неорганічних електролітів, у широкому діапазоні значень рН середовища мало.

Мета роботи полягала у з'ясуванні можливості інтенсифікації процесу флотаційного вилучення додецилсульфату натрію (ДДСН) із водних розчинів у присутності Твіну-40 і Твіну-60 та дослідженні впливу складу змішаного розчину ПАР, значення рН середовища і домішок неорганічних електролітів на ефективність процесу флотації. Поставлені меті передували хороші отримані результати з флотаційного вилучення хлориду додецилпіридинію із бінарних водних розчинів, що містили різні кількості тих же самих Твінів [19].

Вибір в якості неіоногенних ПАР Твінів одного гомологічного ряду, а саме: Твіну-40 (оксиетильований моноальмітат сорбітану, $R=C_{15}H_{31}$) і Твіну-60 (оксиетильований моностеарат сорбітану, $R=C_{17}H_{35}$) із середнім числом оксиетильних груп 20 ($n+m=20$) був обумовлений їх доступністю, доброю здатністю до біорозкладання та широким використанням у харчовій, текстильній та інших промисловостях, у фармацевтичному, парфумерному виробництві тощо [20,21].

Методика досліджень

Флотаційне оброблення водних розчинів

ДДСН (з концентрацією 50 мг/л) у відсутності і в присутності Твінів здійснено на установці, основним елементом якої була скляна колонка (фільтр № 4) висотою 0,04 м і діаметром 0,03 м. Дном колонки й одночасно диспергатором повітря слугувала скляна пориста пластинка (перегородка), через яку знизу було подано повітря. Об'єм розчинів ПАР, що підлягали флотації, дорівнював 50 см³, тривалість флотації (за винятком спеціально оговорених випадків) склала 15 хв. Залишкову концентрацію ДДСН в оброблених водних розчинах після екстракції неіоногенної ПАР (у випадку бінарних розчинів ПАР) гексаном визначено екстракційно-колориметричним методом із застосуванням індикатора метиленового синього [22,23], а Твіну (в гексановому екстракті після його випарювання і подальшого розчинення в ацетатно-аміачному буферному розчині при рН 6–7) – колориметричним методом із застосуванням індикатора хромазуролу [24].

Ефективність процесу флотації оцінено за ступенем (α) вилучення ПАР із розчину та ступенем (β) переходу розчину ПАР у піну:

$$\alpha = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$\beta = \frac{V_0 - V}{V_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де C_0 , C – концентрація ПАР у розчині і V_0 , V – об'єм розчину ПАР відповідно до та після флотації.

Поверхневий натяг водних розчинів індивідуальних ДДСН, Твіну-40, Твіну-60 та їх бінарних сумішей із різною мольною часткою неіоногенної ПАР у розчинах (n) визначено методом Вільгельмі (точність $\pm 0,5$ мДж/м²) при кімнатній температурі. Перед кожним виміром поверхневого натягу розчини бінарних сумішей ПАР (ДДСН–Твін-40, ДДСН–Твін-60) були приготовлені таким чином, щоб задане мольне співвідношення компонентів ($n(\text{Твін})=0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9$) залишалося в ході експерименту постійним. Досліджувані системи досягали стану рівноваги за 2 год.

Поверхневу активність індивідуальних ПАР та їх бінарних сумішей ДДСН – Твін різного складу розраховано графічно (за методом Ребіндера [25,26]) за експериментально отриманими ізотермами поверхневого натягу їх водних розчинів як тангенс кута нахилу $\sigma=f(C)$ в області достатньо розбавлених розчинів при $C \rightarrow 0$.

Результати експерименту та їх обговорення

Проведені дослідження показали, час, необхідний для максимально можливого флотаційного вилучення ДДСН із індивідуальних водних розчинів складає 35 хв. Тривалість флотаційного об-

роблення розчинів бінарних сумішей ДДСН з Твіном-40 і Твіном-60 різного складу скорочується до 15 хв. При цьому об'єм пінного продукту незалежно від складу змішаного розчину ПАР скорочується в середньому з 25 до 12%.

