

УДК 541.64:542

ФАЗОВА ПОВЕДІНКА ТА РЕОЛОГІЯ СУМІШЕЙ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТУ НАТРІЮ ТА БЕНЗЕТОНІЙ ХЛОРИДУ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ

В. Закордонський, Р. Кос, О. Бурка, М. Солтис

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія 6, 79005 Львів, Україна,
e-mail: zakordonskiy@franko.lviv.ua*

Вивчено оптичні та реологічні властивості змішаних розчинів протилежно заряджених іонних ПАР – аніонного додецилсульфату натрію та катіонного бензетоній хлориду. Змішування додецилсульфату натрію з бензетоній хлоридом супроводжується фазовим розшаруванням системи з появою, залежно від складу розчину, опалесценції, інтенсивної муті, а за стехіометричного співвідношення компонентів – осаду. Досліджені системи мають нелінійний характер реологічної поведінки. В'язкість змішаних розчинів різко зростає зі збільшенням сумарної концентрації та вмісту катіонного бензетоній хлориду в системі.

Ключові слова: бензетоній хлорид, додецилсульфат натрію, змішані розчини, фазова поведінка, в'язкість.

Багатокомпонентні суміші поверхнево-активних речовин (ПАР) останніми десятиріччями є об'єктом інтенсивних досліджень прикладного та теоретичного спрямування [1–4]. Особливо цікавими є суміші протилежно заряджених іонних ПАР, відомих сьогодні як “катаніонні ПАР”. Поведінка цих сумішей визначається співвідношенням високоспецифічної сильної електростатичної взаємодії протилежно заряджених іонів та неспецифічної гідрофобної взаємодії неполярних вуглеводневих радикалів [5–8]. Для них характерними є яскраво виражені процеси самоасоціації, які супроводжуються формуванням міжмолекулярних агрегатів, розміри та структура (будова) яких залежать від молярного співвідношення, сумарної концентрації та природи ПАР, температури тощо [9–14]. Залежно від температури, концентраційних та інших чинників на фазовій діаграмі змішаних розчинів протилежно заряджених ПАР простежуються області різного фазового складу, у тім числі ізотропні водні фази, міцелярні фази, моно- та мультиміцелярні утворення тощо [8–11, 14–16].

Особливості структурної та фазової організації розчинів сумішей протилежно заряджених ПАР визначають складний характер реологічної поведінки цих систем [17–20]. Типовою є наявність максимуму на кривих залежності відносної в'язкості суміші від концентрації розчину. В окремих випадках зафіксовано зростання в'язкості суміші на декілька порядків порівняно з розчинами індивідуальних ПАР заданої концентрації [5, 8, 21–23], що пов'язано з утворенням гігантських червоподібних (wormlike) міцел та формуванням міцелярної просторової сітки. Загалом для таких сумішей характерним є різке зростання в'язкості системи за незначної зміни концентрації або молярного співвідношення компонентів у розчині та зміна реологічної поведінки системи – від ньютонівської течії до течії з ознаками тиксотропії та високоеластичності [15–17, 24, 25].

Непрогнозованість та аномальний характер поведінки сумішей ПАР пов'язані з особливостями міжмолекулярної взаємодії та яскраво вираженим синергетичним ефектом, що виявляється у посиленні взаємного впливу компонентів на поверхневі та об'ємні властивості системи [1]. У попередніх публікаціях [26, 27] ми проаналізували вплив міжмолекулярної взаємодії на поверхневу активність, процеси міцелуутворення, електричні та оптичні властивості бінарних сумішей ПАР різної природи.

Розглянемо фазову поведінку та реологічні властивості водних розчинів сумішей протилежно заряджених іонних ПАР – аніонного додецилсульфату натрію $n\text{-C}_{12}\text{H}_{25}\text{OSO}_3\text{Na}$ (ДСН, Aldrich, вміст активної речовини – 97 %) та катіонного бензил(диметил)2-{2-[4-(1,1,3,3-тетраметил-бутил)фенокси]етокси}етиламоній хлориду [*iso*- $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{C}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_2\text{N}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5]^+\text{Cl}^-$ (БТХ, бензетоній хлорид, Nuamine-1622, Aldrich, вміст активної речовини – 97 %).

