

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)
УДК 541.182:541.183:622.765

Поступила в редакцию 20.12.2016
Received 20.12.2016

Ф. Ф. Можейко, Л. В. Дихтневская, И. И. Гончарик, В. В. Шевчук

*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТВОРАХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Аннотация. Исследовано влияние неорганических электролитов на пенообразующие свойства и состав адсорбционного слоя растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) на границе раздела раствор–воздух. Показано, что введение неорганических электролитов в пенную систему равноценно повышению олеофильности пенообразователя. Рассмотрены пути регулирования пенообразования поверхностно-активных веществ в солевых средах с использованием метода солюбилизации олеофильных органических соединений, создания композиций на основе поверхностно-активных гомологов, сочетания ПАВ катионного и анионного типов, изменения состава растворяющей среды.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, неорганические электролиты, адсорбционный слой, пенообразование

Для цитирования. Регулирование пенообразования поверхностно-активных веществ в растворах неорганических электролитов / Ф. Ф. Можейко [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 37–45.

F. F. Mozheyko, L. V. Dikhtievskaya, I. I. Gancharik, V. V. Shevchuk

*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus*

REGULATION OF SURFACTANT FOAMING IN SOLUTIONS OF INORGANIC ELECTROLYTES

Abstract. The influence of inorganic electrolytes on foam-forming properties and structure of the adsorptive layer of surfactants solutions at the solution-air interface has been investigated. It has been shown that introduction of inorganic electrolytes into the foam system is equivalent to the increase of foaming agent oleophilicity. Ways to regulate the foaming of surfactants in salt media using oleophilic organic compounds solubilization method, creation of compositions based on surface active homologues, combination cationic and anionic type surfactants, changes in the composition of the solvent medium are considered.

Keywords: surfactants, inorganic electrolytes, adsorptive layer, foaming

For citation. Mozheyko F. F., Dikhtievskaya L. V., Gancharik I. I., Shevchuk V. V. Regulation of surfactant foaming in solutions of inorganic electrolytes. *Vestsi Natsyianal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 37–45 (In Russian).

Введение. Процесс формирования пен, представляющих собой лиофобную дисперсию газа в жидкости в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ), определяется главным образом адсорбцией и образованием на поверхности раздела жидкость–газ адсорбционных ориентированных слоев молекул ПАВ. Пенообразование в растворах электролитов отличается рядом особенностей, обусловленных действием трех основных факторов: экранирование и нейтрализация заряда полярных групп молекул ПАВ противоионами, снижение степени гидратации молекул ПАВ, изменение структуры растворителя – воды. Существует тесная связь поверхностных свойств растворов ПАВ с их объемными свойствами. Поэтому регулирование процесса пенообразования можно осуществлять как за счет использования ПАВ соответствующей природы, так и путем воздействия различных факторов для целенаправленного изменения всего комплекса коллоидно-химических свойств растворов ПАВ, что в свою очередь отражается на технологических свойствах последних, в частности, в процессах флотации растворимых солей, проводимых в концентрированных растворах неорганических электролитов [1, 2].

Цель работы – исследование пенообразования растворов ПАВ как функции состава адсорбционных слоев на границе раствор–воздух и путей регулирования этого процесса в растворах неорганических электролитов.

Экспериментальная часть. В качестве основных объектов исследования использованы ионогенные ПАВ различных классов: катионные – соли алкиламинов, анионные – соли алкилсульфатов, соли карбоновых кислот.

Пенообразующую способность оценивали по объему пены, получаемой методом встряхивания определенного объема раствора ПАВ в течение определенного времени. Наиболее чувствительным индикатором состояния молекул ПАВ на границе раздела раствор–воздух является поверхностное натяжение (σ) [3], которое измеряли методом отрыва пластинки с точностью $\pm 0,2$ мДж/м².

На рис. 1 представлены изотермы поверхностного натяжения $\sigma(\ln C)$ растворов хлоридов алкиламмония в зависимости от длины цепи ПАВ (рис. 1, а) и концентрации неорганического электролита – хлорида натрия (рис. 1, б), а в табл. 1 – параметры поверхностного слоя и мицеллярной фазы, рассчитанные по общепринятой схеме из полученных экспериментальных данных. Как видно, добавление неорганического электролита в растворы ионогенных мицеллообразующих ПАВ приводит к повышению их поверхностной активности G_m и величины максимальной адсорбции Γ_m , а следовательно, плотности упаковки молекул в поверхностном слое S_m , его прочности, а также к снижению концентрации насыщения адсорбционного слоя C_m и критической концентрации мицеллообразования C_k , т. е. добавки неорганических электролитов равноценны повышению олеофильности молекул ПАВ. В присутствии неорганического электролита выигрыш энергии (W) при переходе гидрофобной цепи из объема на поверхность раздела фаз или в мицеллярную фазу увеличивается в сравнении с водными растворами. Это в свою очередь приводит к дополнительному выталкиванию в неполярную фазу метиленовых групп (n). Указанные особенности состояния адсорбционных слоев в присутствии электролита закономерно отражаются на свойствах пен и пенных пленок, образуемых этими растворами. На примере хлорида додециламмония показано влияние концентрации неорганического электролита (NaCl) на вспе-