Експериментально доведено, що введення навіть невеликих кількостей неіоногенних ПАР у водні розчини ДДСН позитивно впливає на процес його флотаційного вилучення. Так, навіть при мольному співвідношенні компонентів $n(\text{ДДСН}):n(\text{Твін}) = 0,9:0,1$ ступінь флотаційного вилучення ДДСН збільшується з 56% (при його вилученні із індивідуальних розчинів) до 67%. Подальше збільшення кількості Твіну в розчинах ДДСН в більшому ступені сприяє інтенсифікації процесу його флотаційного вилучення: при $n(\text{ДДСН}):n(\text{Твін}) = 0,1:0,9$ ступінь флотаційного вилучення ДДСН збільшується з 56 до 84% і з 56 до 82% у випадку Твіну-40 і Твіну-60 відповідно. Необхідно зазначити, що самі Твіни, як видно із експериментальних даних, наданих у табл. 1, добре флотуються, але в присутності ДДСН ступінь їх флотаційного вилучення незалежно від мольного співвідношення компонентів збільшується до 96–98%.

Таблиця 1
Ступінь (α) флотаційного вилучення ДДСН із водних розчинів у присутності Твінів і поверхнева активність (g) досліджуваних ПАР

$n(\text{ДДСН}):n(\text{Твін})$	α , %	g , Дж·м/моль	α , %	g , Дж·м/моль
	ДДСН–Твін-40	ДДСН–Твін-60	ДДСН–Твін-40	ДДСН–Твін-60
1:0	56	0,09	56	0,09
0,9:0,1	67	5,5	65	5,8
0,7:0,3	70	6,5	68	5,8
0,5:0,5	75	6,9	70	6,4
0,3:0,7	79	9,5	70	7,5
0,1:0,9	84	13,1	82	9,5
0:1	92	2,93	88	0,80

Примітка: при $n(\text{ДДСН}):n(\text{Твін})=0:1$ наведено ступінь флотаційного вилучення Твінів із індивідуальних водних розчинів; $\rho\text{H}(\text{H}_2\text{O})_{\text{сх}} \approx 5,4$

Отримані значення ступеня флотаційного вилучення ДДСН від складу змішаних розчинів ДДСН–Твін-40, ДДСН–Твін-60 (табл. 1) свідчать про повну сумісність компонентів при усіх їх мольних співвідношеннях у розчинах (табл. 1), що явно супроводжується синергетичною їх дією в процесі адсорбції на межі розділу фаз бінарний розчин ПАР–повітря. Крім того, оскільки в досить широкому діапазоні мольних співвідношень ПАР ($n(\text{Твін}) \geq 0,5$) ступінь їх флотаційного вилучення із бінарних водних розчинів мало змінюється ($\alpha(\text{ДДСН}) \approx 70\%$, $\alpha(\text{Твін-40}) = 98\%$, $\alpha(\text{Твін-60}) = 98\%$).

60)=96–98%) за винятком сумішей з великим вмістом у розчинах Твінів, то можна стверджувати, що в таких розчинах утворюються агрегати (змішані міцели) постійного складу. Необхідно зазначити, що в низці випадків для сумішей аніонних і неіоногенних ПАР, що містять в якості гідрофільної групи поліоксиетиленовий ланцюжок, в достатньо широкому діапазоні їх мольних співвідношень в змішаних розчинах дослідники спостерігали [5,17,27] утворення змішаних міцел постійного складу. Проте склад змішаних міцел може істотно відрізнятися від складу розчину [5,17,27].

Поверхнева активність утворених агрегатів при мольних співвідношеннях ДДСН:Твін (Твін-40, Твін-60) – 0,9:0,1; 0,7:0,3 і 0,5:0,5 мало змінюється, помірно зростаючи з 5,5 до 6,9 Дж·м/моль для суміші ДДСН–Твін-40 і з 5,8 до 6,4 Дж·м/моль відповідно для суміші ДДСН–Твін-60. При великому вмісті неіоногенних ПАР ($n \geq 0,7$) у змішаних розчинах поверхнева активність агрегатів зростає приблизно в два рази, і це приводить до збільшення ступеня флотаційного вилучення ПАР, особливо менш поверхнево-активного ДДСН на 28% у суміші з Твіном-40 і на 26% у суміші з Твіном-60 (табл. 1). Знайдена кореляція між залежністю поверхневої активності сумішей ДДСН–Твін (Твін-40, Твін-60) і ступенем їх флотаційного вилучення від складу змішаного розчину частково пояснює причину, з якої відбувається інтенсифікація процесу флотаційного оброблення розчинів ПАР.

