

ХІМІЧНІ НАУКИ

УДК 544.77.051.62:544.72.023.221
DOI: 10.15587/2313-8416.2017.97643

АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ НИЗЬКОМОЛЕКУЛЯРНОЇ КАТІОННОЇ ТА ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНОЇ АНІОННОЇ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА МЕЖІ ПОДІЛУ ФАЗ БІНАРНИЙ ВОДНИЙ РОЗЧИН – ПОВІТРЯ

© О. В. Волювач, Ю. В. Ішков

Вивчені особливості поведінки броміду гексадецилпіридинію та натрієвої солі карбоксиметилцелюлози на межі поділу фаз розчин-повітря при різних масових співвідношеннях компонентів у розчинах, значеннях рН середовища за незмінної концентрації катіонної поверхнево-активної речовини (ПАР). Розраховано склад адсорбційних шарів, параметр міжмолекулярної взаємодії у них ПАР. Запропоновані оптимальні умови поверхневого концентрування ПАР катіонного типу

Ключові слова: поверхневі властивості, бінарні розчини, бромід гексадецилпіридинію, натрієва сіль карбоксиметилцелюлози

1. Вступ

Властивості водних розчинів більшості індивідуальних поверхнево-активних речовин (ПАР) важливі, однак достатньо вивчені [1, 2]. Останнім часом науковий інтерес направлений на вивчення особливостей взаємодії декількох ПАР різної природи на межах поділу фаз розчин – тверде тіло, розчин – повітря [1]. Щодо катіонних ПАР, то їх взаємодія з неіоногенними ПАР (Твінами) на межі поділу фаз бінарний розчин ПАР – повітря детально викладена в роботах [3, 4]. Досліджена взаємодія катіонних ПАР і з аніонними ПАР (алкілсульфати натрію) [5]. Комбінування ПАР в залежності від різних факторів не завжди є прогнозованим і в ряді випадків може супроводжуватись виявленням за умови малих витрат компонентів специфічних властивостей, завдяки яким зростає перспективність використання синергетичних комбінацій ПАР для більшості практичних цілей, в тому числі для виготовленні мийних засобів [6], в процесі водоочищення [7, 8] тощо.

2. Літературний огляд

На особливу увагу заслуговують найпоширеніші представники катіонних ПАР – “біологічно жорсткі” галогеніди алкілпіридинію, зокрема галогеніди гексадецилпіридинію (НаГДП), в поєднанні з іншими низькомолекулярними ПАР і високомолекулярними ПАР (поліелектролітами) різної природи. В роботах [5, 7] проведено аналіз адсорбції броміду гексадецилпіридинію з аніонними ПАР (алкілсульфати натрію) на межі поділу фаз бінарний розчин ПАР – повітря та наведено кількісну та термодинамічну оцінку взаємодії йодиду гексадецилпіридинію з неіоногенною ПАР (Твіном-20) в змішаних водних розчинах і адсорбційних шарах. Значно менше уваги

приділено дослідженню поверхневих властивостей НаГДП з високомолекулярними ПАР у адсорбційних шарах на межі поділу фаз змішаний розчин ПАР – повітря залежно від співвідношення компонентів, природи компонентів, значення рН середовища. Ці дослідження важливі для розв’язання низки практичних питань, передовсім пов’язаних із правильним підбором композицій ПАР – поліелектроліт, здатних ефективно знижувати міжфазну поверхневу енергію, зокрема у процесі водоочищення ПАР методом флокуляції. Комплексоутворення протилежно заряджених ПАР і поліелектролітів у водних розчинах вивчено у роботах [1, 9]. Для вирішення косметичної проблеми застосовано фізико-хімічний підхід при дослідженні адсорбції сумішей ПАР – поліелектроліт на поверхнях [10]. Практично відсутні відомості про енергетичні характеристики взаємодії компонентів (параметр міжчастинкової взаємодії тощо), особливо на межі з повітрям, про склад адсорбційних шарів, утворених за взаємодії низькомолекулярної та високомолекулярної ПАР. В практичному плані серед високомолекулярних ПАР (поліелектролітів) перспективні похідні целюлози, завдяки своїй низькій вартості та безпечності для екології та людини. На користь цього свідчать літературні дані по використанню натрієвої солі карбоксиметилцелюлози (НаКМЦ) у медицині [11, 12]. Фізико-хімічні та технологічні характеристики натрій карбоксиметилцелюлози з метою створення пролонгованих лікарських форм з рідким дисперсійним середовищем детально вивчені у роботі [11]. Запропоновані наномікрокомпозиційні раневі покриття на основі колагену і карбоксиметилцелюлози [12].

