

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)

КАЛОИДНАЯ ХИМИЯ
COLLOIDAL CHEMISTRY

УДК 532.6:661.185
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-2-107-113>

Поступила в редакцию 23.12.2024
Received 23.12.2024

Т. Н. Поткина, В. В. Шевчук

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

**АДСОРБЦИЯ БИЦИКЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ВОДА–ВОЗДУХ**

Аннотация. Изучена поверхностная активность некоторых представителей бициклических поверхностно-активных веществ (ПАВ) группы камфана в водных и солевых растворах. Показано, что изученные бициклические соединения с жестким углеводородным каркасом проявляют высокую поверхностную активность, особенно в растворах электролитов, что позволяет использовать их в процессе флотации растворимых солей. Определены основные характеристики адсорбционного слоя: поверхностная активность, концентрация насыщения адсорбционного слоя, максимальная адсорбция, площадь, занимаемая молекулой в адсорбционном слое. Показано, что структура гидрофобного радикала оказывает существенное влияние на структуру поверхностного слоя, наличие алифатической цепи в углеводородном скелете способствует повышению поверхностной активности ПАВ.

Ключевые слова: бициклические ПАВ, поверхностная активность, адсорбция, поверхность раздела, электролит, мицеллообразование

Для цитирования. Поткина, Т. Н. Адсорбция бициклических поверхностно-активных веществ на границе раздела вода–воздух / Т. Н. Поткина, В. В. Шевчук // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2026. – Т. 62, № 2. – С. 107–113 <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-2-107-113>

T. N. Potkina, V. V. Shevchuk

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

ADSORPTION OF BICYCLIC SURFACTANTS AT THE WATER–AIR INTERFACE

Abstract. The surface activity of certain bicyclic surfactants from the camphane group of terpene series in aqueous and saline solutions was studied. It has been shown that bicyclic compounds with a rigid hydrocarbon framework exhibit high surface activity, especially in electrolyte solutions. This fact makes it possible to use them in the flotation of soluble salts. The main characteristics of the adsorption layer were determined: surface activity, saturation concentration of the adsorption layer, maximum adsorption, and the area occupied by a molecule in the adsorption layer. It is shown that the structure of the hydrophobic radical has a significant effect on the structure of the surface layer, and the presence of an aliphatic chain in the hydrocarbon skeleton contributes to an increase in the surface activity of the surfactant.

Keywords: bicyclic surfactants, surface activity, adsorption, electrolyte, micellization, water–air interface

For citation. Potkina T. N., Shevchuk V. V. Adsorption of bicyclic surfactants at the water–air interface. *Vesti Natsyynal'nai akademii navyk Belarusi. Seryya khimichnykh navyk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2026, vol. 62, no. 2, pp. 107–113 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-2-107-113>

Введение. Использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) в различных технологических процессах требует исследования их коллоидно-химических свойств. Ранее было показано, что бициклические ПАВ терпенового ряда группы камфана являются эффективными реагентами-собирающими хлорида калия при флотации высокоглинистых сальвинитовых руд [1, 2].

К ПАВ относят вещества с асимметричной молекулярной структурой: в молекуле или ионе одновременно присутствует гидрофильная группа (полярная группа, или «головка») и гидрофобная группа (радикал, или «хвост») [3–5]. Такое дифильное строение обуславливает поверхностную активность ПАВ, то есть их способность адсорбироваться на межфазных границах.

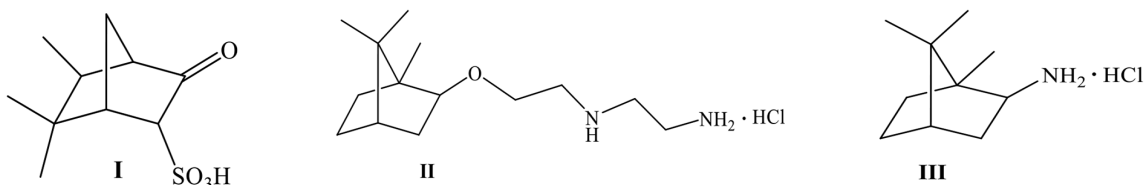
Мицеллообразование и адсорбция дифильных молекул с гибкой углеводородной цепью на межфазной границе раздела неоднократно обсуждались в литературе, тогда как исследованию соединений с жесткой структурой углеводородного радикала, в том числе бициклических ПАВ, уделялось мало внимания. Известно, что поверхностное натяжение растворов ПАВ зависит от длины углеводородного радикала и природы полярной группы [4]. Свойства веществ с жесткой структурой молекулы, характер их ассоциации существенно отличаются от ПАВ с алифатической гибкой цепью.