Більш чітку картину усього, що відбувається, може дати детальний розгляд можливих механізмів взаємодії ДДСН з Твінами у широкому діапазоні значень рН середовища. Причому ці дослідження є важливими, оскільки технологічні водні розчини і стічні води різних підприємств, що містять ПАР, які підлягають очищенню, мають різні значення рН. Тому друга частина роботи була спрямована на дослідження впливу рН середовища на ступінь флотаційного вилучення ДДСН (а також Твінів) із індивідуальних і бінарних еквімолярних водних розчинів з Твіном-40 і Твіном-60, і встановлення механізмів взаємодії компонентів.

Із експериментальних даних, наданих на рис. 1, видно, що при вилученні ДДСН із індивідуальних водних розчинів спостерігається максимум його флотаційного вилучення у сильно кислому ($C_{12}H_{25}OSO_3H$) і сильно лужному ($C_{12}H_{25}OSO_3^-$) середовищах, де він проявляє максимальну поверхневу активність. Отже, область значень рН середовища, оптимальних для флотаційного вилучення ДДСН (забезпечує його максимальне вилучення), співпадає з областю найбільшої поверхневої активності ПАР. Саме з цієї причини ДДСН краще вилучається в кислому і лужному середовищах.

Характер зміни ступеня флотаційного вилу-

чення ДДСН із бінарних еквімолярних водних розчинів у присутності Твінів аналогічний характеру зміни ступеня флотаційного його вилучення із індивідуальних водних розчинів від значень рН середовища з однією лише різницею: в досить широкому діапазоні значень рН середовища ступінь флотаційного вилучення ДДСН у порівнянні з вилученням із індивідуальних розчинів в залежності від значень рН збільшується $\sim$ на 15% (рис. 1, 2). ДДСН у присутності в розчинах еквімолярної кількості Твіну-40 або Твіну-60 краще вилучається в кислому і лужному середовищах.

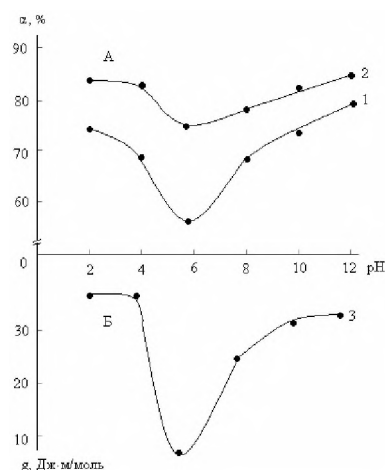


Рис. 1. Вплив рН середовища на: А – ступінь (α) флотаційного вилучення ДДСН із індивідуальних (1) і бінарних еквімолярних водних розчинів з Твіном-40 (2); Б – поверхневу активність (g) суміші ДДСН – Твін-40 (3)

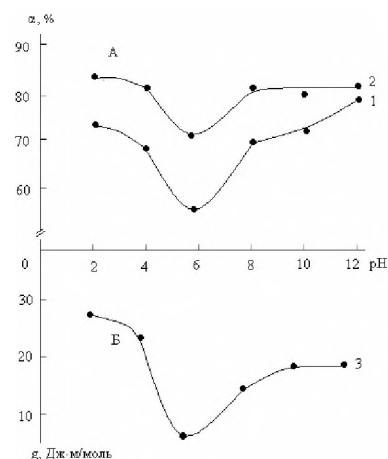


Рис. 2. Вплив рН середовища на: А – ступінь (α) флотаційного вилучення ДДСН із індивідуальних (1) і бінарних еквімолярних водних розчинів з Твіном-60 (2); Б – поверхневу активність (g) суміші ДДСН – Твін-60 (3)

Неіоногенні ПАР менш чутливі до зміни кислотності середовища і вилучаються із індивідуальних водних розчинів з урахуванням похибки

методу флотації приблизно на 92% (у випадку Твіну-40) і на 88% (у випадку Твіну-60), а в присутності ДДСН — на 96–98%.