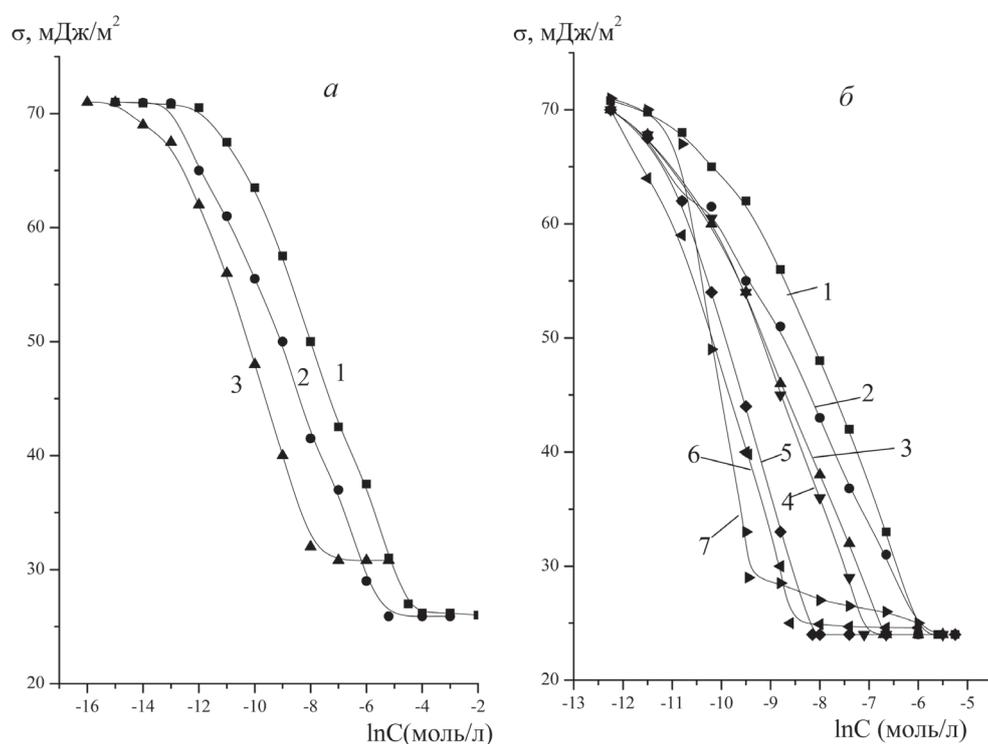


Рис. 1. Изотермы поверхностного натяжения растворов хлоридов алкиламмония: а – C₁₂H₂₅NH₂×HCl (1), C₁₄H₂₉NH₂×HCl (2), C₁₆H₃₃NH₂×HCl (3); б – C₁₄H₂₉NH₂×HCl при концентрациях NaCl, моль/л: 1 – 0, 2 – 3,1×10⁻³, 3 – 5,0×10⁻³, 4 – 1,0×10⁻², 5 – 5,0×10⁻², 6 – 1,0×10⁻¹, 7 – 5,0×10⁻¹. σ – поверхностное натяжение, мДж/м², C – концентрация, моль/л

Fig. 1. Surface tension isotherms of alkylammonium chlorides solutions: а – C₁₂H₂₅NH₂×HCl (1), C₁₄H₂₉NH₂×HCl (2), C₁₆H₃₃NH₂×HCl (3); б – C₁₄H₂₉NH₂×HCl at NaCl concentrations, mol/l: 1 – 0, 2 – 3.1×10⁻³, 3 – 5.0×10⁻³, 4 – 1.0×10⁻², 5 – 5.0×10⁻², 6 – 1.0×10⁻¹, 7 – 5.0×10⁻¹. σ – surface tension, mJ/m², C – concentration, mol/l

ниваемость растворов в области концентраций от C_m до C_k (рис. 2, а). Пенообразование в растворах солей аминов начинается при концентрации насыщения адсорбционного слоя и достигает максимума в области полностью сформированного слоя, т. е. при критической концентрации мицеллообразования. В присутствии электролита наблюдается снижение значений как C_m , так и C_k , соответственно указанные эффекты в солевых системах достигаются при более низких концентрациях ПАВ. Максимум пенообразующей способности наблюдается при концентрации электролита в растворе, соответствующей максимальной адсорбции поверхностно-активного иона [4]. Дальнейшее увеличение концентрации электролита оказывает дестабилизирующее действие на растворы ионных ПАВ в результате интенсификации мицеллообразования с последующей коагуляцией и высаливанием реагента из раствора. Пенообразование в этом случае резко снижается.