Некоторые ученые отмечают, что свойства адсорбционных пленок ПАВ определяются не только концентрацией молекул в поверхностном слое, но и связаны с молекулярным расположением и изменением ориентации ПАВ на поверхности раздела фаз [5–9].

Целью работы является изучение влияния структуры молекулы ПАВ на их адсорбцию на границе раздела вода–воздух.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований являются водные растворы бициклических ПАВ: аммонийная и калиевая соль 5,5,6-триметилбицикло-[2,2,1]-гептан-2-он-3-экзосульфокислоты (ИКСК) (I) [1] и солянокислый N-[2-(2-экзоборнилокси)этил]этилендиамин (БОЭД) (II) [2], в котором аминогруппа отделена от жесткого скелета алифатической цепью. Для сравнения использовался солянокислый борниламин (III), аминогруппа которого непосредственно связана с жестким углеводородным каркасом.

Структура исследуемых соединений:



Для изучения влияния структуры молекулы ПАВ на адсорбцию на границе раздела вода–воздух измерено равновесное поверхностное натяжение водных растворов ПАВ методом отрыва кольца при температуре 20 °С. Растворы ПАВ готовили в очищенной воде, имеющей поверхностное натяжение $72,0 \pm 0,2$ мН/м.

Результаты и их обсуждение. Формирование адсорбционных слоев протекает во времени, поэтому для получения воспроизводимых результатов были сняты кинетические изотермы поверхностного натяжения.

Как видно из рис. 1, равновесные значения поверхностного натяжения в зависимости от концентрации растворов достигаются в течение различного времени. Для растворов аммонийной соли концентрации 0,2 моль/л равновесное значение поверхностного натяжения достигается в течение 15 мин, а для концентрации 0,08 моль/л – не достигает даже в течение 25 мин. Такая же картина наблюдается и для катионоактивных ПАВ: чем больше концентрация раствора ПАВ, тем быстрее достигается насыщение адсорбционного слоя [10]. Показано, что время достижения равновесных значений поверхностного натяжения зависит от строения углеводородного радикала. Для солей ИКСК и борниламина оно достигается в течение 10–20 мин., тогда как для БОЭД это время значительно больше, что обусловлено наличием в его структуре гибкого углеводородного радикала. При этом скорость снижения поверхностного натяжения является функцией времени, она наиболее велика на начальном участке кривых, далее процесс снижения поверхностного натяжения замедляется.

Факторами, лимитирующими накопление вещества в монослой на поверхности раздела фаз, являются скорость диффузии молекул (ионов) ПАВ и электрический заряд адсорбционного слоя. Известны различные механизмы адсорбции. Первый из них – диффузионный, когда скорость процесса лимитируется диффузией ПАВ из объема раствора в приповерхностный слой. Второй – энергетический, при котором лимитирующей стадией является преодоление молекулами ПАВ энергетического барьера при переходе из этого слоя на поверхность. И наконец, возможен третий – смешанный механизм, когда скорости обоих процессов соизмеримы. При быстром формировании поверхности, как правило, реализуется диффузионный механизм процесса адсорбции [4].