Дослідження взаємодії катіонних ПАР з карбоксиметилцелюлозою у водних розчинах представлені

в роботах *Neha Dhar* [13] і *Jitendra Mata* [14] з співавторами. Солевий ефект при утворенні комплексу між 1-додецил-3-метилімідазолій бромідом і Na-КМЦ у водному розчині викладений в [15]. Дослідження взаємодії між $C_{16}TAB$ і Na-КМЦ у напіврозведеному розчині на основі реологічних вимірів представлено в роботі [16]. Маловивченою залишається суміш HалГДП – Na-КМЦ, а саме поведінка обох ПАР на межі поділу фаз бінарний розчин ПАР – повітря.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – дослідити особливості поведінки броміду гексадецилпіридинію та натрієвої солі карбоксиметилцелюлози на межі поділу фаз бінарний водний розчин – повітря в залежності від різних факторів для подальшого надання рекомендацій по оптимізації поверхневого концентрування поверхнево-активних речовин катіонного типу.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- вивчити особливості поведінки броміду гексадецилпіридинію (БГДП) та натрієвої солі карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ) на межі поділу фаз бінарний водний розчин – повітря при різних масових співвідношеннях компонентів у розчинах в широкому діапазоні значень рН за незмінної концентрації катіонної ПАР;

- провести кількісний аналіз взаємодії БГДП і Na-КМЦ на межі поділу фаз розчин – повітря (розрахунок на основі псевдофазної моделі розподілення з використанням підходу Розена складу змішаних адсорбційних шарів і параметру міжчастинкової взаємодії у них компонентів);

- запропонувати оптимальні умови проведення процесу максимального поверхневого концентрування катіонних ПАР (солей алкілпіридинію, зокрема БГДП) із водних розчинів за присутності високомолекулярної аніонної ПАР (Na-КМЦ).

4. Матеріали і методи дослідження

В ході експерименту використано низькомолекулярну поверхнево-активну речовину (ПАР) катіонного типу: бромід гексадецилпіридинію (БГДП) $M_r=384$ фірми “TOP” (Україна) та високомолекулярну ПАР аніонного типу: натрієву сіль карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ) марки *Primellose* фірми Acros Organics (Бельгія), зі ступенем заміщення 0,7 та $M_r=9,0 \cdot 10^4$. Вибір в якості катіонної ПАР броміду гексадецилпіридинію $[R_nN^+C_6H_5]Br^-$ (R_n – вуглеводневий радикал нормальної будови ($CH_3 - CH_2 - \dots$)) обумовлений його використанням у хімічному аналізі, в промисловості як деемульгатору і комплексоутворювача, гербіциду, дезінфікуючого засобу, антистатика в текстильній промисловості, допоміжної речовини при фарбуванні бавовни, диспергатора у виробництві віскозного шовку тощо. Вибір базового полімеру для комбінування змішаних розчинів ПАР із синергетичною дією компонентів та дослідження їх поверхневих властивостей обумовлено тим, що Na-КМЦ $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2COONa)_x]_n$ у порівнянні з іншими синтетичними аналогами, наприклад, поліакриламідом, є менш дорогим, що при великих промислових об'ємах користування є важливим з економі-

чної точки зору. У водних розчинах Na-КМЦ проявляє властивості аніонної ПАР, добре сполучається з іншими природними й синтетичними полімерами, органічними сполуками. Широко використовується Na-КМЦ при виготовленні мийних засобів (“виконує функції” захисного колоїду, що перешкоджає зворотному осадженню бруду на тканини), в якості матриці захисних покриттів з металевими наповнювачами, диспергатора для синтезу нанорозмірних металоорганічних матеріалів [17].

Останнім часом Na-КМЦ використовують і у пожежній техніці як добавку для підвищення вогнетушильної здатності компресійної піни низької кратності (на прикладі, піноутворювача ПО-6РЗ) [18]. За присутності Na-КМЦ зменшується швидкість витікання рідкої фази внаслідок збільшення в'язкості, затримується вологість у піні, що набуває більш високої термостійкості.

Вихідні розчини низькомолекулярної катіонної ПАР і високомолекулярної аніонної ПАР приготовлено розчиненням точних наважок препаратів у дистильованій воді. Бінарні розчини БГДП – Na-КМЦ різного складу отримано змішуванням індивідуальних розчинів ПАР, приготовлених відповідно із препаратів кваліфікації “ч.д.а.” без додаткової очистки, та послідовним їх розбавленням.