Досліджувані системи виготовляли змішуванням вихідних розчинів ПАР заданої концентрації. Усі розчини виготовляли на бідистильованій воді. Для стабілізації властивостей розчини після приготування витримували за кімнатної температури впродовж 24 год. Оптичну густину досліджуваних систем визначали за допомогою концентраційного фотокалориметра КФК-3 ($\lambda = 540$ нм). Відносну в'язкість

$$\eta_{\text{відн}} = \frac{\tau_{\text{розч}}}{\tau_{\text{H}_2\text{O}}}, \text{ де } \tau_{\text{розч}} \text{ та } \tau_{\text{H}_2\text{O}} - \text{ час витікання розчину та води за заданої}$$

температури, вимірювали за допомогою капілярного віскозиметра Уббелодє з діаметром капіляра 0,86 мм. Усі вимірювання виконували за температури $20 \pm 0,1$ °С. Досліджені системи охоплюють інтервал сумарних концентрацій ПАР від 10^{-5} до 10^{-1} моль/л за молярного співвідношення БТХ/ДСН $\alpha_{\text{БТХ}} = 0,2\text{--}0,8$.

Концентраційні залежності оптичної густини бінарних розчинів БТХ-ДСН показано на рис. 1, 2.

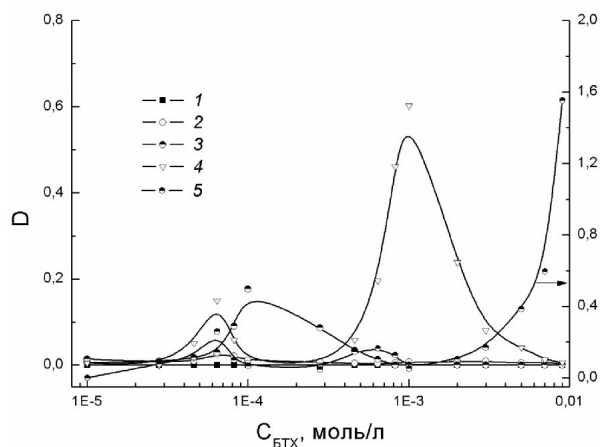


Рис. 1. Залежність оптичної густини бінарних сумішей від концентрації БТХ з різним вмістом ДСН, моль/л: 1 – 0; 2 – 1×10^{-5} ; 3 – 1×10^{-4} ; 4 – 1×10^{-3} ; 5 – 1×10^{-2} .

Як бачимо, залежність оптичної густини розчинів катіонного БТХ суттєво залежить від добавок ДСН. Наприклад, для розчинів з невеликою (1×10^{-5} моль/л) добавкою ДСН характерна незначна опалесценція і оптична густина мало залежить від концентрації БТХ (див. рис. 1, крива 2). Підвищення вмісту ДСН у розчині понад 10^{-4} моль/л призводить до різкого збільшення оптичної густини розчину. Оптичну гуστину цих систем описують кривими з чітко вираженими максимумами (див. рис. 1, криві 3–5), а за концентрації ДСН 10^{-3} – 10^{-2} моль/л на концентраційній залежності оптичної густини простежуються декілька максимумів. Той факт, що перший, порівняно слабкий, максимум припадає на доміцелярну область концентрацій (критичні концентрації міцелоутворення (ККМ) для БТХ і ДСН становлять, відповідно, $3,4 \times 10^{-3}$ та 8×10^{-3} моль/л [22, 27]), свідчить про те, що формування нової фази у цьому випадку відбувається внаслідок іонообмінної взаємодії переважно неасоційованих молекул обох ПАР. Поява максимумів на залежностях у випадку більш концентрованих розчинів ДСН та зміщення їх в область надміцелярних розчинів БТХ засвідчує зміну механізму формування міжмолекулярних утворень (асоціатів).