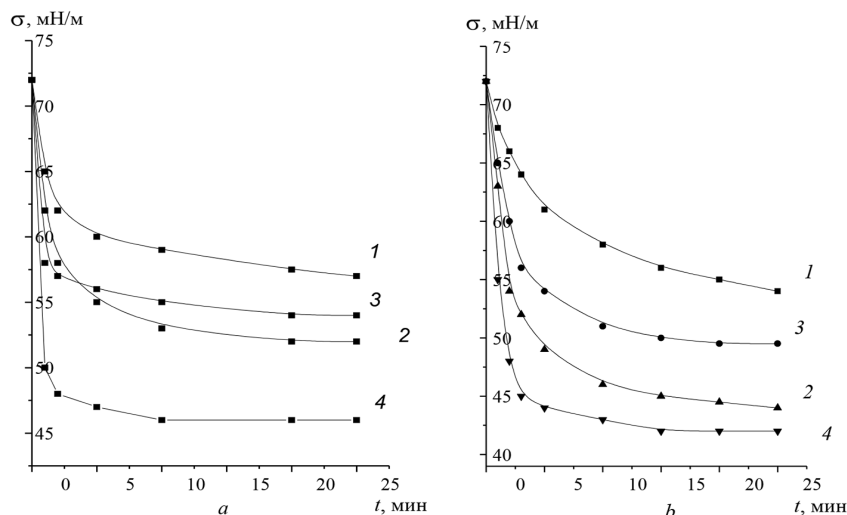


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения водных растворов: *a* – аммонийной соли ИКСК: 1 – 0,08 моль/л; 2 – 0,2 моль/л; 3, 4 – в 0,5 М растворе NaCl соответственно; *b* – солянокислого БОЭД: 1 – 0,004 моль/л; 3 – 0,04 моль/л и солянокислого борниламина: 2 – 0,13 моль/л; 4 – 0,32 моль/л

Fig. 1. Kinetic dependence of surface tension of aqueous solutions: *a* – ammonium salt ICSA: 1 – 0,08 mol/l; 2 – 0,2 mol/l; 3, 4 – in 0,5 M NaCl solution, respectively; *b* – hydrochloric acid BOED: 1 – 0,004 mol/l; 3 – 0,04 mol/l and bornylamine hydrochloride: 2 – 0,13 mol/l; 4 – 0,32 mol/l

На рис. 2 представлена зависимость поверхностного натяжения растворов исследованных ПАВ от концентрации в растворе и добавок электролита.

В области малых концентраций ПАВ (< 0,02 моль/л) происходит резкое уменьшение поверхностного натяжения, при этом оно, а следовательно, и адсорбция, прямо пропорциональны концентрации ПАВ и соответствуют ходу изотермы адсорбции Генри, что свидетельствует о малой степени заполнения поверхности и отсутствии взаимодействия адсорбированных молекул друг с другом. Эта область тем меньше, чем более гидрофобен углеводородный радикал. В области действия закона Генри поверхностное натяжение линейно уменьшается с увеличением концентрации ПАВ. Как показали исследования, поверхностное натяжение изученных бициклических ПАВ при разбавлении растворов возрастает до значений, соответствующих поверхностному натяжению растворителя. В качестве меры поверхностной активности в этом случае можно использовать соотношение:

$$G = (d\sigma/dC)_{C \rightarrow 0},$$

где σ – поверхностное натяжение; C – концентрация; G – поверхностная активность.

Коллоидно-химические характеристики растворов изученных бициклических ПАВ представлены в таблице.

Как видно, солянокислый БОЭД, гидрофильная группа которого связана с жестким бициклическим каркасом через алифатическую цепь, обладает в несколько раз большей поверхностной активностью и величиной предельной адсорбции (Γ_m) по сравнению со значениями этих характеристик для аммонийной соли ИКСК и солянокислого борниламина. В отличие от изучаемых аминов углеводородный радикал аммонийной соли ИКСК имеет дополнительную полярную группу C=O, которая усиливает сродство молекул к растворителю и уменьшает тенденцию к переходу молекул ПАВ из объема раствора на поверхность раздела.

Площади, занимаемые молекулой ИКСК и борниламина в поверхностном слое, примерно одинаковы и соответствуют теоретической величине, полученной из стереомодели Дрейдинга ($\sim 40 \text{ \AA}^2$), тогда как для БОЭД она приближается к сечению алифатического радикала. Это подтверждает правильность использования в нашем случае уравнения Гиббса без коэффициента.

Так как обогащение калийных руд осуществляется в насыщенных солевых растворах, то представляло интерес изучение влияния неорганических электролитов на поверхностные свойства исследуемых соединений. Как видно из рис. 2, в присутствии электролитов изотермы идут круче с большим понижением поверхностного натяжения.