Оскільки тензіометричні дослідження показали, що водні розчини бінарних сумішей ДДСН з Твіном-40 і Твіном-60 за певних умов (склад розчину, кислотність середовища) виявляють чітко вираженим синергетичним ефектом за поверхневим натягом, а значить, володіють поліпшеними у порівнянні з індивідуальними ПАР (особливо у порівнянні з ДДСН, з Твінами при мольному співвідношенні Твін-40 (або Твін-60):ДДСН — 0,7:0,1 і 0,9:0,1) адсорбційними властивостями. Логічно припустити, що ефективність дії сумішей ДДСН—Твін-40, ДДСН—Твін-60 відносно зниження поверхневого натягу визначається взаємодією компонентів у об'ємі розчинів у змішаних міцелах і в змішаних адсорбційних шарах на межі розділу фаз розчин — повітря [28].

Механізм взаємодії ДДСН з Твінами досить складний. Проте, можна припустити, що в кислому середовищі дуже велика можливість координації протонованого поліоксіетиленового ланцюга неіоногенної ПАР біля поверхнево-активного додецилсульфат-аніона. В області нейтральних рН протонізація поліоксіетиленового ланцюга дуже мала і, відповідно, виключена в лужному середовищі.

Збільшення ступеня флотаційного вилучення ДДСН і Твінів із їх бінарних водних розчинів у порівнянні з їх вилученням із індивідуальних водних розчинів в слабколужному і лужному (рН 8–10) середовищах указує на інший механізм взаємодії компонентів. Найвірогідніший механізм їх взаємодії полягає в асоціації неіоногенними поверхнево-активними речовинами протионів аніонної поверхнево-активної речовини ДДСН (іони натрію) [27]. Оксигетильні ланцюги неіоногенних ПАР є аналогами макроциклічних поліефірів (краун-ефірів), але на відміну від них мають незамкнуту лінійну структуру. Проте, маючи значну гнучкість, вони здатні зв'язувати в розчинах різні катіони. Так, обгортаючи катіони натрію, що з'являються у водному розчині в результаті дисоціації ДДСН, неіоногенні поверхнево-активні речовини Твіни перетворюються наче б то в асоційовані катіонні ПАР, які здатні до електростатичної взаємодії з аніонною ПАР, а в даному випадку з додецилсульфатом-аніоном — донором катіонів. Слід зазначити, що позитивний заряд на колоїдних частинках неіоногенних ПАР не був зафіксований [29] навіть дуже чутливими електрофоретичними і спектральними методами. Все ж таки аналогія в поведінці з катіонними ПАР полягає в тому, що в присутності електролітів, до складу яких входять катіони сильних основ, неіоногенні ПАР ідентифікувалися [29] у водних розчинах іон-селективним електродом як катіонні ПАР. Із даних літератури відомо [27], що мінімальна довжина оксигетильно-

го ланцюга, необхідна для обгортання, наприклад, іона Na^+ дорівнює 5–6 ланкам. А тому наявність у неіоногенних ПАР Твіну-40 і Твіну-60 двох оксигетильних ланцюгів, підсумована довжина яких дорівнює 20, сприяє більшій їх взаємодії з ДДСН, і відповідно, кожна молекула Твіну може взаємодіяти не з однією, а з двома молекулами (іонами) ДДСН. Дана взаємодія зводиться до утворення водневого зв'язку між полярними групами, гідрофобної взаємодії між неполярними фрагментами ПАР, так і до утворення поверхнево-активних в порівнянні з індивідуальними компонентами “комплексів” $[\text{Me}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n]^+$ і $[\text{Me}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_m]^+$ (за умови, що $n+m=20$). Константи стійкості подібного роду “комплексів” [іон металу — поліоксигетильновий ланцюг], виходячи з даних літератури [90], звичайно невеликі, але зростають при утворенні змішаних міцел і змішаних адсорбційних шарів за рахунок кооперативної асоціації гідрофобного і електростатичного скріплення між полярними групами ПАР. На користь цього факту свідчать розрахункові дані їх енергетичних характеристик — параметрів міжмолекулярної взаємодії додецилсульфат-іонів з Твінами (Твін-40, Твін-60) у змішаних міцелах і адсорбційних шарах на межі розділу фаз розчин — повітря [28].