Поверхневий натяг водних розчинів індивідуальних БГДП, Na-КМЦ та їх бінарних розчинів із масовим співвідношенням компонентів 0,0313 (Na-КМЦ):1,0 (БГДП), 0,0625 (Na-КМЦ):1,0 (БГДП), 0,125 (Na-КМЦ):1,0 (БГДП), 0,25 (Na-КМЦ):1,0 (БГДП), 0,5 (Na-КМЦ):1,0 (БГДП) і 1,0 (Na-КМЦ):1,0 (БГДП) визначено методом Вільгельмі (точність $\pm 0,5$ мДж/м²) за кімнатної температури (20 ± 1 °С) у широкому діапазоні значень рН середовища. Відповідну кислотність середовища підтримано додаванням (0,1–1,0) н розчинів соляної кислоти або натрію гідроксиду, приготовлених із реактивів кваліфікація “х.ч.”. Значення рН контролювано за допомогою іономеру ЄВ-74 з індикаторним склянним електродом марки ЕСЛ-43-07 (ТУ 25.05.2234-77) та хлоридосрібним електродом порівняння марки ЄВЛ.

Експерименти здійснено в п'яти повторах. Статистичну обробку результатів тензіометричних досліджень проведено з використанням загальноприйнятих методів варіаційної статистики за допомогою комп'ютерної програми «Microsoft Office Excel 2003» із визначенням *t*-критерію Стьюдента. Статистично вірогідною вважалась різниця при $p < 0,05$. Обробку експериментальних даних (розрахунок складу змішаних адсорбційних шарів на межі розділу фаз бінарний розчин ПАР – повітря, утворених БГДП і Na-КМЦ) здійснено за допомогою комп'ютерної програми “Solver&Setting”.

5. Результати дослідження та їх обговорення

Розчини низькомолекулярної катіонної ПАР (БГДП) володіють більш поверхнево-активними властивостями за розчини високомолекулярної аніонної ПАР (Na-КМЦ) в усьому діапазоні значень рН середовища при незмінній концентрації БГДП (в даному дослідженні ця концентрація складала 100 мг/л, або $6,2 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³) (рис. 1). В області значень рН сере-

довища, близьких до нейтрального, БГДП частково переходить у форму “псевдооснов“, адсорбційна здатність яких дещо менша за адсорбційну здатність катіонів гексадецилпіридинію в кислому середовищі. Аналогічна картина спостерігається в сильно лужному середовищі. При $\text{pH} \gg 9,0$ четвертинні солі алкілпіридинію перетворюються на поверхнево-активніші за псевдооснови третинні аміни. При переході від кислого до лужного середовища, значення поверхневого натягу розчину індивідуального Na-КМЦ поступово зменшувалось з 61,3 до 56,0 мДж/м² [$\sigma(\text{H}_2\text{O})^{20} = 72,75$ мДж/м², $K(\text{H}_2\text{O})=0,307$]. Ця закономірність повторювалась і за температури 14 ± 1 °С: поверхневий натяг розчину індивідуального Na-КМЦ зменшувався з 68,8 до 62,9 мДж/м² [$\sigma(\text{H}_2\text{O})^{14} = 73,64$ мДж/м², $K(\text{H}_2\text{O})=0,27$].

Експериментально встановлено, що поверхневі властивості бінарних розчинів БГДП – Na-КМЦ із малим вмістом поліелектроліту поліпшуються порівняно з поверхневими властивостями розчинів індивідуальних ПАР в досить широкому діапазоні значень рН середовища (рис. 1, а–з). З подальшим збільшенням в розчинах вмісту аніонного поліелектроліту до 0,5–1,0 мг на 1,0 мг БГДП спостерігається відносно розчину індивідуального БГДП виражений антагоні-