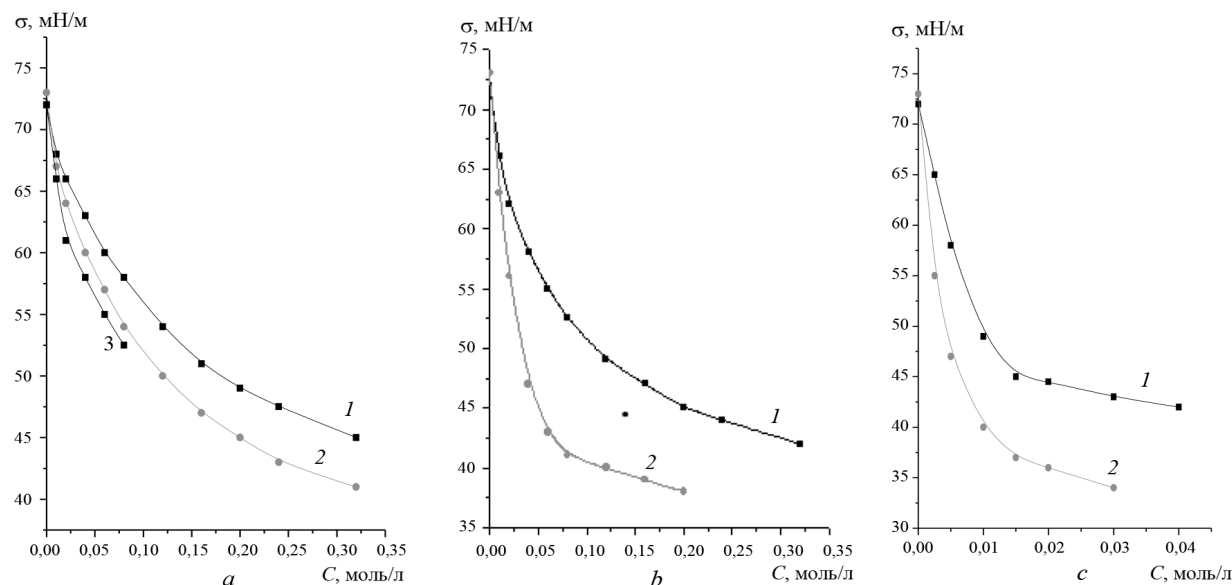


Рис. 2. Изменение равновесного поверхностного натяжения растворов от концентрации:

a – 1 – водный раствор аммонийной соли ИКСК, 2 – в 0,5 М NaCl, 3 – водный раствор калиевой соли ИКСК;
b – 1 – водный раствор солянокислого борниламина, 2 – в 4 М NaCl;
c – 1 – водный раствор солянокислого БОЭД, 2 – в 0,05 М NaCl

Fig. 2. Equilibrium surface tension change depending on the concentration of solutions:

a – 1 – aqueous solution of ammonium salt of ICSA, 2 – in 0,5 M NaCl, 3 – aqueous solution of potassium salt of ICSA;
b – 1 – aqueous solution of bornylamine hydrochloride, 2 – in 4 M NaCl;
c – 1 – aqueous solution of hydrochloric acid BOED, 2 – in 0,05 M NaCl

Коллоидно-химические характеристики растворов бициклических поверхностно-активных веществ Colloid-chemical characteristics of bicyclic surfactants solutions

Концентрация электролита, моль/л	C_m , моль/л	$\Gamma_m \cdot 10^6$, моль/м ²	S_m , Å ²	G , Дж/моль
Аммонийная соль ИКСК				
	0,12	3,9	41,7	112
0,1 NaCl	0,10	4,3	40,0	126
0,5	0,07	4,4	37,0	151
1,0	0,06	4,8	35,0	180
Калиевая соль ИКСК				
	0,03	3,8	41,9	2 017
Солянокислый борниламин				
	0,060	3,6	40,0	163
4,0 KCl	0,006	4,3	38,0	498
5,0 NaCl	0,005	4,5	37,0	995
Солянокислый БОЭД				
	0,005	7,1	23,4	644
0,05 KCl	0,002	8,2	20,2	1 210
0,05 NaCl	0,002	8,0	20,6	1 197

