

**ВПЛИВ рН І ЙОННОЇ СИЛИ РОЗЧИНУ НА КОЛОЇДНО-ХІМІЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ БІНАРНИХ СУМІШЕЙ
ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН**

О. Д. КОЧКОДАН, кандидат хімічних наук, доцент

В. І. МАКСІН, доктор хімічних наук, професор

Н. М. АНТРАПЦЕВА, доктор хімічних наук, професор

Т. С. СЕМЕНЕНКО, студентка

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: okochkodan@hotmail.com

***Анотація.** Досліджено вплив рН і йонної сили розчину на міцелоутворення і адсорбцію бінарних сумішей гексадецилпіридиній броміду (ГДПБ) і тритону X-100 (TX-100.). З використанням моделі фазового поділу (підхід Рубіна-Розена) розраховані склад змішаних міцел і адсорбційних шарів, параметри взаємодії в міцелах β^m і адсорбційних шарах β^s , а також надлишкові вільні енергії міцелоутворення та адсорбції.*

Розрахунки складу змішаних адсорбційних шарів показали, що адсорбційний шар на межі розділу розчин – повітря у всьому інтервалі досліджених об'ємних співвідношень збагачений молекулами нейонної поверхнево-активної речовини (ПАР), що має вищу поверхневу активність. Встановлено, що збільшення йонної сили розчину призводить до зниження сили взаємодій ПАР в змішаному адсорбційному шарі. Це підтверджує електростатичну природу взаємодій у сумішах катіонних і нейонних ПАР.

***Ключові слова:** поверхнево-активні речовини, адсорбція, бінарні суміші, міцелоутворення, адсорбційний шар*

Актуальність. Дослідження сумішей поверхнево-активних речовин (ПАР) є актуальними, оскільки такі системи широко використовують у різних прикладних цілях, наприклад, у синтезі наночастинок, у міцелярному каталізі, для стабілізації дисперсій, під час створення синтетичних миючих засобів, косметичних та лікарських препаратів тощо. Відомо, що змішані системи ПАР часто мають властивості, які істотно відрізняються від властивостей індивідуальних компонентів. Залежно від різних факторів вони можуть проявляти синергетичні, антагоністичні ефекти або ж ідеальну поведінку.

Дослідження об'ємних та адсорбційних властивостей сумішей йонних і нейоногенних ПАР із водних розчинів, впливу на них різних факторів – природи, концентрації та співвідношення вмісту ПАР, рН, йонної сили розчину тощо – дозволить встановити закономірності поведінки таких систем, а, отже, передбачати і регулювати процеси в подібних системах, створювати системи ПАР з наперед заданими властивостями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз літературних даних показує, що основними напрямками в області дослідження сумішей ПАР є розвиток теоретичних підходів до опису взаємодій у сумішах ПАР, а також експериментальне вивчення різних колоїдно-хімічних властивостей змішаних систем. У таких сумішах відбуваються асоціативні взаємодії з утворенням міжмолекулярних агрегатів [1-4]. У цілому методи теоретичного опису сумішей поділяються на 2 групи: 1) методи теоретичного розрахунку властивостей змішаної системи (критичної концентрації міцело утворення (ККМ), розміру і складу міцел, поверхневого натягу, вільних енергій міцелоутворення і адсорбції та ін.); 2) методи розрахунку кількісних характеристик міцелоутворення і адсорбції (складу змішаних міцел і адсорбційних шарів, тощо) на підставі експериментального вивчення залежностей ККМ і поверхневого натягу від складу змішаних систем. Найчастіше для оцінки природи та сили міжмолекулярних взаємодій у розчинах різних ПАР використовують підхід Рубіна-Розена в рамках моделі фазового поділу [5, 6]. Для цього розраховують параметр міжмолекулярної взаємодії β , який є мірою відхилення розчину від ідеальності.

На сьогодні практично відсутні дані про систематичні дослідження змішаних систем. Не досліджено впливу багатьох факторів на адсорбцію ПАР із багатокомпонентних водних розчинів, зокрема рН та йонної сили розчину, а також структури змішаних адсорбційних шарів, без чого неможливо однозначно встановити механізм адсорбції ПАР із суміші та прогнозувати їх адсорбційну поведінку у водних розчинах.