Подальші дослідження щодо впливу домішок неорганічних електролітів на флотаційне вилучення ДДСН, Твіну-40, Твіну-60 із індивідуальних і бінарних водних розчинів ДДСН — Твін еквімолярного складу показали (табл. 2), що введення у розчини досліджуваних ПАР невеликих ($C=1$ ммоль/л) кількостей електролітів:

— по-перше, збільшує ступінь флотаційного вилучення ДДСН із водних розчинів у відсутності ($\alpha=56\%$) і в присутності Твіну ($\alpha=75\%$ в присутності Твіну-40 і $\alpha=70\%$ в присутності Твіну-60) відповідно в 1,5 і 1,6 рази, зменшуючи таким чином його залишкову концентрацію в обробленому розчині в 4–6 рази;

— по-друге, залежить у випадку вилучення ДДСН від природи катіона. Характер цього впливу однаковий: більш гідратовані іони натрію (іони сильного лугу) у порівнянні з іонами алюмінію (іони слабкої основи) більше сприяють процесу флотаційного вилучення аніонної ПАР як із індивідуальних водних розчинів, так і з розчинів, що містять еквімолярну кількість неіоногенної ПАР;

— по-третє, не впливає у межах похибки флотаційного методу ($\pm 5\%$) на ступінь флотаційного вилучення Твіну-40 ($\alpha=92\%$, $C_{\text{зал}}=4,0$ мг/л) і Твіну-60 ($\alpha=88\%$, $C_{\text{зал}}=6,0$ мг/л) як із індивідуального водного розчину, так і з бінарних водних розчинів з ДДСН ($\alpha=96\%$ для Твіну-40 і Твіну-60, що відповідає їх залишковій концентрації у розчині 4,5 мг/л).

Введення невеликих ($C_{\text{ел}}=0,001$ моль/л) кількостей деяких електролітів (NaCl , CaCl_2 , AlCl_3) у розчини ПАР сприяє інтенсифікації процесу

флотаційного їх вилучення, особливо ДДСН із їх бінарних водних розчинів з Твінами ($\alpha=83-92\%$), очевидно, внаслідок висолоючої дії електролітів.

Таблиця 2
Ступінь (α) флотаційного вилучення ДДСН із індивідуальних і бінарних еквімолярних водних розчинів з Твіном-40 і Твіном-60 у присутності електролітів (NaCl , CaCl_2 , AlCl_3) і залишкова концентрація ($C_{\text{зал}}$) ДДСН в оброблених розчинах

Електроліт	α , %	$C_{\text{зал}}$, мг/л	α , %	$C_{\text{зал}}$, мг/л	α , %	$C_{\text{зал}}$, мг/л
	ДДСН	ДДСН-Твін-40	ДДСН-Твін-40	ДДСН-Твін-60	ДДСН-Твін-60	ДДСН-Твін-60
—	56	22,0	75	13,0	70	15,0
NaCl	88	6,0	92	4,0	89	5,5
CaCl_2	88	6,0	83	9,0	84	8,0
AlCl_3	79	10,5	89	5,5	80	10,0

Примітка: C (ДДСН)=50 мг/л; $C_{\text{ек}}=1$ ммоль/л; pH (H_2O) $_{\text{исх}} \approx 5,4$.

Збільшення концентрації електролітів (NaCl , CaCl_2 , AlCl_3) в 100 разів (з 0,001 до 0,1 моль/л) у розчинах, які підлягали флотаційному обробленню, не впливає (у межах похибки методу флотації) на ступінь флотаційного вилучення ДДСН із бінарних еквімолярних водних розчинів з Твіном-40 і Твіном-60, але призводить до зменшення ступеня його флотаційного вилучення із індивідуальних розчинів. Так, наприклад, при введенні NaCl ($C=0,1$ моль/л) у розчин ДДСН ступінь його флотаційного вилучення зменшується з 88 до 66%, а у випадку CaCl_2 ($C=0,1$ моль/л) — з 88 до 77%.

Необхідно зазначити, що при переході від NaCl до Na_2SO_4 і від Na_2SO_4 до Na_3PO_4 ($C=0,001$ моль/л) сила їх негативного впливу на процес вилучення ДДСН саме із індивідуальних водних розчинів збільшується: ступінь флотаційного вилучення ДДСН зменшується з 88 до 28% (багатозарядні аніони суттєво впливають на електричний заряд поверхневого шару води).