стичний ефект, особливо при $\text{pH}=3,5\text{--}6,5$ (рис. 1, д–е). Це є важливим і необхідно бути виключено технологіями при складанні різних композицій, які виготовляються для подальшого їх використання в технологіях, що потребують ефективного зниження міжфазної енергії. В цьому відношенні позитивні результати виявлені при масовому співвідношенні $m(\text{Na-КМЦ}):m(\text{БГДП}), \text{мг/мг} - (0,25:1,0)$, що є оптимальним в усьому дослідженому діапазоні значень рН середовища: від 2,2 до 9,3 (з вихідною концентрацією БГДП 100 мг/л з урахуванням подвійного розбавлення). Посилення міжмолекулярної взаємодії між компонентами різної природи супроводжується зростанням їх сумісної адсорбції на межі поділу фаз бінарний розчин ПАР – повітря. Від кислого до лужного середовища значення поверхневого натягу розчину суміші ПАР з масовим співвідношенням 0,25 (Na-КМЦ):1,0 (БГДП) є нижчими за значення поверхневого натягу розчинів індивідуальних ПАР (рис. 1, з). В цілому можна констатувати: слабко кисле, нейтральне та слабко лужне середовище є ефективними для комбінування досліджуваних сумішей БГДП і Na-КМЦ із вмістом високомолекулярної аніонної ПАР, що в 4–32 рази менше за вміст у бінарному розчині низькомолекулярної катіонної ПАР (рис. 1, а–з).

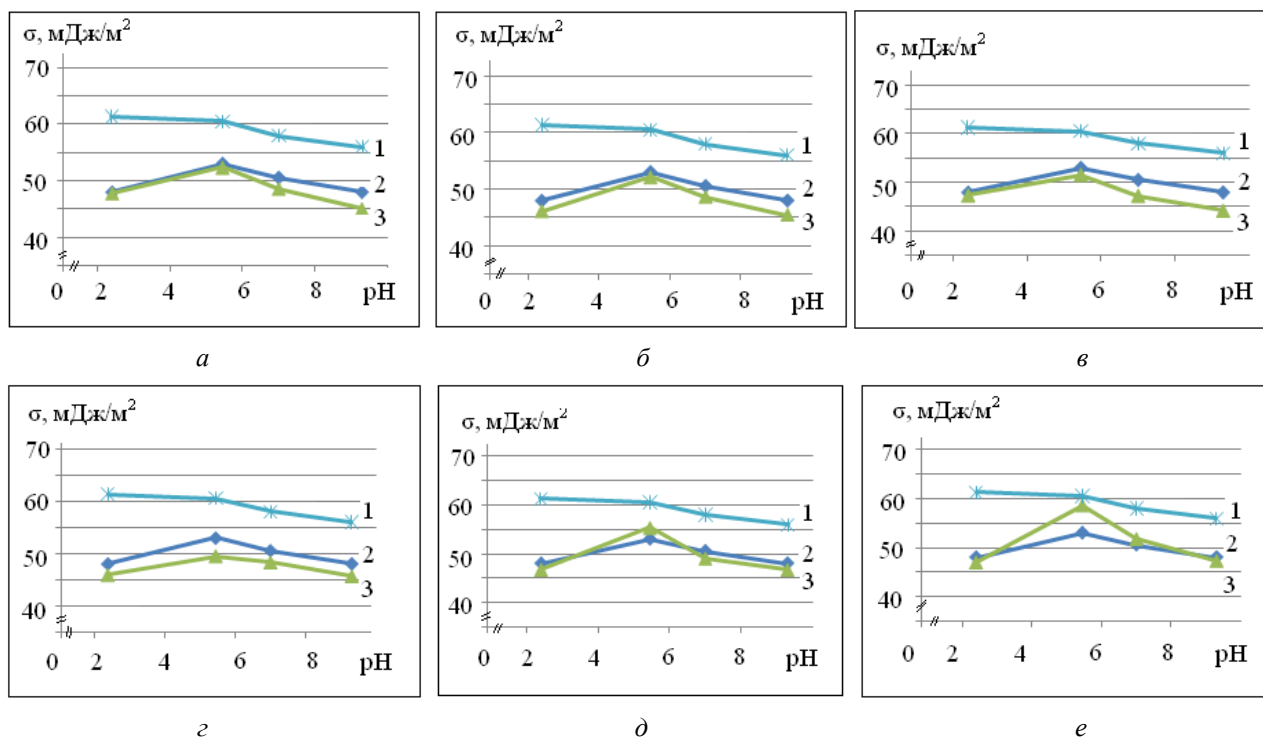
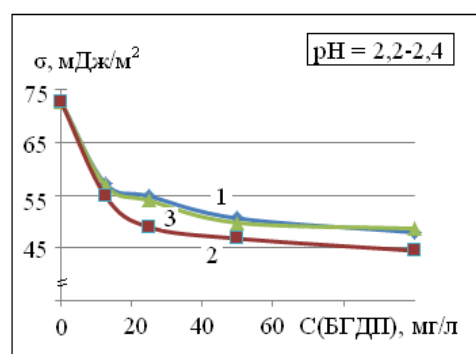