Таблица 1. Изменение коллоидно-химических характеристик в гомологическом ряду хлоридов алкиламмония под действием электролитов

Table 1. Change in colloidal-chemical characteristics in the homologous series of alkylammonium chlorides under the action of electrolytes

Амин	C_{NaCl} , моль/л	G_m , Джм/кмоль	$C_m \cdot 10^3$, $C_k \cdot 10^3$		$\Gamma_m \cdot 10^6$, моль/м ²	$S_m \cdot 10^{20}$, м ²	W_a	W_m	n
			моль/л						
C_{12}	0	3,1	3,3	15	3,4	63,9	13,9	10,2	8,0
C_{14}	0	15	0,33	3,1	3,7	59,3	19,5	14,1	8,5
C_{16}	0	123,3	0,015	0,33	4,0	55,3	27,0	19,5	9,0
C_{14}	0,003	27,3	0,20	1,7	3,8	49,6	20,7	15,5	8,7
C_{14}	0,005	33,2	0,16	1,4	4,5	36,1	21,3	16,0	9,0
C_{14}	0,01	56,0	0,10	0,83	5,1	28,6	22,4	17,3	9,5
C_{14}	0,05	160,0	0,055	0,29	5,7	24,1	23,0	19,8	11,0
C_{14}	0,1	244,7	0,037	0,19	6,8	26,4	24,8	20,9	11,5
C_{14}	0,5	581,2	0,037	0,08	6,8	26,4	24,8	23,0	12,5

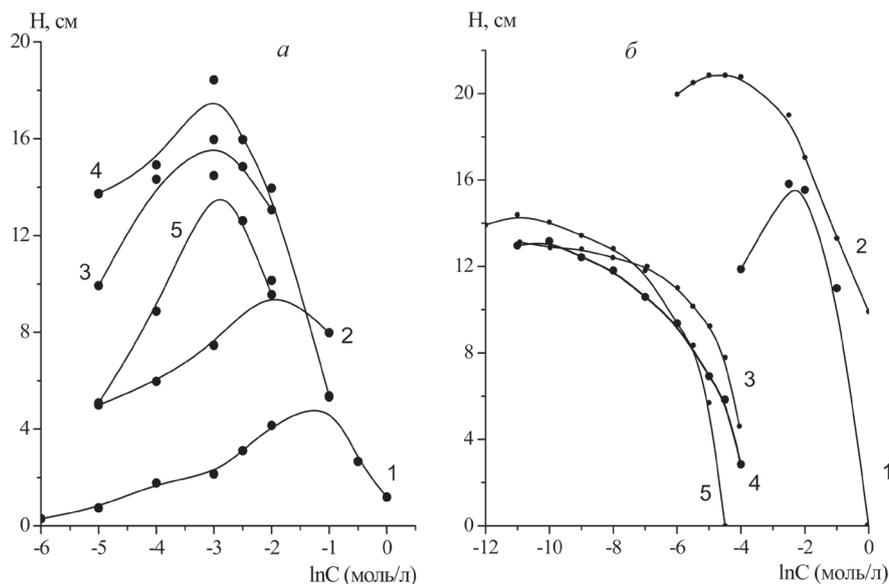


Рис. 2. Влияние концентрации электролита (моль/л): а – NaCl на вспениваемость хлорида додециламмония при содержании последнего (моль/л): 1 – $1,5 \cdot 10^{-3}$, 2 – $6,7 \cdot 10^{-3}$, 3 – $1,5 \cdot 10^{-2}$, 4 – $1,8 \cdot 10^{-2}$, 5 – $3,6 \cdot 10^{-2}$; б – 1 – KCl, 2 – NaCl, 3 – CaCl₂, 4 – MgCl₂, 5 – AlCl₃ на вспениваемость растворов лаурата натрия ($2,8 \cdot 10^{-2}$ моль/л). H – высота пены, см (здесь и далее на рис. 3–5)

Fig. 2. Influence of concentration of electrolyte (mol/l): а – NaCl on foaming of dodecylammonium chloride at content of the latter (mol/l): 1 – $1.5 \cdot 10^{-3}$, 2 – $6.7 \cdot 10^{-3}$, 3 – $1.5 \cdot 10^{-2}$, 4 – $1.8 \cdot 10^{-2}$, 5 – $3.6 \cdot 10^{-2}$; б – 1 – KCl, 2 – NaCl, 3 – CaCl₂, 4 – MgCl₂, 5 – AlCl₃ on foaming of sodium laurate solutions ($2.8 \cdot 10^{-2}$ mol/l). H – height of the foam, cm

При изучении влияния катионов различной валентности на пенообразующую способность лаурата натрия (рис. 2, б) установлено, что чем больше заряд катиона, тем при меньшем содержании его в растворе достигается максимальное пенообразование. При этом введение хлоридов натрия и калия уменьшает устойчивость пен, а хлоридов кальция, магния и алюминия – увеличивает ее. Наблюдаемый эффект можно связать с более высокой степенью гидратации поливалентных катионов, что обеспечивает создание более плотного сольватно-адсорбционного слоя на границе раствор–воздух.