Мета дослідження. У зв'язку з тим, що в реальних системах мають справу з розчинами ПАР за різних рН і йонній силі, метою роботи було дослідити поведінку бінарних сумішей катіонної та нейоногенної ПАР у водних розчинах і на поверхні розділу розчин – повітря залежно від цих факторів.

Матеріали і методи дослідження. Для дослідження були використані катіонна та нейоногенна ПАР. Катіонна ПАР: гексадецилпіридиній бромід (ГДПБ), загальна формула $C_{16}H_{33}NC_5H_5Br$, кваліфікація «х.ч.». Промислові зразки ПАР очищали перекристалізацією з метилетилкетону. Ступінь очищення контролювали за відсутністю мінімуму в області ККМ на ізотермах поверхневого натягу.

Нейоногенна ПАР: оксиетильований октилфенол зі ступенем оксиетильовання $n = 9-10$ Тритон X-100 (ТХ-100) загальної формули $C_8H_{17}C_6H_4(OCH_2CH_2)_n$, кваліфікація «ч.д.а.», речовину використовували без додаткового очищення.

Для дослідження міцелоутворення у водних розчинах і адсорбції на поверхні розділу розчин – повітря індивідуальних ПАР і їх сумішей були використані тензіометричний і кондуктометричний методи.

Поверхневий натяг (σ) у розчинах ПАР визначали методом Вільгельмі, використовували тензіометр ВТ-500. Питому електропровідність (k) розчинів ПАР вимірювали кондуктометром L-Micro. Об'єм розчину становив 15 мл, похибка склала $\pm 2\%$.

Визначення критичної концентрації міцелоутворення (ККМ) у розчинах поверхнево-активних речовин проводили з використанням тензіометричного і кондуктометричного методів. В основі зазначених методів лежить побудова залежності величин поверхневого натягу (σ) і електропровідності (k) від рівноважної концентрації ПАР (C). ККМ ПАР визначається як концентрація, що відповідає точці зламу на залежності $\sigma(\ln C)$ або $k(C)$.

рН розчинів вимірювали рН-метром, використовували скляний електрод із хлорсрібним електродом порівняння. Точність вимірювань ± 0.2 . Для

створення необхідного значення рН використовували в якості фонового електроліту 1×10^{-3} М розчин HCl і амоніачну буферну суміш.

Результати дослідження та їх обговорення. Ізотерми поверхневого натягу індивідуальних ПАР і їх сумішей, отримані при рН 3.3, 6.7 і 9.1, представлені на рисунку 1. Залежність питомої електропровідності від концентрації ГДПБ в індивідуальних і змішаних розчинах при рН 3.3 представлена на рисунку 2. Для систем із рН 6.7 і 9.1 одержано аналогічні залежності.

Питома електропровідність k' дорівнює:

$$k' = k - k_{\text{фон}}, \quad (1)$$

де $k_{\text{фон}}$ – питома електропровідність фонового електроліту.

Відомо, що неорганічні електроліти можуть впливати як на властивості НПАР за рахунок зміни ступеня гідратації оксиетильної групи [7], так і на властивості КПАВ за рахунок зміни ступеня йонізації [8]. Зіставлення даних по поверхневому натягу для індивідуальних ПАР показало, що ізотерми поверхневого натягу ТХ-100 при рН 3.3; 6,7; 9.1 у межах похибки збігаються. Отже, зміна рН та йонної сили розчину в зазначених межах не впливає на такі властивості нейоногенних ПАР, як ККМ, поверхнева активність, стандартні вільні енергії міцелоутворення і адсорбції.

З використанням даних тензіометричних і кондуктометричних вимірювань були розраховані основні колоїдно-хімічні характеристики ГДПБ і ТХ-100 (табл. 1). Кількісною мірою поверхневої активності розчину ПАР є поверхнева концентрація або поверхневий надлишок Γ^σ речовини на межі розчин – повітря. Для розрахунку Γ^σ зазвичай використовують фундаментальне рівняння адсорбції Гіббса:

$$\Gamma^\sigma = -\frac{C}{iRT} \frac{d\sigma}{d \ln C}, \quad (1)$$

де $i=1$ (НПАР) або 2 (КПАР).