Для всіх досліджуваних ПАР за мірою збільшення в їх розчинах електролітів ступінь (ν) переходу розчину в піну спочатку зменшується з 12 до 4%, а потім залишається практично постійним. Зменшення ступеня переходу розчину ПАР у пінний продукт зі збільшенням концентрації електролітів пояснюється тим, що протиіони стискають подвійний електричний шар, існуючий на поверхні півок піни, що в свою чергу зменшує розклинюючий тиск. Зменшення розклинюючого тиску перешкоджає витіканню з сольватно-адсорбційних шарів піни вільної рідини. Ця обставина призводить до зменшення міцності півок піни, що при великих концентраціях електроліту $C \geq 0,1$ моль/л відображається на зменшенні ступеня флотаційного вилучення ПАР, а саме: ДДСН із індивіду-

альних водних розчинів.

Висновки

Таким чином, експериментально доведено повну сумісність досліджуваних ПАР у широкому діапазоні їх мольних співвідношень у розчині, яка відображається в тому, що при введенні Твінів (Твін-40, Твін-60) у розчини додецилсульфату натрію, і навпаки, спостерігається інтенсифікація процесу флотаційного вилучення аніонної та неіоногенних ПАР із їх бінарних водних розчинів у порівнянні з їх вилученням із індивідуальних водних розчинів. Неіоногенні ПАР вилучаються на 98% при різних співвідношеннях компонентів, а ДДСН — на 80% при мольній частці Твіну в бінарному розчині $n \geq 0,7$.

Встановлено кореляцію між ефективністю процесу флотаційного вилучення (ступінь флотаційного вилучення) ПАР із їх бінарних водних розчинів і поверхневою активністю сумішей ДДСН-Твін-40 і ДДСН-Твін-60 різного складу. Поверхнева активність бінарних сумішей ПАР поступово зростає за мірою збільшення в розчинах ДДСН більш поверхнево-активних Твінів.

Обґрунтовано в залежності від значень pH середовища механізм взаємодії ДДСН з Твінами. Електростатичний механізм взаємодії компонентів ускладнюється гідрофобними взаємодіями і утворенням водневих зв'язків. Експериментально доведено, що в кислому та лужному середовищах, де поверхнева активність еквімолярних сумішей ДДСН з Твінами максимальна, ДДСН дещо повніше вилучається із бінарних еквімолярних водних розчинів.

Показано і науково обґрунтовано позитивний вплив невеликих кількостей ($C=1$ ммоль/л) неорганічних електролітів на процес флотаційного вилучення ДДСН із індивідуальних і бінарних водних розчинів з Твінами. Введення одно-однозарядного електроліту (NaCl) сприяє максимальному вилученню ПАР при їх залишковій концентрації в оброблених розчинах до 6 мг/л (що відповідає усім нормам, які висуваються щодо скидання ПАР-вмісних розчинів у міську каналізацію [30]).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Шварц А., Перри Дж. Поверхностно-активные вещества (их химия и техническое применение). — М.: Ин-литиздат, 1953. — 544 с.
- Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение. — Л.: Химия, 1981. — 304 с.
- Шевурдяев О.Н., Белов П.С., Шкитов А.М. Поверхностно-активные вещества. Свойства, технология, применение, экологические проблемы / Ред. П.С. Белова. — М.: Изд-во ВЗПИ, 1992. — 171 с.
- Маркова О.С. Исследование концентрирования, разделения и токсических свойств поверхностно-активных веществ и их метаболитов в воде: Дис...канд. биол. наук:

03.00.16. — Астрахань, 2004. — 123 с.

5. *Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах* / К. Холмберг, Б. Йенссон, Б. Кронберг, Б. Линдман. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. — 528 с.

6. *Кухарь В.П., Губерник А.А., Колесник А.А.* Создание технопарка «Хемо-Поль» в г. Теплодар Одесской области — современная форма инноваций в производстве новых химикатов и товаров бытовой химии // Евразийский химический рынок. — 2008. — № 6 — Вып.42. — С.2-6.

7. *Когановский А.М., Клименко Н.А.* Физико-химические методы очистки промышленных сточных вод от поверхностно-активных веществ. — К.: Наук. думка, 1974. — 157 с.

8. *Когановский А.М., Клименко Н.А.* Физико-химические основы извлечения ПАВ из водных растворов и сточных вод. — К.: Наук. думка, 1978. — 176 с.

9. *Тарасевич Ю.И.* Природные сорбенты в процессах очистки воды. — К.: Наук. думка, 1981. — 208 с.

10. *Дерягин Б.В., Духин С.С., Рулев Н.Н.* Микрофлотация. — М.: Химия, 1986. — 112 с.