В работе рассмотрены различные пути регулирования свойств пенных систем, включающих ионные ПАВ и неорганический электролит. Одним из эффективных методов воздействия на коллоидно-химические свойства водных и солевых растворов ионных ПАВ является солюбилизация олеофильных органических соединений в их мицеллярных растворах. Этот метод позволяет в широком диапазоне изменять поведение получаемых композиций, так как действие солюбилизируемых добавок может быть прямо противоположным в зависимости от природы как вводимой добавки, так и поверхностно-активного вещества. Ранее с использованием методов вискозиметрии, солюбилизации, ПМР-спектроскопии на примере солей высших алифатических аминов показано, что введение в коллоидные растворы этих ПАВ водонерастворимых органических полярных соединений в результате солюбилизации их мицеллами ПАВ вызывает перестройку мицеллярных агрегатов и изменение их объемных свойств [5, 6]. Это в свою очередь влияет на поведение исследуемых ПАВ на границе раздела раствор–воздух и, как следствие, их пенообразующую способность. Исследование пенообразующей способности систем, включающих ПАВ и солюбилизат (жирные кислоты и спирты с длиной цепи C_4-C_8), показало, что их вспениваемость значительно усиливается по сравнению с индивидуальным ПАВ (рис. 3). При этом наблюдается ярко выраженный синергизм действия исследованных соединений. Так, если низкомолекулярные кислоты и спирты отличаются низкой пенообразующей способностью, стабилизация пен в этих системах связана с так называемым эффектом Марангони–Гиббса: слабым кинетическим фактором стабилизации, обеспечивающим существование пенных пленок в тече-

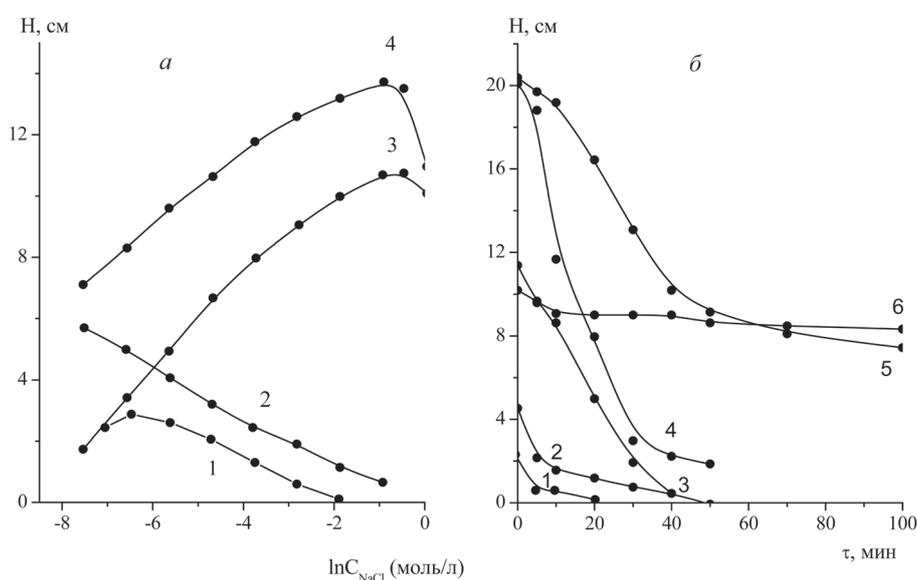


Рис 3. Влияние солюбилизата *a* – капроновой кислоты на вспениваемость растворов ацетатов додецил- (3, 4) и гексадециламмония (1, 2) в растворах NaCl: 1, 3 – без солюбилизата, 2, 4 – с добавкой капроновой кислоты. $C_{\text{ПАВ}}$ в солевом растворе (NaCl): $C_{12} - 1 \times 10^{-3}$, $C_{16} - 1 \times 10^{-4}$ моль/л; *b* – гептилового спирта на устойчивость пен лаурата натрия: 1, 3, 4 – без добавки, 2, 5, 6 – с добавкой гептилового спирта: 1, 2 – без электролита, 3–6 – в присутствии KCl (моль/л): 4, 5 – 0,44, 3, 6 – 2,6

Fig 3. Influence of solubilizer: *a* – caproic acid on foaming of solutions of acetates dodecyl- (3, 4) and hexadecylammonium (1, 2) in NaCl solutions: 1, 3 – without solubilizer, 2, 4 – with addition of caproic acid. $C_{\text{surfactants}}$ in salt solution (NaCl): $C_{12} - 1 \times 10^{-3}$, $C_{16} - 1 \times 10^{-4}$ mol/l; *b* – heptyl alcohol on stability of foams of sodium laurate: 1, 3, 4 – without additive, 2, 5, 6 – with addition of heptyl alcohol: 1, 2 – without electrolyte, 3–6 – in presence of KCl (mol/l), 4, 5 – 0.44, 3, 6 – 2.6. H – height of the foam, cm

ние секунд и в лучшем случае минут, то высота пенного столба композиций на основе ацетатов додецил- и гексадециламинов с капроновой кислотой значительно превышает высоту столба пены компонентов при соответствующих концентрациях вспениваемых растворов, что связано с образованием более плотных и прочных адсорбционных слоев, обеспечивающих устойчивость получаемых пен (рис. 3, а).