При $d\sigma/d \log C = \max$ значення Γ^σ є максимальним, отже $\Gamma^\sigma = \Gamma^\sigma_{\max}$.

Площу, яку займає молекула в насиченому адсорбційному шарі S_m (нм²), обчислювали за рівнянням:

$$S_m = \frac{10^8}{\Gamma_{\max}^{\sigma} N_A} \quad (2)$$

1. Критична концентрація міцелоутворення (ККМ), поверхневий надлишок (Γ_{\max}^{σ}), мінімальна площа S_m і стандартна вільна енергія міцелоутворення ΔG_{mic}^0 досліджених ПАР.

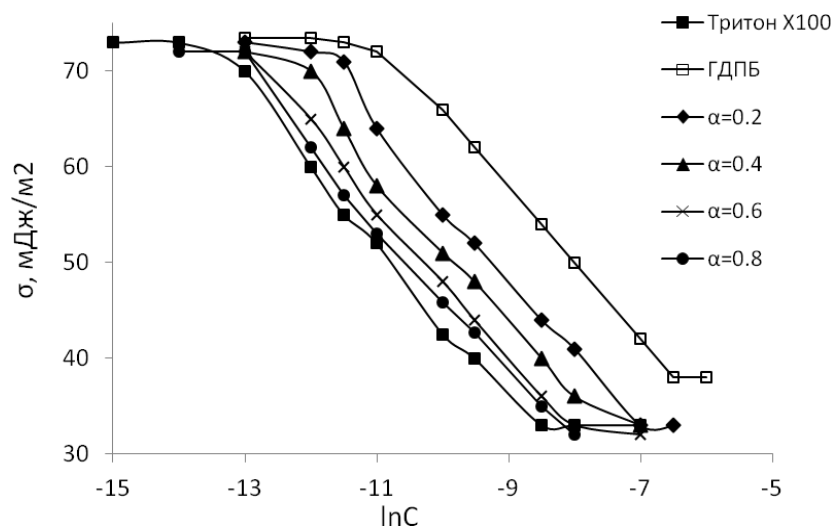
ПАР	ККМ · 10 ³ , моль/дм ³	$-\Delta G_{\text{mic}}^0$ кДж/моль	$\Gamma_{\max}^{\sigma} \times 10^6$, моль/м ²	S_m , нм ²	$-\Delta G_{\text{ads}}^0$ кДж/моль
ТХ-100	0,24	30.7	5,54	0,33	32.1
ГДПБ	0.67	23.6	3.76	0,61	25.4

Як видно із рисунку 1, додавання ТХ-100 до розчину ГДПБ зумовлює зниження ККМ суміші і мінімальне значення цього показника досягається для сумішей з $\alpha_{\text{ТХ-100}} = 0,6$. Тобто стосовно ККМ для досліджуваної системи простежується синергетичний ефект.

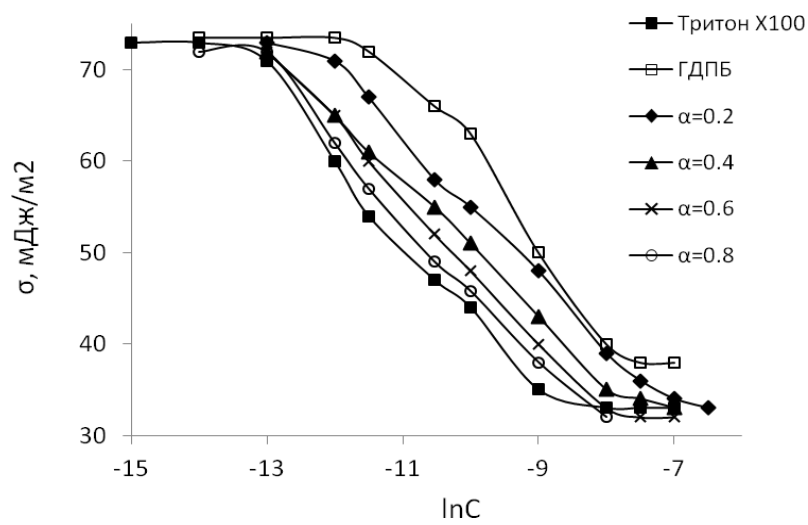
Дослідження питомої електропровідності в бінарній системі ГДПБ – ТХ-100 показали, що для розчинів ГДПБ з концентраціями, які не перевищують ККМ, величини електропровідності при різних рН і йонній силі розчину практично співпадають.