На рис. 2 показано залежність оптичної густини змішаних розчинів з різним молярним співвідношенням БТХ/ДСН від сумарної концентрації ПАР.

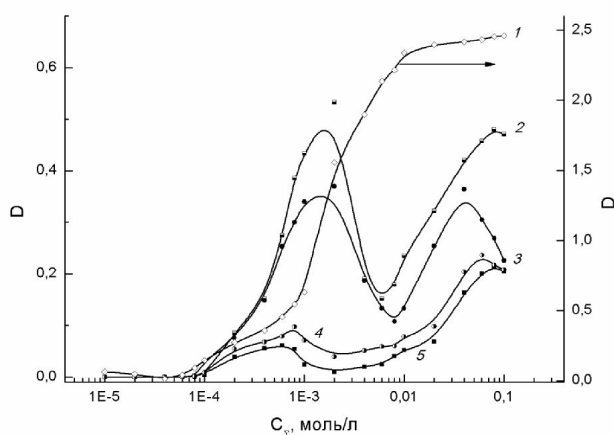


Рис. 2. Залежність оптичної густини розчинів бінарних сумішей ПАР від мольної частки БТХ у розчині: 1 – 0,5; 2 – 0,6; 3 – 0,4; 4 – 0,8; 5 – 0,2.

Підвищення сумарної концентрації ПАР призводить до збільшення оптичної густини розчину. У цьому разі найбільш виражено вплив концентрації простежується для розчинів зі співвідношенням БТХ/ДСН, близьким до стехіометричного ($\alpha_{\text{БТХ}} = 0,4$ – $0,6$, рис. 2, криві 1–3), а за співвідношення БТХ/ДСН $\alpha = 0,5$ в області надміцелярних концентрацій відбувається утворення осаду з повним розділенням системи на дві фази – прозорий розчин і осад. За надлишку одного з компонентів бінарні суміші в широкому концентраційному інтервалі є оптично прозорими зі слабкими ознаками опалесценції.

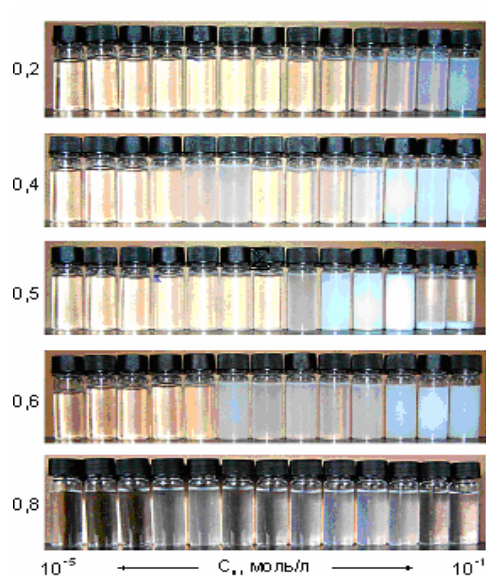


Рис. 3. Фотозображення змішаних розчинів ДСН–БТХ з різним молярним співвідношенням БТХ/ДСН та сумарною концентрацією ПАР.

Мультипиковий характер концентраційної залежності оптичної густини від складу змішаних розчинів (див. рис. 1, 2) свідчить про кооперативний характер міжмолекулярної взаємодії компонентів системи і про залежність фазової структури системи від її складу. Одержані результати свідчать про те, що взаємодія аніонного ДСН з катіонним БТХ супроводжується явно вираженим фазовим розшаруванням системи з появою залежно від складу опалесценції, помутніння. В окремих випадках простежується утворення осаду.

Як ілюстрацію до сказаного на рис. 3 показано фотозображення змішаних розчинів залежно від молярного співвідношення БТХ/ДСН та сумарної концентрації ПАР.

На підставі результатів оптичних вимірювань побудовано фазову діаграму системи БТХ–ДСН–Н₂O (рис. 4).