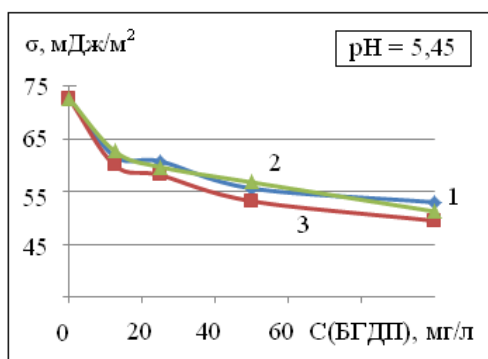
Рис. 1. Рівноважні значення поверхневого натягу розчинів індивідуальних Na-КМЦ (крива 1), БГДП (крива 2) та їх бінарних розчинів (крива 3) з масовим співвідношенням компонентів $m(\text{Na-КМЦ}) : m(\text{БГДП}), \text{мг/мг}$: а – 0,0313:1,0; б – 0,0625:1,0; в – 0,125:1,0; г – 0,25:1,0; д – 0,5:0,5; е – 1,0:1,0, в залежності від рН середовища при незмінній концентрації БГДП ($2,6 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³)

На рис. 2 представлені ізотерми поверхневого натягу розчинів індивідуального БГДП і бінарних розчинів БГДП – Na-КМЦ з різним масовим співвідношенням компонентів і значенням рН середовища. Зі зменшенням концентрації поверхнево-активних речовин суміші БГДП – Na-КМЦ із масовим співвідношенням $m(\text{Na-КМЦ}):m(\text{БГДП}), \text{мг/мг} - (0,50:1,0)$ при рН 2,2–2,4 в технологічному плані є неефектив-

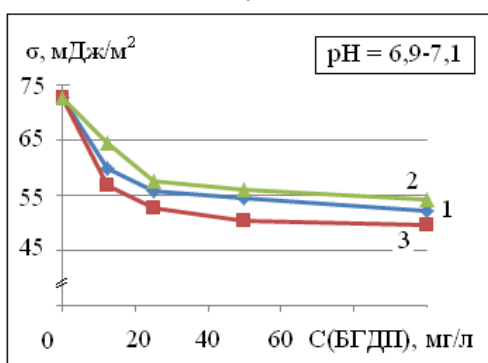
ною. Хоча при $C_{(\text{БГДП у суміші})}=100$ мг/л дана суміш ПАР із зазначеним вище масовим співвідношенням компонентів виявляла в сильно кислому середовищі малопомітний синергізм по поверхневому натягу (σ) (рис. 1, д). Аналогічне спостерігається при рН=5,45 для суміші БГДП – Na-КМЦ із масовим співвідношенням $m(\text{Na-КМЦ}):m(\text{БГДП}), \text{мг/мг} - (0,125:1,0)$.



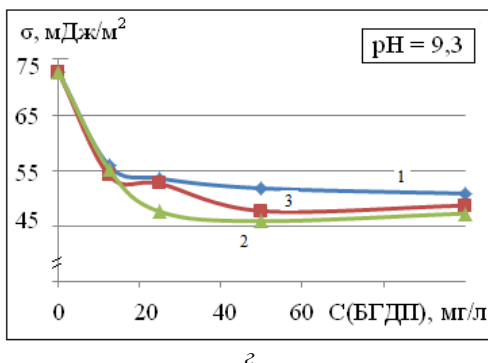
а



б



в



г

Рис. 2. Ізотерми поверхнього натягу розчинів індивідуального БГДП (крива 1) і бінарних розчинів ПАР (криві 2, 3) з різним масовим співвідношенням компонентів $m(\text{Na-КМЦ}):m(\text{БГДП})$ при фіксованих значеннях рН середовища: а – 2,2÷2,4 (крива 2 – 0,25:1,0; крива 3 – 0,50:1,0); б – 5,45 (крива 2 – 0,125:1,0; крива 3 – 0,25:1,0); в – 6,9÷7,1 (крива 2 – 0,0625:1,0; крива 3 – 0,125:1,0); г – 9,3 (крива 2 – 0,125:1,0; крива 3 – 0,25:1,0)

Ефективною при рН 2,2 і 5,4 в усьому досліджуваному концентраційному діапазоні є суміш із співвідношенням $m(\text{Na-КМЦ}):m(\text{БГДП})$, мг/мг – (0,25:1,0) (рис. 1, 2). В нейтральному і лужному сере-

довищах найбільше відхилення відносно зниження поверхнього натягу (σ) спостерігається при менших витратах Na-КМЦ, для суміші із співвідношенням $m(\text{Na-КМЦ}):m(\text{БГДП})$, мг/мг – (0,125:1,0). Ефективність дії бінарних сумішей БГДП і Na-КМЦ при виявлених синергетичних ефектах по σ визначається взаємодією компонентів у змішаних адсорбційних шарах на межі поділу фаз розчин – повітря.