Аналогичные данные получены при изучении вспениваемости натриевых солей карбоновых кислот в присутствии солюбилизированных добавок. Так, при введении гептилового спирта в количестве $0,89 \cdot 10^{-3}$ моль/л в раствор лаурата натрия при его концентрации $5,8 \cdot 10^{-3}$ моль/л образуется значительный столб пены даже в 2,6 М растворе KCl, тогда как в отсутствие солюбилизатора раствор лаурата натрия практически не пенится (рис. 3, б). Пена, образованная лауратом натрия с гептиловым спиртом, обладает высокой устойчивостью и сохраняется даже в насыщенном растворе KCl в течение 5 ч, тогда как в отсутствие гептилового спирта гаснет за 20 мин.

Таким образом, исследование совместного действия электролита и солюбилизующихся добавок показало, что введение солюбилизаторов полярного типа в растворы ионогенных ПАВ, повышает устойчивость пенообразователя к высаливающему действию электролитов, а также улучшает пенообразование в солевых средах. Установлено, что оптимальное действие на пенообразование оказывают добавки солюбилизаторов в количествах, не превышающих предельное значение солюбилизации. Использование полярных солюбилизаторов в больших количествах, наоборот, способствует снижению пенообразования и может вызвать пеногашение.

Управлять свойствами пенообразователей можно также путем использования их смесей. Применяемые на практике многие технологические реагенты представляют собой смесь поверхностно-активных гомологов. Физико-химические и технологические свойства композиций ПАВ различного состава могут существенно отличаться от свойств отдельных компонентов. Показано [7], что как поверхностный слой, так и мицеллярная фаза в растворах ПАВ в большей степени насыщена более активным компонентом при любом соотношении ПАВ в смеси. Результаты исследования коллоидно-химических свойств смесей растворов ПАВ одного гомологического ряда показывают возможность регулирования их практических свойств в широких пределах. Так как процесс формирования и разрушения пен определяется строением и составом адсорбционного слоя, полученные данные позволяют прогнозировать характер пенообразования в пенных системах, включающих несколько компонентов. Исследование процесса пенообразования в бинарных системах показало, что водные растворы бинарных смесей по своей пенообразующей способности приближаются к более поверхностно-активному компоненту (рис. 4). При использовании бинарных смесей солей аминов или алкилсульфатов натрия в растворах сильных электролитов (KCl, NaCl) их вспениваемость выше по сравнению с отдельными компонентами

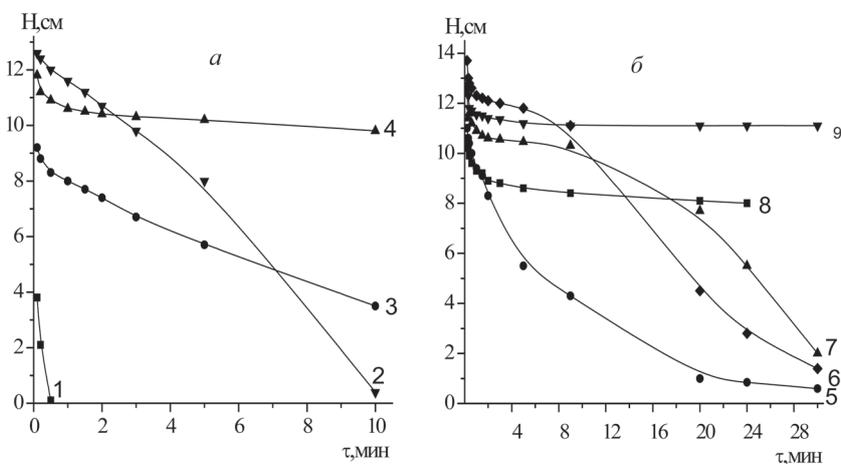


Рис. 4. Устойчивость пен бинарных растворов алкилсульфатов натрия в солевой среде (1 М NaCl): а – $C_8 - C_{12}$, 1 – C_8 , 2 – 1:2, 3 – C_{12} , 4 – 2:1; б – $C_{10} - C_{12}$, 5 – C_{12} , 6 – 1:2, 7 – 1:1, 8 – C_{10} , 9 – 2:1

Fig. 4. Stability of foam of binary solutions of sodium alkylsulfates in salt medium (1 M NaCl): а – $C_8 - C_{12}$, 1 – C_8 , 2 – 1:2, 3 – C_{12} , 4 – 2:1; б – $C_{10} - C_{12}$, 5 – C_{12} , 6 – 1:2, 7 – 1:1, 8 – C_{10} , 9 – 2:1. H – height of the foam, cm

в широком интервале температур, так как длинноцепочечный гомолог, определяющий состав адсорбционного слоя, обеспечивает высокую поверхностную активность и пенообразующую способность, а низкомолекулярный – повышенную устойчивость к высаливающему действию электролитов.