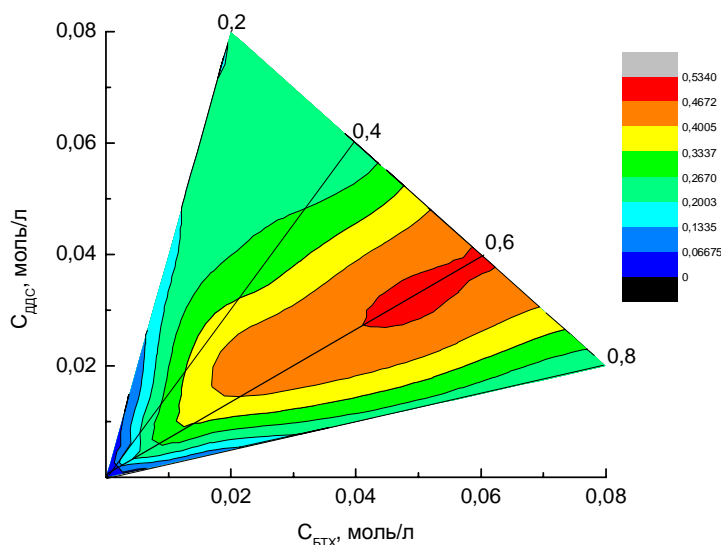


Рис. 4. Фазова діаграма водних розчинів ДСН–БТХ.

На фазовій діаграмі можна виділити окремі області, для яких характерні різні значення оптичної густини. Зазначимо, що фазовій діаграмі дослідженої системи характерна певна концентраційна симетрія, що є типовим для бінарних сумішей на основі додецилсульфату натрію з катіонними ПАР різної природи [12, 14, 28]. Підвищення надлишку одного з компонентів у суміші супроводжується зменшенням оптичної густини системи і формуванням оптично ізотропних фаз. Водночас область

максимальних значень оптичної густини, як видно з рис. 4, зсунута в бік збагачених катіонним БТХ бінарних систем ($\alpha_{\text{БТХ}} = 0,6$). Відсутність прямої кореляції між значенням оптичної густини та концентрації окремих компонентів свідчить про те, що області з однаковим рівнем оптичної густини за заданого концентраційного співвідношення компонентів та різної сумарної концентрації ПАР відповідають фазам з різною мікроструктурою.

Відомо, що процеси міжмолекулярної взаємодії в розчинах ПАР залежно від природи та концентраційного співвідношення компонентів супроводжуються формуванням міжмолекулярних агрегатів різної мікроструктури, включаючи утворення міцелярної та надміцелярної природи. За еквімолярного співвідношення протилежно заряджених ПАР унаслідок сильно вираженої іонної взаємодії в розчині утворюються нерозчинні у воді міжмолекулярні агрегати гідрофобної природи, які випадають в осад. З відхиленням від стехіометрії відбувається стабілізація утворених надмолекулярних агрегатів унаслідок підвищення ефективного заряду та посилення електростатичного відштовхування однойменного заряджених міцелярних утворень змішаного типу [4, 5, 18]. Тому макрофазове розшарування системи (формування осаду) виявляється, зазвичай, лише у випадку еквімолекулярних сумішей протилежно заряджених ПАР, як це простежується для досліджених нами систем (див. рис. 1). Коли одна з поверхнево-активних речовин є в надлишку, осад знову розчиняється за утворенням оптично однорідних фаз різної структури у вигляді стабільних самоорганізованих надмолекулярних утворень [6, 9, 16, 21].

Якщо в розбавлених розчинах більш вигідним є утворення сферичних міцел, то з підвищенням концентрації енергетично та термодинамічно вигідним є формування аксіально видовжених надмолекулярних утворень. В області високих концентрацій найбільш термодинамічно стійкими є мультиламелярні та мультипластинчасті фази [5, 6, 16]. Формування таких фаз за концентрацій обох ПАР, суттєво вищих від критичної концентрації міцелоутворення, супроводжується явно вираженими процесами структурування розчину та збільшення в'язкості розчинів, що підтверджують отримані нами результати реологічних досліджень змішаних розчинів ДСН–БТХ з використанням методів капілярної віскозиметрії.