Кількісний аналіз взаємодії низькомолекулярної катіонної ПАР і високомолекулярної аніонної ПАР у змішаних адсорбційних шарах здійснено на основі псевдофазної моделі розподілення з використанням теорії *by Rubing&Rosen* за формулами (1) і (2):

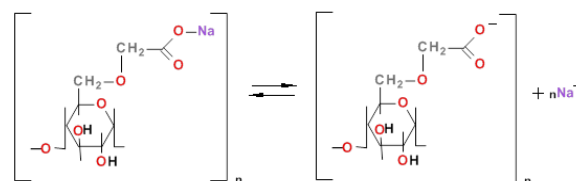
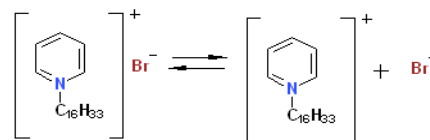
$$\frac{(x^\sigma)^2 \ln(\alpha C_{1,2}^\sigma / x^\sigma C_1^\sigma)}{(1-x^\sigma)^2 \ln[(1-\alpha)C_{1,2}^\sigma / (1-x^\sigma)C_2^\sigma]} = 1, \quad (1)$$

$$\beta^\sigma = \frac{\ln(\alpha C_{1,2}^\sigma / x^\sigma C_1^\sigma)}{(1-x^\sigma)^2}, \quad (2)$$

де α – мольна частка Na-КМЦ у розчині з БГДП; x^σ – мольна частка Na-КМЦ у адсорбційному шарі на межі поділу фаз розчин ПАР – повітря; C_1^σ , C_2^σ , $C_{1,2}^\sigma$ – молярні концентрації індивідуальних розчинів Na-КМЦ, БГДП і їхніх бінарних розчинів при певному значенні (σ); β^σ – параметр міжчастинкової взаємодії ПАР у адсорбційному шарі при фіксованому значенні (σ).

Одержані за рівнянням (2) значення параметру міжчастинкової взаємодії ПАР у адсорбційних шарах – β^σ (β^σ є енергетичною характеристикою взаємодії компонентів), негативні (табл. 1). Дане свідчить про те, що при самодовільно обраних $\sigma=58,0$ і $60,5$ мДж/м² при значеннях рН середовища 5,45 і 6,9–7,1 відбувається взаємодія компонентів у адсорбційних шарах на межі поділу фаз бінарний розчин ПАР – повітря.

Високі за абсолютною величиною значення параметра β^σ (7,87–8,16) вказують на складний механізм формування змішаних адсорбційних шарів, утворених із досліджуваних ПАР. Він пов'язаний із дією електростатичних взаємодій між катіонами гексадецилпіридинію і карбоксилат-іонами:



із дією сил Ван-дер-Ваальса, гідрофобних взаємодій та структуруванням води навколо іоногенних груп ПАР у їх бінарних розчинах. За взаємодії БГДП з Na-КМЦ утворюються самоорганізовані комплексно-подібні сполуки.

Таблиця 1

Параметри адсорбції БГДП і Na-КМЦ на межі поділу фаз розчин – повітря при фіксованому значенні поверхневого натягу (σ) і значенні рН середовища

σ , мДж/м ²	рН	α (Na-КМЦ)	$C_1^\sigma \cdot 10^5$	$C_2^\sigma \cdot 10^5$	$C_{1,2}^\sigma \cdot 10^5$	$C_{1,2}^\sigma \cdot 10^5$	x^σ (Na-КМЦ)	$-\beta^\sigma$
			(Na-КМЦ)	(БГДП)	(розр)	(експ)		
моль/дм ³								
m(Na-КМЦ):m(БГДП), мг/мг – (0,125:1,0)								
58,0	7,0	0,00053	0,11	4,69	4,59	1,44	0,3144	8,16
m(Na-КМЦ):m(БГДП), мг/мг – (0,25:1,0)								
60,5	5,5	0,00106	0,11	7,03	6,59	1,57	0,3642	7,87

6. Висновки

1. Вивчено особливості поведінки бромиду гексадецилпіридинію (БГДП) та натрієвої солі карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ) на межі поділу фаз бінарний водний розчин – повітря при різних масових співвідношеннях компонентів у розчинах в широкому діапазоні значень рН за незмінної концентрації катіонної ПАР.