Розглянемо як впливає зміна рН та концентрації фонового електроліту на взаємодії ГДПБ–ТХ-100 за формування міцел і адсорбційних шарів у бінарній системі. Для розрахунку кількісних характеристик міцелоутворення і адсорбції в суміші ПАР використали модель Рубена-Розена [5,6], основану на теорії регулярних розчинів. Міцелоутворення в ній розглядається як фазовий перехід другого роду. З експериментальних даних по ККМ і поверхневому натягу суміші ГДПБ–ТХ-100 були розраховані склад змішаних міцел і адсорбційних шарів, параметри взаємодії в міцелах β^m і адсорбційних шарах β^{σ} , а також стандартні вільні енергії міцелоутворення ΔG_m та адсорбції ΔG_{ads} .

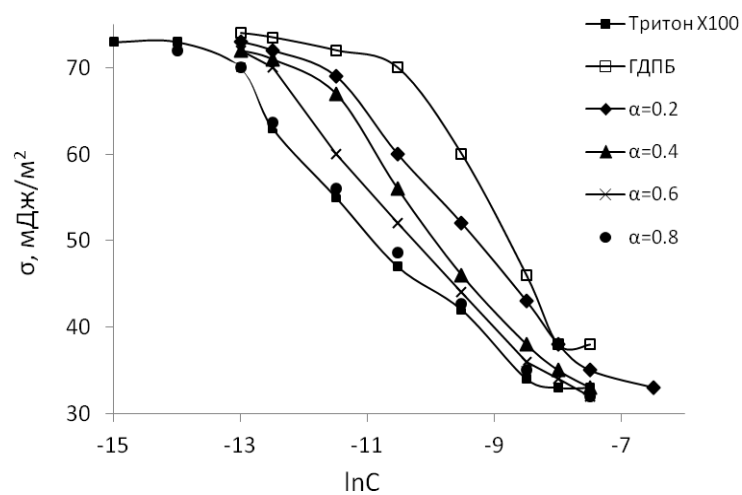
Міцелярний коефіцієнт міжмолекулярної взаємодії β^m обчислювали за формулою [6]:



а)



б)



в)

Рис. 1. Ізотерми поверхневого натягу розчинів ТХ-100 (□), ГДПБ (■) і їх сумішей із різною мольною часткою НПАР при рН 3.3 (а), 6.7 (б), 9,1 (в).

$$\beta^m = \frac{\ln(\alpha_1 KKM_{12} / x_1^m KKM_1)}{(1 - x_1^m)^2}, \quad (2)$$

де α_1 - мольна частка ПАР₁ у розчині, x_1^m – мольна частка ПАР₁ у змішаній міцелі, KKM і KKM_1 - критичні концентрації міцелоутворення суміші і ПАР₁.

Для розрахунку складу змішаних міцел, тобто мольної частки ПАР₁ в міцелі x_1^m використовували рівняння [5,6]:

$$(x_1^m)^2 \ln\left(\frac{\alpha_1 KKM}{x_1^m KKM_1}\right) = (1 - x_1^m)^2 \ln\left(\frac{(1 - \alpha_1) KKM}{(1 - x_1^m) KKM_2}\right) \quad (3)$$

Таким чином, для визначення складу змішаних міцел і параметрів міжмолекулярної взаємодії для суміші даного складу достатньо експериментально визначити KKM суміші і індивідуальних ПАР. Необхідно відзначити, що параметр β^m є основною кількісною характеристикою неідеальної поведінки ПАР при міцелоутворенні: знаки (+) і (-) β^m -параметра відповідають позитивному і негативному відхиленню від ідеальності, абсолютне значення характеризує силу взаємодії між молекулами.