На рис. 5 результати віскозиметричних вимірювань досліджених бінарних сумішей показано у вигляді залежності відносної в'язкості від концентрації БТХ за сталого вмісту ДСН. Зазначимо, що в області доміцелярних концентрацій в'язкість розчинів індивідуальних ДСН та БТХ (див. рис. 5, криві 1, 6) практично не відрізняється від в'язкості води. В області міцелярних концентрацій на реологічних кривих індивідуальних ПАР простежується висхідна ділянка, що є відображенням процесів міцелоутворення та формування нової, міцелярної фази.

Реологічні характеристики бінарних сумішей ДСН–БТХ в області доміцелярних (10^{-5} – 10^{-4} моль/л) концентрацій ДСН практично не відрізняються від властивостей розчинів індивідуального БТХ (див. рис. 5, криві 1–3). Водночас подальше підвищення вмісту аніонного ДСН суттєво впливає на реологічну поведінку бінарної суміші. Це виражається у підвищенні в'язкості та появі на реологічній кривій максимуму (див. рис. 5, криві 4, 5), положення якого з підвищенням вмісту БТХ зміщується в область нижчих концентрацій.

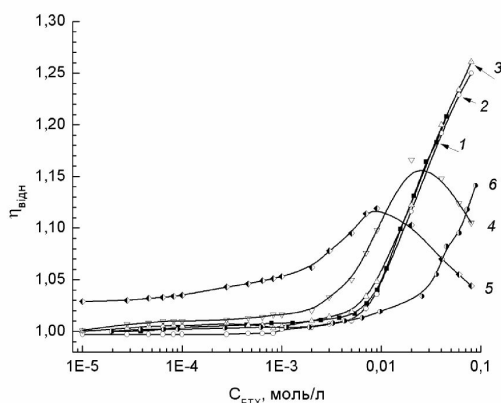


Рис. 5. Залежність $\eta_{\text{вдн}}$ розчинів БТХ (1), ДСН (6) та змішаних розчинів від концентрації БТХ за сталого вмісту ДСН, моль/л: 2 – 10^{-5} ; 3 – 10^{-4} ; 4 – 10^{-3} ; 5 – 10^{-2} .

На рис. 6 показано залежність в'язкості бінарних розчинів від сумарної концентрації ПАР за сталого молярного співвідношення компонентів. Як бачимо, підвищення вмісту катіонного БТХ супроводжується зростанням в'язкості розчину на декілька порядків уже за незначної зміни концентраційного співвідношення компонентів. Найпомітніше це виявляється для бінарних розчинів зі співвідношенням БТХ/ДСН, положення яких на фазовій діаграмі (див. рис. 4) відповідає області максимальних значень оптичної густини. Проте чіткої відповідності між рівнем структурованості системи, мірою якого є в'язкість розчину, та оптичними характеристиками бінарних розчинів не простежується.

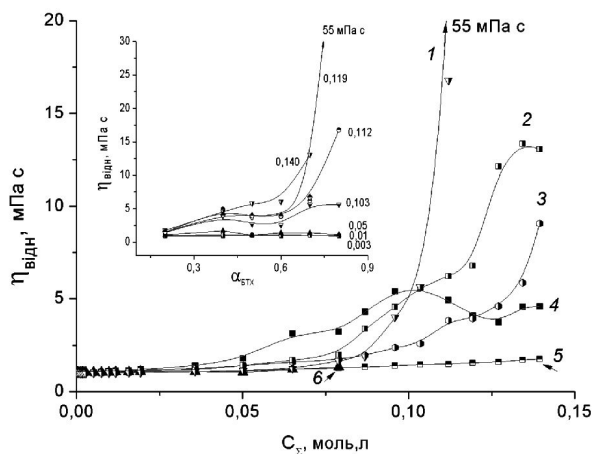


Рис. 6. Залежність $\eta_{\text{вдн}}$ змішаних розчинів від сумарної концентрації ПАР за мольної частки $\alpha_{\text{БТХ}}$ в суміші: 1 – 0,8; 2 – 0,7; 3 – 0,6; 4 – 0,4; 5 – 0,2; 6 – 0,5.