2. Проведено кількісний аналіз взаємодії БГДП і Na-КМЦ на межі поділу фаз розчин – повітря. Розрахунок складу змішаних адсорбційних шарів і параметру міжчастинкової взаємодії у них компонентів, проведений на основі псевдофазної моделі розподілення з використанням підходу Розена показав, що вони збагачі катіонною ПАР. Мольна частка Na-КМЦ у змішаних адсорбційних шарах залежно від масового співвідношення компонентів у розчині і значення рН середовища варіює від 0,3144 до 0,3642. Негативні значення параметра β^σ свідчать про надлишкове притягання ПАР у змішаних адсорбційних шарах. Високі за абсолютною величиною значення параметра β^σ : 7,87–8,16 вказують

на відхилення від ідеальної поведінки компонентів при їх сумісній адсорбції на межі поділу фаз бінарний розчин ПАР – повітря. Ця інформація важлива, оскільки сфера застосування незвичайних властивостей таких організованих систем в різних областях науки і технологіях розширюється [19, 20], а значить потребує наукового обґрунтування їх складання з ефективною синергетичною дією в них компонентів.

3. Рекомендовано для екологів та спеціалістів, що займаються проблемою очищення технологічних водних розчинів і стічних вод від “біологічно жорстких” катіонних ПАР, якими є солі алкілпіридинію, в процесі флотаційної обробки для збільшення поверхневого концентрування катіонних ПАР із розбавлених водних розчинів вводити у слабко кислому або нейтральному середовищі високомолекулярний поверхнево-активний полімер аніонної природи у масовій кількості m(Na-КМЦ):m(САП), мг/мг – (0,25:1,0) та у слабко лужному середовищі у два рази зменшити витрату Na-КМЦ, де спостерігалось поліпшення поверхневих властивостей їх змішаних розчинів.

Література

- Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах [Текст] / К. Холмберг, Б. Йенсон, Б. Кронберг, Б. Линдман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 528 с.
- Кочкодан, О. Д. Термодинамические характеристики мицеллообразования как мера взаимодействия молекул воды и ПАВ [Текст]: сб. науч. тр. / О. Д. Кочкодан, Т. В. Кармазина // SWorld. – 2014. – Т. 30, № 4. – С. 91–96.
- Волювач, О. В. Адсорбція хлориду додецилпіридинію із розчинів, що містять Твіни (Твін-40, Твін-60) [Текст] / О. В. Волювач, О. О. Стрельцова // Український хімічний журнал. – 2011. – Т. 77, № 3. – С. 21–25.
- Волювач, О. В. Кількісна та термодинамічна оцінка взаємодії йодиду гексадецилпіридинію і Твіну-20 в змішаних водних розчинах і адсорбційних шарах [Текст] / О. В. Волювач // Вісник національного ун-ту “Львівська політехніка”. Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2013. – № 761. – С. 64–70.
- Стрельцова, Е. А. Аналіз адсорбції бромиду гексадецилпіридинію і алкілсульфата натрія на границі раздела фаз бінарний розчин ПАВ – воздух [Текст] / Е. А. Стрельцова, О. В. Волювач // Вісник Одеського національного ун-ту. Серія: Хімія. – 2009. – Т. 14, № 12. – С. 114–120.
- Пат. № 70434 UA. Миючий засіб на основі синергетичної комбінації катіонної та неіоногенної поверхнево-активних речовин. МПК C11D 1/72 [Текст] / Волювач О. В., Менчук В. В., Драгуновська О. І.; заявник та патентовласник Одеський національний університет імені І. І. Мечникова. – № u201114074; заявл. 29.11.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.
- Волювач, О. В. Колоїдно-хімічні закономірності вилучення солей гексадецилпіридинію із водних розчинів [Текст]: дис. ... канд. хім. наук / О. В. Волювач. – К., 2006. – 135 с.
- Волювач, О. В. Інтенсифікація процесу флотаційного вилучення додецилсульфату натрію із водних розчинів у присутності Твінів [Текст] / О. В. Волювач // Питання хімії та хімічної технології. – 2011. – № 6. – С. 194–199.
- Langevin, D. Complexation of oppositely charged polyelectrolytes and surfactants in aqueous solutions [Text] / D. Langevin // Advances in Colloid and Interface Science. – 2009. – Vol. 147–148. – P. 170–177. doi: 10.1016/j.cis.2008.08.013
- Llamas, S. Adsorption of polyelectrolytes and polyelectrolytes-surfactant mixtures at surfaces: a physico-chemical approach to a cosmetic challenge [Text] / S. Llamas, E. Guzman, F. Ortega, N. Baghdadli, C. Cazeneuve, R. G. Rubio, G. S. Luenzo // Advances in Colloid and Interface Science. – 2015. – Vol. 222. – P. 461–487. doi: 10.1016/j.cis.2014.05.007
- Жилиякова, Е. Т. Изучение физико-химических и технологических характеристик натрий карбоксиметилцеллюлозы с целью создания пролонгированных лекарственных форм с жидкой дисперсионной средой [Текст] / Е. Т. Жилиякова, Н. Н. Попов, М. Ю. Новикова, О. О. Новиков, М. А. Халикова, В. С. Казакова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. – 2011. – Т. 13-2, № 4 (99). – С. 146–153.