Пенообразование в композициях противоположно заряженных ПАВ – катионных (гексадециламмоний хлорид) и анионных (натриевые соли карбоновых кислот) – связано с комплексобразованием, обуславливающим получение соединений с более высокой поверхностной активностью по сравнению с исходными компонентами, и определяется растворимостью получаемых комплексов. Короткоцепочечные гомологи (валериат, октаноат) за счет образования растворимых комплексов, которые, адсорбируясь на поверхности раздела раствор–воздух, формируют насыщенные адсорбционные слои с повышенной механической прочностью, оказывают положительное действие на свойства образуемых пен. Так, небольшие добавки валериата и октаноата натрия к раствору соли амина увеличивают его вспениваемость в 1,5–3 раза. При этом устойчивость пен как в водных, так и в солевых средах значительно повышается по сравнению с отдельными компонентами (табл. 2). В случае использования длинноцепочечных солей (лаурат, мирилат, пальмитат), которые образуют слабо растворимые комплексы, снижая тем самым концентрацию ПАВ в системе, наблюдается ослабление пенообразования.

Таблица 2. Влияние концентрации натриевых солей карбоновых кислот на пенообразующую активность хлорида гексадециламмония ($C = 2,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л)

Table 2. Effect of the carboxylic acid sodium salts concentration on the foaming activity of hexadecylammonium chloride ($C = 2,4 \cdot 10^{-4}$ mol / L)

Амин + Na-соль	Концентрация Na-соли, 10^4 моль/л	Начальная высота пены, мм	Высота пены через 2 ч, мм	Устойчивость пены, %
Амин пентаноат	0	22	–	–
	0,28	38	17	44,7
	1,21	45	20	44,0
	3,20	38	33	86,8
	7,20	27	20	74,0
Октаноат	0,42	57	33	57,9
	0,90	45	32	71,1
	1,80	38	32	84,2
	2,70	12	4	33,3
Лаурат	0,15	12	9	75,0
	0,30	15	75	50,0
	0,80	8	4	50,0

Использование ПАВ в концентрированных растворах электролитов, например при флотации калийных солей, накладывает значительный отпечаток на процесс их пенообразования. Повышение устойчивости ПАВ в растворах электролитов предполагает сдвиг равновесия в мицеллярных растворах ПАВ в сторону неассоциированных (единичных) молекул. Одним из путей модифицирования структурного состояния исходных растворов ПАВ в сторону ослабления процессов ассоциации является изменение характера взаимодействия молекул пенообразователя с молекулами растворителя (воды). Последнее определяется составом растворяющей среды, обуславливающей гидрофобные взаимодействия молекул ПАВ, устойчивость их мицелл и поверхностную активность на границе раздела фаз. Известно [8], что эффективными модификаторами структуры воды являются водорастворимые органические жидкости (ВОЖ) различной природы и строения, способные снижать полярность воды. К ним относятся: этиловый, изопропиловый спирты, ацетон, диоксан, глицерин и т. д. В присутствии указанных добавок нарушается структура воды и снижается общее ее содержание в растворителе, что приводит к уменьшению структурообразования воды вокруг углеводородных цепей молекул ПАВ в смешанном растворителе, а следовательно, к снижению энтропийного фактора, который является движущей силой самопроизвольного процесса мицеллообразования.