Вставка – залежність $\eta_{\text{вдн}}$ змішаних розчинів ДСН–БТХ від мольної частки БТХ за сталого сумарної концентрації ПАР (моль/л, цифри біля кривих).

Це ілюструється даними, показаними на вставці рис. 6, де показано залежність відносної в'язкості змішаних розчинів від молярного співвідношення компонентів за фіксованого значення сумарної концентрації ПАР. Як бачимо, найвищі значення відносної в'язкості в області сумарних концентрацій $C_{\Sigma} > 0,10$ моль/л зафіксовано для розчинів з $\alpha_{\text{БТХ}} = 0,8$. За даними оптичних вимірювань, ці розчини мають порівняно низький рівень оптичної густини (див. рис. 3, крива 4) і їх можна розглядати як оптично прозорі (ізотропні) системи. Водночас для цих систем характерними є явно виражені процеси гелеутворення та різке зростання ступеня структурованості уже за незначного збільшення сумарної концентрації ПАР. З огляду на це вимірювання відносної в'язкості змішаних розчинів з $\alpha_{\text{БТХ}} = 0,8$ за сумарної концентрації $C_{\Sigma} \geq 0,140$ моль/л стало неможливим. Подібний характер структурно-реологічної поведінки загалом типовий для водних розчинів катаніонних ПАР [13, 15, 18, 22, 25, 29]. Зазвичай, різке зростання ступеня структурованості та зміна їхньої мікроструктури простежується для розчинів, збагачених катіонним компонентом. Певною мірою це пов'язано з особливостями структури молекул катіонних ПАР [12, 18]. Важливу роль у цьому відіграє баланс електростатичної та гідрофобної взаємодії [4, 5].

Отже, взаємодія натрій додецилсульфату та бензетоній хлориду в водних розчинах супроводжується явно вираженими процесами гетерогенізації системи і фазовим розшаруванням системи з появою, залежно від складу розчину, опалесценції, інтенсивної муті, а за стехіометричного співвідношення компонентів – осаду. Оптична густина змішаних розчинів у широкому концентраційному інтервалі описують мультипіковими кривими, що свідчить про кооперативний характер міжмолекулярної взаємодії і формування, залежно від складу розчину, міжмолекулярних асоціатів різної мікроструктури. Досліджені системи характеризуються нелінійним характером реологічної поведінки. Ступінь структурованості та в'язкість змішаних розчинів різко зростає зі збільшенням сумарної концентрації ПАР та вмісту катіонного бензетоній хлориду в системі.

1. *Rosen J. Milton.* Surfactants and Interfacial Phenomena: Third Edition. John Wiley & Sons, 2004.
2. *Холмберг К.* Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний., 2007.
3. *Kume G.* Review on anionic/cationic surfactant mixtures // *J. Surfact. Deterg.* 2008. Vol. 11. P. 1–11.
4. *Zana R.* Dimeric and oligomeric surfactants. Behavior at interfaces and in aqueous solution. Review // *Adv. Coll. Interface Sci.* 2002. Vol. 97. P. 205–253.
5. *Li-Sheng Yao, Peng Yu, Yan-Qing Nan.* Salt effect on rheological properties of the aqueous mixed cationic and anionic surfactant systems // *Colloids Surf. A. Physicochem. Eng. Aspects.* 2010. Vol. 361. P. 187–195.
6. *Shubert B. A., Kaler E. W., Wagner N. J.* The Microstructure and Rheology of Mixed Cationic/Anionic Wormlike Micelles // *Langmuir.* 2003. Vol. 19. P. 4079–4089.
7. *Kaler Eric W., Herrington Kathleen L., Miller David D., Zasadzinski Joseph A.* Phase Behavior of Aqueous Mixtures of Anionic and Cationic Surfactants along a Dilution Path // *NATO ASI Series.* 1992. Vol. 369. P. 571–577.