Для оцінки стандартної вільної енергії міцелоутворення змішаних розчинів ПАР показано [4], що у випадку розбавлених розчинів, тобто при концентрації менше $1 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³, задовільні значення в межах похибки експерименту, що відповідають даним, отриманим на підставі інших моделей, одержують у випадку розрахунку за відомим рівнянням для індивідуальних ПАР:

$$\Delta G_{mic}^0 = RT \ln KKM \quad (4)$$

Здатність речовини адсорбуватись на межі поділу фаз розчин-повітря характеризують також зміною стандартної вільної енергії адсорбції ΔG_{ads}^0 . При умові, що об'ємна концентрація ПАР, яка відповідає формуванню насиченого поверхневого шару, не перевищує 10^{-2} моль/дм³, ΔG_{ads}^0 можна розрахувати за рівнянням Розена-Аронсона [5]:

$$\Delta G_{ads}^0 = 2.303RT \log \frac{C}{\varpi} - N_A \pi A_m, \quad (5)$$

де A_m — площа, яку займає молекула ПАР на межі розчин-повітря (м²); π -поверхневий натяг за концентрації C , при якій досягається A_m . Розрахунок ΔG_{ads}^0 у цьому випадку відносять до певного фіксованого значення поверхневого натягу розчину.

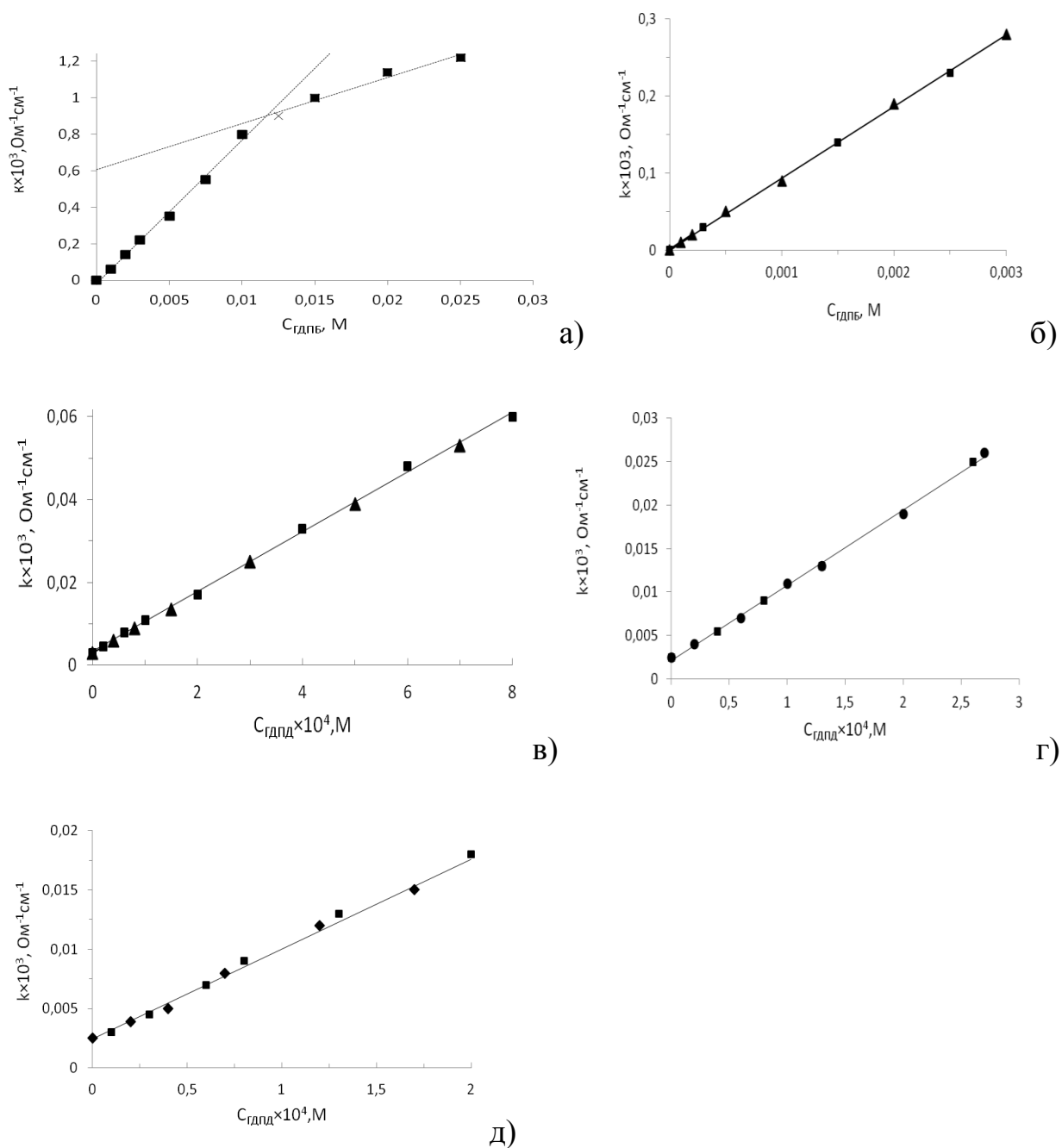


Рис. 2. Питома електропровідність розчинів ГДПБ (а) і сумішей ГДПБ–ТХ-100 для $\alpha = 0.2$ (б), 0.4 (в), 0.6 (г), 0.8 (д); позначення (■) відповідають даним для індивідуального розчину ГДПБ; рН = 3.3, $\kappa_{\text{фон}} = 8.91 \times 10^{-5} \text{M}$.

Розраховані за рівнянням Розена-Аронсона значення стандартної вільної енергії адсорбції ΔG_{ads}^0 досліджених ПАР наведено в таблиці 1. Розрахунок провели за умови формування насиченого поверхневого шару: $\Gamma^{\sigma} = \Gamma^{\sigma}_{\text{max}}$, $C = KKM$, $A_m = S_m$. Отримані значення ΔG_{ads}^0 підтверджують те, що нейонна ПАР ТХ-100 має більшу адсорбційну здатність, а отже, більшу поверхневу активність порівняно з катіонною ПАР ГДПБ.