С повышением концентрации электролита увеличивается поверхностная активность и максимальная адсорбция вещества на межфазной границе раздела, уменьшается площадь, занимаемая одной молекулой ПАВ в адсорбционном слое (см. табл.). Наибольшее влияние электролит оказывает на поверхностные свойства солянокислого БОЭД, меньшее – на поверхностную активность аммонийной соли ИКСК. С увеличением концентрации противоионов подавляется диссоциация ПАВ и в объеме, и в поверхностном слое, что уменьшает силу электростатического

отталкивания между ионами в адсорбционном слое, а это приводит к повышению плотности их упаковки на поверхности раздела и снижению поверхностного натяжения. Кроме того, ионы неорганического электролита, гидратируясь в растворе, вызывают частичную дегидратацию поверхностно-активных ионов, делают их более гидрофобными, в результате средство к неполярным фазам повышается.

Адсорбция первых порций молекул или ионов вещества сообщает поверхности электрический заряд и приводит к образованию двойного электрического слоя, для адсорбции остальных ионов требуется преодоление сил электростатического отталкивания и большее для этого время. Введение электролитов снижает время достижения равновесного значения поверхностного натяжения. При этом чем более гидрофильна полярная группа ПАВ и чем выше степень заполнения адсорбционного слоя, тем сильнее должно быть отталкивание и тем выше энергия активации адсорбции. Ускорение адсорбции ПАВ по мере десорбции соли объясняется высаливающим действием соли, тем большим, чем выше ее концентрация. Это явление особенно ярко выражено, когда в состав соли входит структуроразрушающий ион. В системе вода–ПАВ–соль одновременно протекают адсорбция ПАВ, десорбция соли, релаксация свойств растворителя. Совокупное влияние этих процессов оказывает влияние на процесс формирования адсорбционного слоя на поверхности раздела [11].

Изотермы поверхностного натяжения в координатах $\sigma - C$ представляют собой плавную кривую с прямолинейным участком в области разбавленных растворов и не позволяют определить концентрацию насыщения адсорбционного слоя. На логарифмической зависимости поверхностного натяжения от концентрации можно выделить три участка (рис. 3).

На криволинейном участке происходит адсорбция в соответствии с уравнением Гиббса и начинается формирование плотноупакованного поверхностного адсорбционного слоя. В точке перехода криволинейного участка в прямолинейный (C_m) происходит насыщение адсорбционного слоя.

Как видно из рис. 3, насыщение адсорбционного слоя для БОЭД происходит при значительно меньшей концентрации (0,005 моль/л), чем в растворах аммонийной соли ИКСК (0,12 моль/л) и борниламина (0,06 моль/л). При этом зависимость поверхностного натяжения для БОЭД представляет собой типичный вид концентрационной зависимости поверхностного натяжения мицеллообразующих ионогенных ПАВ.

В отличие от БОЭД на изотермах поверхностного натяжения солей ИКСК и борниламина излом, который для алифатических соединений соответствует критической концентрации мицеллообразования (ККМ), отсутствует, поверхностное натяжение в данном случае понижается до прекращения растворения вещества [12]. Следовательно, в растворах ПАВ с жестким углеводородным радикалом не происходит образования развитых ассоциатов, обуславливающих мицеллярные свойства растворов. Видимо, для молекул с жестким каркасом создаются пространственные затруднения при упаковке их в мицеллы, однако при образовании адсорбционного слоя это не оказывает существенного влияния. Все это позволяет предположить, что соли ИКСК и борниламина образуют адсорбционные слои одинаковой структуры с однотипной ориентацией в воздушную фазу жестких бициклических радикалов.