8. *Yi-Lan You, Li-Sheng Hao, Yan-Qing Nan.* Phase behavior and viscous properties of cetyltrimethylammonium bromide and sodium dodecylsulfonate aqueous mixtures // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* 2009. Vol. 335. P. 154–167.
9. *Marques E. F., Regev O., Khan Ali et al.* Vesicle Formation and General Phase Behavior in the Catanionic Mixture SDS-DDAB-Water. The Anionic rich Side // *J. Phys. Chem. B.* 1998. Vol. 102. P. 6746–6758.
10. *Bergström M., Pederson J. Skov.* Formation of Tablet-Shaped and Ribbonlike Micelles in Mixtures of an Anionic and a Cationic Surfactant // *Langmuir.* 1999. Vol. 15. P. 2250–2253.
11. *Kaler Eric W., Herrington Kathlen L., Kamalakara M., Zasadinski J. A.* Phase behavior and Structure of Mixture of Anionic and Cationic Surfactants // *J. Phys. Chem.* 1992. Vol. 96. P. 6698–6707.
12. *Bergström M., Pederson J. Skov, Schurteberger P., Egelhaaf S. U.* Small-Angle Neutron Scattering (SANS) Study of Vesicles and Lamellar Sheets Formed from Mixtures of an Anionic and Cationic Surfactant // *J. Phys. Chem B.* 1999. Vol. 103. P. 9888–9897.
13. *Soderman Olle, Herrington Kathleen L., Kaler Eric W.* Transition from Micelles to Vesicles in Aqueous Mixtures of Anionic and Cationic Surfactants // *Langmuir* 1997. Vol. 13. P. 5531–5538
14. *Yazhuo Shang, Honglai Liu, Ying Hu, John V. Prausnitz.* Phase behavior and microstructures of the Gemini (12-3-12, Br)-SDS-H₂O ternary // *Colloids Surf. A. Physicochem. Eng. Aspects.* 2007. Vol. 294. P. 203–211.
15. *Koehler R. D., Shrinisava R. Raghavan, Kaler Eric W.* Microstructure and Dynamic of Wormlike Micellar Solutions Formed by Mixing Cationic and Anionic Surfactants // *J. Phys. Chem. B.* 2000. Vol. 104. P. 11035–11044.
16. *Durga P. Acharya, Hironobu Kunieda.* Wormlike micelles in mixed surfactant solutions // *Adv. Coll. Interface Sci.* 2006. Vol. 123–126. P. 401–413.
17. *Lopez-Diaz D., Garsia-Mateos I., Velasquez M.* Synergism in mixtures of zwitterionic and ionic surfactants // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* 2010. Vol. 270–271. P. 153–162.
18. *Akbas H., Sidim T.* The viscous Properties of Anionic/Cationic and Cationic/Nonionic mixed Surfactant System // *Colloid J.* 2005. Vol. 67. N 5. P. 581–586.
19. *Radhavan Srinisava R., Gerhard F. Kaler Eric W.* Wormlike Micelles Formed by Synergetic Self-Assembly in Mixtures of Anionic and Cationic Surfactants // *Langmuir.* 2002. Vol. 18. P. 3797–3803.
20. *Kochurova N. N., Airapetova E. R., Abdulin N G. et al.* Viscosity of Aqueous Micellar Solutions of Surfactants // *Colloid J.* 2012. Vol. 74. N 5. P. 564–568.
21. *Kuryashov D. F., Philippova O. T., Molchanov V. S. et al.* Temperature Effect on the Viscoelastic Properties of Solutions of Cylindrical Mixed Micelles of Zwitterionic and Anionic Surfactants // *Colloid J.* 2010. Vol. 72. N 2. P. 230–235.
22. *Safonova E. A., Alekseeva M. V., Mokrushina L. V. et al.* The structure and rheology of mixed micellar solutions of sodium dodecyl sulfate and dodecyldimethylamine oxide // *Russian J. Phys. Chem. A.* 2006. T. 80. N 6. P. 915–921.
23. *Rojas Mario R., Muller Alejandro J., Saez A. Eduardo.* Effect of ionic environment on the rheology of wormlike micelle solutions of mixtures of surfactants with opposite charge // *J. Coll. Interface Sci.* 2010. Vol. 342. P. 103–109.
24. *Angelescu D., Khan Ali, Caldaru H.* Viscoelastic Properties of Sodium Dodecyl Sulfate with Aluminium Salt in Aqueous Solution // *Langmuir.* 2003. Vol. 19. P. 9155–9161.