Результати розрахунків складу змішаних міцел, параметрів взаємодії в міцелах β^m і зміни стандартної вільної енергії міцелоутворення ΔG_{mic}^0 представлені в таблиці 2. Як видно із таблиці 2, параметри міжмолекулярної взаємодії β^m мають від'ємні значення, що свідчить про помітну міжмолекулярну взаємодію компонентів бінарної суміші. У складі змішаних міцел переважають молекули нейонної ПАР, що підтверджується значеннями мольної частки ТХ-100. Молярна частка ТХ-100 в міцелах найбільша при $\alpha_{\text{ТХ-100}} = 0.6-0.8$. Із збільшенням мольної долі ТХ-100 в розчині його частка в міцелах зростає в незначній мірі. І збільшенням рН і йонної сили розчину параметри міжмолекулярної взаємодії β^m і вільна енергія міцелоутворення ΔG_{mic}^0 в суміші зменшуються. Це свідчить про те, що в утворенні міжмолекулярних структур між катіонними і нейонними ПАР беруть участь йон-дипольні взаємодії.

2. Молярна частка ТХ-100 в міцелах x^m , параметри міжмолекулярної взаємодії β^m і вільна енергія міцелоутворення ΔG_{mic}^0 у сумішах ГДПБ – ТХ-100 за різних значень рН

α	0.2	0.4	0.6	0.8
рН = 3.3				
x^m	0.76	0.77	0.75	0.79
β^m	-2.5	-2.8	-2.4	-3.1
$-\Delta G_{mic}^0$, кДж/моль	19.45	20.29	18.78	20.46
рН = 6.7				
x^m	0.63	0.66	0.72	0.77
β^m	-2.3	-2.1	-2.6	-2.8
$-\Delta G_{mic}^0$, кДж/моль	18.50	17.07	19.51	20.01
рН = 9.1				
x^m	0.67	0.65	0.66	0.69
β^m	-1.6	-1.8	-2.1	-2.3
$-\Delta G_{mic}^0$, кДж/моль	18.15	17.07	17.90	18.43

Аналогічні розрахунки були проведені для змішаного адсорбційного шару на межі розчин – повітря. Коефіцієнт міжмолекулярної взаємодії в адсорбційному шарі β^σ оцінювали за рівнянням [1,5]:

$$\beta^\sigma = \frac{\ln(\alpha_1 C / x_1^\sigma C_1^0)}{(1 - x_1^\sigma)^2}, \quad (7)$$

де α_I – мольна частка ПАР₁ у розчині, x_1^σ – мольна частка ПАР₁ у поверхневому шарі, C_I^0 і C – молярна концентрація розчину ПАР₁ і бінарної суміші з однаковим значенням поверхневого натягу.