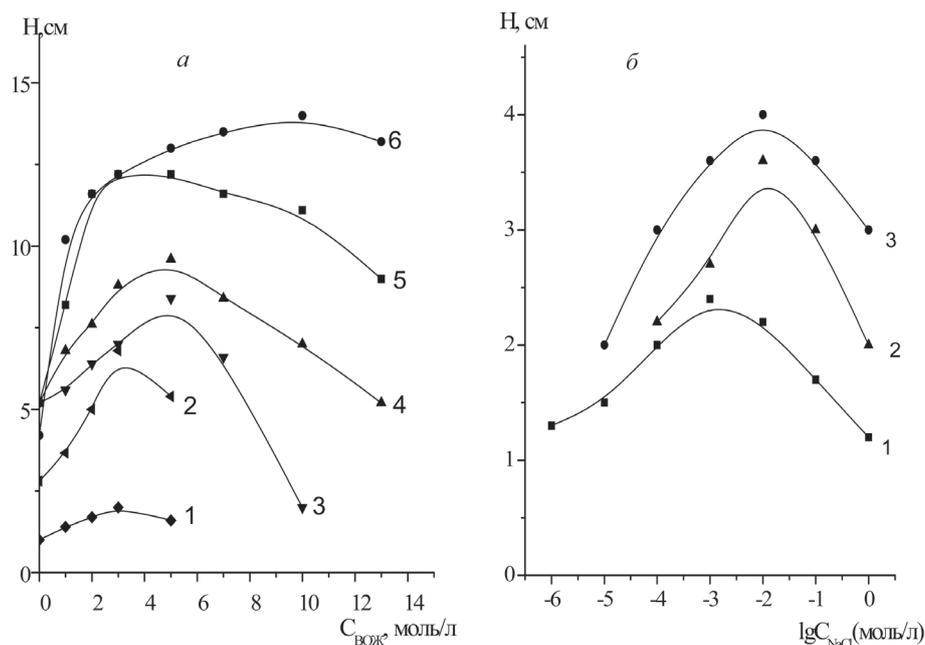


Рис. 5. Зависимость пенообразующей способности водно-органических растворов ацетата гексадециламмония: *a* – от концентрации органического компонента в водной (1, 3, 5) и солевой – 1×10^{-3} М NaCl (2, 6) средах; *b* – от концентрации NaCl: 1 – раствор в воде, 2 – в присутствии ацетона (2 М), 3 – в присутствии изопропанола (2 М)

Fig. 5. Dependence of foam-forming ability of water-organic solutions of hexadecylammonium acetate: *a* – on the concentration of organic component in water (1, 3, 5) and salt 1×10^{-3} M NaCl (2, 6) media, *b* – on the concentration of NaCl: 1 – water solution, 2 – in presence of acetone (2 M), 3 – in presence of isopropanol (2 M). H – height of the foam, cm

Показано [9], что в присутствии ВОЖ наблюдается увеличение растворимости пенообразователя и повышение содержания его в неассоциированной форме, что отражается в значительном повышении критической концентрации мицеллообразования ПАВ как в водных, так и солевых средах. Растворители с более низкой диэлектрической проницаемостью оказывают большее демиллизующее действие на коллоидные растворы ПАВ. Введение таких водно-органических растворов пенообразователя в процесс обеспечивает повышение пенообразующей способности ПАВ при сохранении высокой стабильности пен (рис. 5). Оптимальный расход органического компонента составляет 2–5 моль. Пенообразующая эффективность органического стабилизатора находится в соответствии с его способностью снижать полярность воды в ряду: изопропиловый спирт (диэлектрическая проницаемость – 18,3) > ацетон (20,7) > этиловый спирт (26,4) > глицерин (42). Особенно важно, что такие водно-органические растворы ПАВ эффективны в солевых средах. Так, если дестабилизирующее действие неорганических электролитов (KCl, NaCl) относительно пенообразования в растворах гексадециламина (в области C_k) проявляется при очень низких концентрациях (10^{-4} моль/л), то при использовании водно-органических растворов ПАВ разрушение пен начинается при значительно больших (на 2 порядка) концентрациях неорганического электролита (рис. 5).

Таким образом, модификация исходных растворов пенообразователя с помощью водорастворимых органических полярных жидкостей позволяет интенсифицировать процесс пенообразования в водных и солевых средах, а также использовать ПАВ в более концентрированном виде и в более концентрированных растворах электролитов.

Заключение. На основании результатов проведенных исследований пенообразующей способности ПАВ как функции состояния адсорбционных слоев на границе раздела раствор–воздух определены наиболее эффективные методы регулирования пенообразования ПАВ и устойчивости получаемых пен в растворах неорганических электролитов:

– использование олеофильных органических соединений, способных сольбилизоваться в коллоидных растворах ПАВ, приводя к их диспергации и повышению устойчивости в концен-

трированных солевых средах, что обеспечивает интенсификацию процесса пенообразования при меньших расходах основного поверхностно-активного пенообразователя;

– создание композиций на основе поверхностно-активных гомологов, эффективность которых в водно-солевой среде определяется высокой поверхностной активностью длинноцепочечного и повышенной устойчивостью к высаливающему действию электролитов низкомолекулярного компонента;

– сочетание ПАВ катионного типа с короткоцепочечными анионными ПАВ, что обеспечивает образование комплексных соединений, характеризующихся высокой поверхностной активностью по сравнению с исходными компонентами и достаточно высокой растворимостью в водно-солевых средах;

– изменение состава растворяющей среды с целью снижения полярности растворителя, что оказывает демицеллизирующее действие на коллоидные растворы ПАВ, приводит к их гомогенизации, стабилизации и повышению устойчивости к высаливающему действию электролитов.