11. *Коагуляция, флокуляция, флотация и фильтрование в технологии водоподготовки* / Гончарук В.В., Дешко И.И., Герасименко Н.Г. и др. // Химия и технология воды. — 1998. — Т.20. — № 1. — С.19-31.

12. *Использование бактериальной биолюминесценции для тестирования токсичности воды при ее очистке от ПАВ* / Карцев А.М., Стародуб Н.Ф., Левковец И.А. и др. // Химия и технология воды. — 2003. — Т.25. — № 6. — С.594-602.

13. *Владимирова Т.В., Гришина Е.П.* Взаимодействия в системе анионное поверхностно-активное вещество — катионный краситель — неионогенное поверхностно-активное вещество // Химия и химическая технология. — 2003. — Т.46. — Вып.8 — С.55-58.

14. *Свиридов В.В., Свиридов А.В., Никифоров А.Ф.* Физико-химические основы процессов микрофлотации — Екатеринбург: ГОУ ВПО УГЛТУ: ГОУ ВПО УГЛТУ-УПИ, 2006. — 578 с.

15. *Солдаткина Л.М.* Коллоидно-химические основы флотационного выделения поверхностно-активных веществ: Дис...канд. хим. наук: 02.00.11. — Одесса, 1993. — 142 с.

16. *Ибадуллаев Ф.Ю.* Пенная сепарация ПАВ из сточных вод // Химия и технология воды. — 2004. — Т.26. — № 1 — С.50-59.

17. *Стрельцова Е.А., Мунтян О.Г., Волювач О.В.* Мицеллообразование в водных растворах смесей ПАВ //

Укр. хим. журн. — 2002. — Т.68. — № 4 — С.91-94.

18. *Волювач О.В.* Колоїдно-хімічні закономірності вилучення солей гексадецилпіридинію із водних розчинів: Дис...канд. хім. наук: 02.00.11. — Київ, 2006. — 135 с.

19. *Волювач О.В.* Коллоидно-химический подход к описанию процесса флотационного извлечения хлорида додецилпиридиния из водных растворов, содержащих Твины // Научно-теор. и практ. журн. "Современный научный вестник". — 2010. — Т.88. — № 6 — С.107-114.

20. *Саввин С.Б.* Поверхностно-активные вещества. — М.: Наука, 1991. — 250 с.

21. *Шенфельд Н.* Поверхностно-активные вещества на основе окиси этилена. — М.: Химия, 1982. — 749 с.

22. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. — М.: Химия, 1984. — 447 с.

23. *Унифицированные методы анализа вод* / Ред. Ю.Ю. Лурье — М.: Химия, 1971. — 400 с.

24. *Новый экспрессный метод раздельного определения неионогенных и анионных ПАВ в сточных водах* / С.Н. Штыков, Е.Г. Сумина, Р.К. Чернова, Н.В. Лемешкина // Журн. аналит. химия. — 1985. — Т.15. — Вып. V. — С.907-910.

25. *Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии* / Ред. Ю.Г. Фролова, А.С. Гродского. — М.: Химия, 1986.

26. *Практикум по коллоидной химии* / Ред. И.С. Лаврова. — М.: Высш. школа, 1983.

27. *Плетнев М.Ю.* Мицеллообразование и специфические взаимодействия в водных растворах смесей ПАВ // Успехи коллоидной химии. — 1991. — С.60-82.

28. *Количественный анализ взаимодействия додецилсульфата натрия и Твина в адсорбционных слоях на границе раздела фаз бинарный раствор ПАВ—воздух* / Е.А. Стрельцова, О.В. Волювач, И.В. Пузырева, Е.В. Герасимчук // Современные проблемы физической химии —2009: Тез. докл. IV междунар. конф. — Донецк, 31 августа—3 сентября 2009. — С.160.

29. *Плетнев М.Ю.* О природе взаимодействия в растворе смесей неионогенных и анионных поверхностно-активных веществ // Журн. коллоид. химии. — 1987. — Т.49. — С.184-187.

30. *ДСТУ 3812-98* Охорона довкілля та раціональне поводження з ресурсами. Контроль оперативних стічних вод очисних споруд міст і промислових підприємств: Загальні положення. — Введ. 1999.07.01. — Офіц. вид. — К.: Держстандарт України, 1999. — IV. 6 с.

Надійшла до редакції 27.07.2011