Склад адсорбційного шару розраховували із рівняння [1,5]:

$$(x_1^\sigma)^2 \ln\left(\frac{\alpha_i C}{C_1^0 x_1^H}\right) = (1 - x_1^H)^2 \ln\left(\frac{\alpha_2 C}{C_2^0 (1 - x_1^H)}\right) \quad (5)$$

Таким чином, визначивши з експериментальних даних концентрації суміші і індивідуальних ПАР, за яких досягається задане значення поверхневого натягу, можна розрахувати склад змішаного адсорбційного шару при заданому значенні поверхневого натягу. Результати наведені в таблиці 3.

Як видно і наведених в таблиці 3 результатів, змішані адсорбційні шари збагачені поверхнево активнішим компонентом –ТХ-100. Аналіз взаємодій між молекулами НПАР і йонами КПАР в адсорбційному шарі показує, що величини параметрів взаємодії і стандартної вільної енергії адсорбції більші у сумішах з високим вмістом ТХ-100 в об'ємі ($\alpha = 0.6-0.8$). З ростом рН спостерігається зменшення за абсолютною величиною параметрів взаємодії β^σ і стандартної вільної енергії адсорбції. Це можна пояснити ослабленням йон-дипольних взаємодій між КПАР і НПАР в адсорбційному шарі за рахунок збільшення концентрації фоновому електроліту.

3. Молярна частка НПАР в адсорбційному шарі x^σ , параметри міжмолекулярної взаємодії β^σ і стандартна вільна енергія адсорбції ΔG_{ads}^0 в сумішах ГДПБ-ТХ-100 при $\sigma = 30$ мДж/м²

α	0.2	0.4	0.6	0.8
pH 3.3				
x^σ	0.78	0.80	0.85	0.89
β^σ	-1.3	-1.8	-3.2	-3.0
$-\Delta G_{ads}^0$, кДж/моль	18,05	19.37	20.03	21.41
pH = 6.7				
x^σ	0.70	0.75	0.78	0.78
β^σ	-5.1	-4.1	-6.5	-6.8
$-\Delta G_{ads}^0$, кДж/моль	19.23	20.50	21,44	22.35
pH 9.1				
x^σ	0.67	0.65	0.69	0.82
β^σ	-0.5	-1.0	-2.2	-2.1
$-\Delta G_{ads}^0$, кДж/моль	19.66	20.04	20.15	21.08

Висновки і перспективи. Таким чином, за даними тензіометричних і кондуктометричних досліджень встановлено, що в системі КПАР-НПАР утворюються міцели, які складаються переважно з молекул ПАР із меншим значенням ККМ, тобто з активнішої ПАР.

З використанням моделі Рубіна-Розена розраховані склад змішаних міцел і адсорбційних шарів, параметри взаємодії в міцелах β^M і адсорбційних шарах β^σ , а також надлишкові вільні енергії міцелоутворення та адсорбції. Виявлено існування ефекту синергізму стосовно зниження поверхневого натягу в сумішах з високим вмістом нейоногенної ПАР. Розрахунки складу змішаних адсорбційних шарів показали, що адсорбційний шар на межі розділу розчин – повітря у всьому інтервалі досліджених об'ємних співвідношень збагачений молекулами нейонної поверхнево-активної речовини (ПАР), що має вищу поверхневу активність. Встановлено, що збільшення йонної сили розчину призводить до зниження сили взаємодій ПАР в змішаному адсорбційному шарі. Це підтверджує електростатичну природу взаємодій в сумішах катіонних і нейонних ПАР.