Как показали исследования, натриевая и аммонийная соли ИКСК проявляют одинаковую поверхностную активность. При тех же концентрациях калиевая соль ИКСК сильнее снижает поверхностное натяжение на границе раздела вода–воздух. Известно,

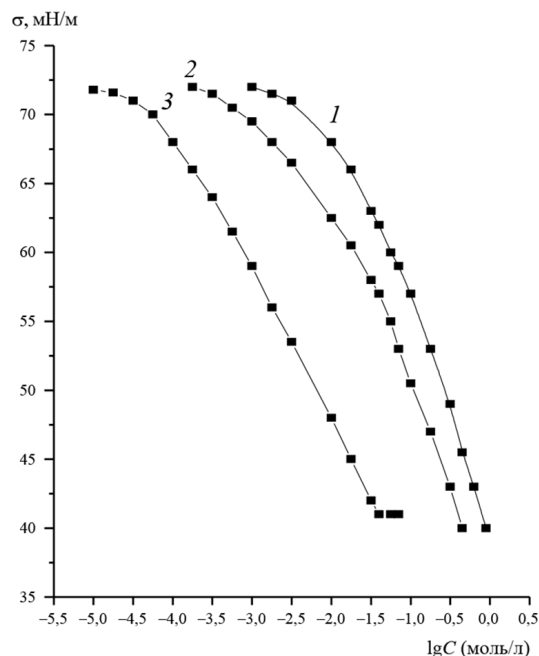


Рис. 3. Изотермы адсорбции аммонийной соли ИКСК (1), солянокислого борниламина (2) и солянокислого БОЭД (3)

Fig. 3. Adsorption isotherms of ammonium salt ICSA (1), bornylamine hydrochloride (2) and BOED hydrochloride (3)

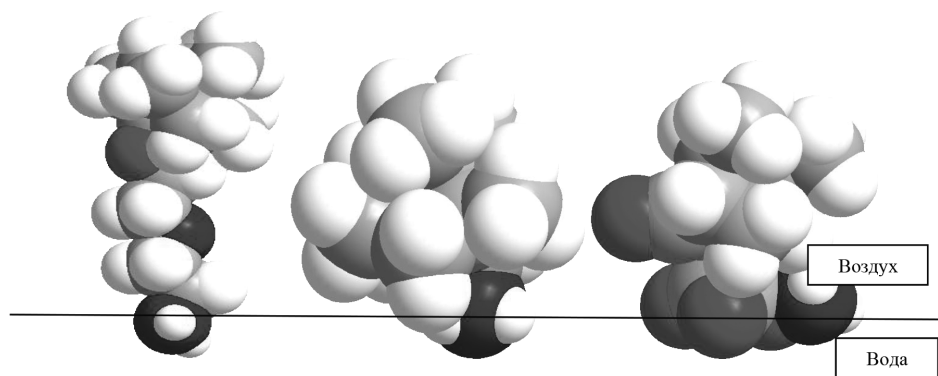


Рис. 4. Ориентация молекулярных каркасов на границе раздела фаз

Fig. 4. Orientation of molecular frameworks at the water–air interface

что объемный бициклический гидрофобный радикал усиливает структурирование воды, из-за сильной когезии молекул воды большие слабо гидратированные анионы ассоциируют с катионами и тем самым минимизируют энергетически неблагоприятные взаимодействия с водой. Тенденция к такому анионному взаимодействию наиболее ощутима для калиевой формы вследствие наименее гидратированной природы иона калия. Более того, как было показано [12], растворимость натриевой и аммонийной солей ИКСК в несколько раз выше, чем калиевой, а с уменьшением растворимости повышается тенденция к переходу молекул ПАВ из объема раствора на поверхность раздела.

Заключение. Бициклические соединения с жестким углеводородным каркасом проявляют высокую поверхностную активность, особенно в растворах электролитов, что позволяет использовать их в качестве собирателя в процессе флотации растворимых солей. Присоединение к жесткому скелету гибкого углеводородного радикала хотя и повышает поверхностную активность молекул и ионов, но в силу усиления мицеллообразования в растворах не оказывает положительного влияния на флотационный процесс.

Показано, что время достижения равновесных значений поверхностного натяжения зависит от строения углеводородного радикала, концентрации растворов, добавок электролитов.