25. *Haiqing Yin, Yiyang Lin, Jianbin Huang* // Microstructures and rheological dynamics of viscoelastic solutions in cationic surfactant system // *J. Coll. Interface Sci.* 2009. Vol. 338. P. 177–183.
26. *Закордонський В., Солтис М., Сачко А., Герман О.* Концентраційна аномалія еквівалентної електропровідності водних розчинів бінарних сумішей ПАР // *Вісник Львів. ун-ту. Сер. хім.* 2010. Вип. 51. С. 312–320.
27. *Закордонський В., Сачко А.* Міжмолекулярна взаємодія у розчинах бінарних сумішей поверхнево-активних речовин // *Праці НТШ. Хемія і біохемія.* 2011. Т. 28. С. 84–104.
28. *Herrington Kathleen L., Kaler Eric W., Miller David D. et al.* Phase behavior of Aqueous Mixtures of DodecyltrimethylammoniumBromide (DTAB) and Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) // *J. Phys. Chem.* 1993. Vol. 97. P. 13792–13802.
29. *Zhang S., Teng H.* Rheology and Microstructure Studies of SDS/CTAB/H₂O System // *Colloid J.* 2008. Vol. 70. N 1. P. 105–111.

PHASE BEHAVIOR AND REOLOGY OF THE MIXTURES SODIUM DODECYSULFATE AND BENZETONIUM CLORIDE

V. Zakordonskiy, R. Kos, O. Burka, M. Soltys

*Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla & Mefodia Str. 6, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: zakordonskiy@franko.lviv.ua*

The phase behaviour and rheology of the mixture of anionic sodium dodecylsulfate (SDS) and benzethonium chloride (BTC) was studied. Obtained results lead to the conclusion that the interaction of sodium dodecyl sulfate and chloride benzetony in aqueous solutions is accompanied by pronounced heterogenization of the system with the appearance of the opalescence or intensive turbidity. At the stoichiometric ratio of the components in the system takes place formation of a precipitate. On the phase diagram of the quasi-ternary system SDS–BTC–H₂O identified areas with different levels of optical density. The area of maximum optical density values is shifted towards of the solutions enriched in cationic benzethonium. Increase in the mixture an excess of one of the components is accompanied by a decrease in optical density and the formation of optically isotropic phase. The optical density of the mixed solutions in a wide concentration range are described by the curves with multiple peaks. This indicates that the processes of intermolecular interactions are cooperative nature and are accompanied by the formation of intermolecular associates a various microstructure. The investigated systems are non-linear rheological behavior. Viscosity properties of binary mixtures DDS–BTC at the concentrations 10⁻⁵–10⁻⁴ mol/L do not differ from the properties of individual solutions of the surfactants. However, further increase in the content of the surfactants significantly affect the rheological behavior of binary mixtures. This is reflected in the increase in relative viscosity and appearance of the rheological curve maximum, whose position with increasing BTC-content shifted to the region of lower surfactant concentration.

Key words: cationic-anionic surfactants, aqueous mixtures, phase behavior, rheology.

Стаття надійшла до редколегії 29.10.2014

Прийнята до друку 30.12.2014