Список использованных источников

1. Дихтиевская, Л. В. Повышение флотационной активности солей высших алифатических аминов – собирателей хлорида калия / Л. В. Дихтиевская, Е. О. Осипова, В. В. Шевчук // Журн. прикл. химии. – 2012. – Т. 85, № 12. – С. 1211–1217.
2. Laskowski, J. Flotation in concentrated electrolyte solutions / J. Laskowski, S. Castro // Int. Journal of Mineral Processing. – 2015. – Vol. 144. – P. 50–55.
3. Русанов, А. И. Межфазная тензиометрия / А. И. Русанов, В. А. Прохоров. – СПб: Химия, 1994. – 397 с.
4. Дихтиевская, Л. В. Влияние неорганических электролитов на состав адсорбционного слоя и пенообразующую способность растворов солей высших алифатических аминов / Л. В. Дихтиевская, Ф. Ф. Можейко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 1999. – Т. 43, № 5. – С. 58–61.
5. Митина, Т. Д. Использование полярных солюбилизаторов для интенсификации собирательного действия солей высших алифатических аминов / Т. Д. Митина, Л. В. Дихтиевская, Ф. Ф. Можейко // Журн. прикл. химии. – 2000. – Т. 73, № 10. – С. 1631–1635.
6. Характеристика мицеллярного состояния растворов солей высших алифатических аминов с использованием метода ПМР-спектроскопии / Х. М. Александрович [и др.] // Коллоид. журн. – 1990. – Т. 52, № 5. – С. 835–840.
7. Влияние состава бинарных растворов поверхностно-активных веществ катионного типа на их коллоидно-химические свойства / Т. Д. Митина [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 1999. – Т. 43, № 4. – С. 54–57.
8. Бовкун, О. П. Исследование мицеллообразования ПАВ в смешанных растворителях / О. П. Бовкун, З. Н. Маркина // Успехи коллоид. химии. – М.: Химия, 1973. – С. 249–254.
9. Митина, Т. Д. Поверхностно-активные свойства водно-органических растворов ацетата гексадециламина / Т. Д. Митина, Ф. Ф. Можейко // Вес. Акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 1994. – № 3. – С. 34–39.

References

1. Dikhtievskaya L. V., Osipova E. O., Shevchuk V. V. Increase in flotation activity of salts of higher aliphatic amines, potassium chloride collectors. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2012, vol. 85, no. 12, pp. 1899–1904. Doi: 10.1134/s1070427212120178
2. Laskowski J., Castro S. Flotation in concentrated electrolyte solutions. *International Journal of Mineral Processing*, 2015, vol. 144, pp. 50–55. Doi: 10.1016/j.minpro. 2015.09.017
3. Rusanov A. I., Prokhorov V. A. *Interfacial tensiometr*. St. Petersburg, Khimiya Publ., 1994. 397 p. (in Russian).
4. Dikhtievskaya L. V., Mozheyko F. F. Effect of inorganic electrolytes on the composition of adsorptional layer and foam-forming ability of solutions of salts of higher aliphatic amines. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 1999, vol. 43, no. 5, pp. 58–61 (in Russian).
5. Mitina T. D., Dikhtievskaya L. V., Mozheyko F. F. Use of polar solubilisates to intensify the collective action of salts of aliphatic amines. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2000, vol. 73, no. 10, pp. 1631–1635 (in Russian).
6. Aleksandrovich Kh. M., Dikhtievskaya L. V., Mitina T. D., Prodan S. A., Korshuk E. F. Characterization of the micellar state solutions of salts of higher aliphatic amines using the method of PMR spectroscopy. *Kolloidnyi Zhurnal = Colloid Journal*, 1990, mol. 52, no. 5, pp. 835–840 (in Russian).
7. Mitina T. D., Dikhtievskaya L. V., Goncharik I. I., Mozheiko F. F. Effect of binary solutions of cationic surfactants on their colloidal-chemical properties. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 1999, vol. 43, no. 4, pp. 54–57 (in Russian).
8. Bovkun O. P., Markina Z. N. Study of micellization of surfactants in mixed solvents. *Uspekhi kolloidnoi khimii* [Successes of Colloid Chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1973, pp. 249–254 (in Russian).
9. Mitina T. D., Mozheyko F. F. Surface-active properties of aqueous-organic solutions of acetate hexadecylamine, 1994, no. 3, pp. 34–39 (in Russian).

Информация об авторах

Можейко Фома Фомич – член-корреспондент, д-р хим. наук.

Дихтневская Людмила Валентиновна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: dixti@yandex.ru

Гончарик Инна Иосифовна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: igiclpns@rambler.ru

Шевчук Вячеслав Владимирович – член-корреспондент, д-р хим. наук, зав. отделом минеральных удобрений Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shevchukslava@rambler.ru

Information about the authors

Foma F. Mozheyko – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Chemistry).

Liudmila V. Dikhtievskaya – Ph. D. (Chemistry), Senior researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dixti@yandex.ru

Ina I. Hancharyk – Ph. D. (Engineering), Senior researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: igiclpns@rambler.ru

Viacheslau V. Shevchuk – Corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Chemistry), Head of the Department of Mineral Fertilizers, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shevchukslava@rambler.ru