References

1. Milton J. Rosen, Qiong Zhou. (2001). Surfactant-surfactant interactions in mixed monolayer and mixed micelle formation. *Langmuir*. 17:3532–3537.
2. Mandeep Singh Bakshi, Jasmeet Singh, Kulbir Singh, Gurinde Kaur. (2004). Mixed micelles of cationic gemini with conventional surfactants: The head group and counterion effects. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects*. 237:61–71.
3. Gharibi H., Razavizadeh B. M., Hashemianzaheh M. (2000). New approach for the studies of physicochemical parameters of interaction of Triton X-100 with cationic surfactants. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects*. 174:375–386.
4. Stephanie A. Moore, Karen M. Glenn, Amy M. MacDonald, Rama. M. Palepu. (2007). Micellar and associated thermodynamic properties of binary mixtures of alkyl triphenyl phosphonium bromide in ethylene glycol and water mixtures. *Colloid Polym. Sci.* 285:543–552.
5. Hua X.Y., Rosen M.J. (1982). Synergism in binary mixtures of surfactants. 1. Theoretical analysis. *J. Colloid Interface Sci.* 90:212–219.
6. Milton J. Rosen and Shireen B. Sultana. (2001). The interaction of Alkylglycosides with Other Surfactants. *J. Colloid. Interface Sci.* 238:528–534.

7. Wang W., Kwak J.T.C. (1999). Adsorption at the Alumina-Water Interface from Mixed Surfactant Solutions. *Colloids Surf A: Physicochem. Eng. Aspects*. 156:95-110.

8. Maeda H. A (1995). Simple thermodynamic Analysis of the Stability of Ionic/Nonionic Mixed Micelles. *J. Colloid Interface Sci.* 172:98-105.

ВЛИЯНИЕ pH И ИОННОЙ СИЛЫ РАСТВОРА НА КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

О. Д. Кочкодан, В. И. Максин, Н. М. Антрапцева, Т. С. Семененко

***Аннотация.** Исследовано влияние pH и ионной силы раствора на мицеллообразование и адсорбцию бинарных смесей гексадецилпиридиний бромида (ГДПБ) и тритона X-100 (TX-100). С использованием модели фазового разделения (подход Рубина-Розена) рассчитаны состав смешанных мицелл и адсорбционных слоев, параметры взаимодействия в мицеллах β^M и адсорбционных слоях β^s , а также избыточные свободные энергии мицеллообразования и адсорбции.*

Расчеты состава смешанных адсорбционных слоев показали, что адсорбционный слой на границе раздела раствор - воздух во всем интервале исследованных объемных соотношений обогащен молекулами неионного поверхностно-активного вещества (ПАВ), имеющего более высокую поверхностную активность. Установлено, что увеличение ионной силы раствора приводит к снижению силы взаимодействий ПАВ в смешанном адсорбционном слое. Это подтверждает электростатическую природу взаимодействий в смесях катионных и неионных ПАВ.

***Ключевые слова:** поверхностно-активные вещества, адсорбция, бинарные смеси, мицеллообразование, адсорбционный слой*

EFFECT OF pH AND IONIC STRENGTH OF SOLUTION ON THE COLLOIDAL-CHEMICAL PROPERTIES OF BINARY MIXTURES OF SURFACTANTS

O. D. Kochkodan, V. I. Maksin, N. M. Antraptseva, T. S. Semenenko

***Abstract.** The effect of pH and ionic strength of the solution on micelles formation and adsorption in binary mixtures of hexadecylpyridinium bromide (GDPP) and Triton X-100 (TX-100) is investigated. Using a phase separation model (Rubin-Rosen approach), composition of mixed micelles and adsorption layers, the parameters of interaction in micelles β^M and in adsorption layers β^s , as well as the excessive free energies of micelles formation and adsorption are calculated.*

Calculations of the compositions of mixed adsorption layers have shown that the adsorption layer at the solution-air intersection is enriched with the molecules of nonionic surfactant, which has a higher surface activity, over an entire range of volumetric ratios of the used surfactants. It was shown that an increase in ionic strength of the solution leads to a decrease of surfactant interactions in the mixed adsorption layer. This finding confirms the electrostatic nature of interactions in mixtures of cationic and nonionic surfactants.

Keywords: *surfactants, adsorption, binary mixtures, micelles formation, adsorption layer*