12. Иванкин, А. Н. Наномикрокомпозиционные раневые покрытия на основе коллагена и карбоксиметилцеллюлозы [Текст] / А. Н. Иванкин, В. И. Панферов, Х. А. Фахретдинов, Н. Л. Вострикова, А. В. Куликовский, П. М. Голованова // Лесной вестник. Рациональное использование лесных ресурсов и древесных продуктов. – 2015. – Т. 19, № 1. – С. 41–45.
13. Dhar, N. Interactions of nanocrystalline cellulose with an oppositely charged surfactant in aqueous medium [Text] / N. Dhar, D. Au, R. C. Berry, K. C. Tam // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2012. – Vol. 415. – P. 310–319. doi: 10.1016/j.colsurfa.2012.09.010
14. Mata, J. Interaction of cationic surfactants with carboxymethylcellulose in aqueous media [Text] / J. Mata, J. Patel, N. Jain, G. Ghosh, P. Bahadur // Journal of Colloid and Interface Science. – 2006. – Vol. 297, Issue 2. – P. 797–804. doi: 10.1016/j.jcis.2005.11.022
15. Liu, J. Salt effect on the complex formation between 1-dodecyl-3-methylimidazolium bromide and sodium carboxymethylcellulose in aqueous solution [Text] / J. Liu, L. Zheng, D. Sun, X. Wei // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2010. – Vol. 358, Issue 1-3. – P. 93–100. doi: 10.1016/j.colsurfa.2010.01.034
16. Wu, Q. Investigation on the interaction between C16TAB and NaCMC in semidilute aqueous solution based on rheological measurement [Text] / Q. Wu, M. Du, Y. Shangguan, J. Zhou, Q. Zheng // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2009. – Vol. 332, Issue 1. – P. 13–18. doi: 10.1016/j.colsurfa.2008.08.022
17. Антонова, Н. М. Разработка композиционных материалов на основе полимера Na-КМЦ с металлическими порошковыми наполнителями для формирования функциональных покрытий и пористых пленок [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Н. М. Антонова. – Новочеркасск, 2015. – 329 с.
18. Кокшаров, А. В. Повышение огнетушащей способности пены низкой кратности [Текст] / А. В. Кокшаров // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – № 4 (9). – С. 48–49.
19. Zhang, H. Solubilization of octane in cationic surfactant–anionic polymer complexes: Effect of ionic strength [Text] / H. Zhang, L. Deng, P. Sun, F. Que, J. Weiss // Journal of Colloid and Interface Science. – 2016. – Vol. 461. – P. 88–95. doi: 10.1016/j.jcis.2015.09.028
20. Tiitu, M. Ionically self-assembled carboxymethyl cellulose/surfactant complexes for antistatic paper coatings [Text] / M. Tiitu, J. Laine, R. Serimaa, O. Ikkala // Journal of Colloid and Interface Science. – 2006. – Vol. 301, Issues 1. – P. 92–97. doi: 10.1016/j.jcis.2006.04.072

Дата надходження рукопису 22.02.2017

Волювач Ольга Вячеславівна, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, кафедра мікробіології, вірусології та біотехнології, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса, Україна, 65082
E-mail: voluvach@ukr.net

Ішков Юрій Васильович, доктор хімічних наук, професор, кафедра органічної хімії, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса, Україна, 65082