Список использованных источников

1. Коршук, Э. Ф. Синтез, флотационные и антислеживающие свойства нового реагента-собирателя для обогащения калийных солей / Э. Ф. Коршук, Т. Н. Поткина, Н. Г. Козлов // *Весті Академії наук БССР. Серія хімічних наук.* – 1989. – № 1. – С. 94–97.
2. Коршук, Э. Ф. Синтез и флотационные свойства N-[2-(2-эксоборнилокси)этил]этилендиамин / Э. Ф. Коршук, Т. Н. Поткина, В. И. Лысенков // *Весті Академії наук БССР. Серія хімічних наук.* – 1988. – № 4. – С. 101–104.
3. Шиода, К. Коллоидные поверхностно-активные вещества. / К. Шиода, Т. Накагава, Б. Тамамуси. – М.: Мир, 1968. – 139 с.
4. Русанов, А. И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ: монография / А. И. Русанов, А. К. Щекин. – СПб.: Лань, 2016. – 612 с.
5. Мицеллообразование, солюбилизация и микроэмульсии / под ред. К. Миттела. – М.: Мир, 1980. – 579 с.
6. Surface dilational rheology of betaine surfactants: Effect of molecular structures / Z.-H. Zhou, D.-Sh. Ma, Q. Zhang [et al.] // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* – 2018. – Vol. 538. – P. 739–747. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.11.064>
7. Surface dilatational properties of Gemini surfactants containing multiple hydroxyl groups / X. Pei, Q. Zhang, Z. Liu [et al.] // *Colloid & Polymer Science.* – 2016. – Vol. 294. – P. 1405–1412. <https://doi.org/10.1007/s00396-016-3892-9>
8. Агеев, А. А. Зависимость поверхностного натяжения водных растворов от строения молекул поверхностно-активных веществ и состава адсорбционных слоев / А. А. Агеев, В. А. Волков // *Вестник Ассоциации вузов туризма и сервиса.* – 2008. – № 4 – С. 55–61.
9. Surface and colloid properties of cyclic amides III. Surface activity and micellization of N-butyl-2-pyrrolidone in water / A. Lou, B. A. Pethica, P. Somasundaran, Aixing Fan // *Journal Dispersion Science and Technology.* – 1999. – Vol. 20, iss. 1–2. – P. 569–580. <https://doi.org/10.1080/01932699908943808>
10. Дмитриевская, М. В. Исследование поверхностного натяжения водных растворов хлорида додециламидоэтилдиметилбензиламмония / М. В. Дмитриевская, Н. Н. Кочурова, Г. Петцольд // *Коллоидный журнал.* – 2004. – Т. 66, № 5. – С. 597–601.

11. Umlong, I. M. Micellization behaviour of sodium dodecyl sulfate in different electrolyte media / I. M. Umlong, K. Ismail // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2007. – Vol. 299, № 3. – P. 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.11.010>
12. Поткина, Т. Н. Влияние электролитов на коллоидно-химическое состояние растворов бициклических собирателей / Т. Н. Поткина, Э. Ф. Коршук // Весті Акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 1994. – № 1. – С. 28–33.
13. Lewandowski, A. Adsorption of monoterpene alcohols at the water–air interface / A. Lewandowski, K. Szymczyk // *Adsorption*. – 2019. – Vol. 25. – P. 301–308. <https://doi.org/10.1007/s10450-019-00010-y>
14. Вережников, В. Н. Избранные главы коллоидной химии : учеб. пособие для вузов / В. Н. Вережников. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2011. – 187 с.

References

1. Korshuk E. F., Potkina T. N., Kozlov N. G. Synthesis, flotation and anti-caking properties of a new reagent-collector for the enrichment of potassium salts. *Vestsi Akademii navuk BSSR. Seriya khimichnykh navuk = Proceedings of the Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 1989, no. 1, pp. 94–97 (in Russian).
2. Korshuk E. F., Potkina T. N., Lysenkov V. I. Synthesis and flotation properties of N-[2-(2-exobornoxy)ethyl]ethylenediamine. *Vestsi Akademii navuk BSSR. Seriya khimichnykh navuk = Proceedings of the Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 1988, no. 4, pp. 101–104 (in Russian).
3. Shinoda K., Nakagawa T., Tamamushi B., Isemura T. *Colloidal surfactants. Some Physicochemical Properties*. Academic Press, 1963. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-12170-8>
4. Rusanov A. I., Shchekin A. K. *Micellization in solutions of surfactants*: monograph. St. Petersburg, Lan Publ., 2016. 612 p. (in Russian).
5. Mittel K. (ed.). *Micellization, solubilization and microemulsions*. Springer New York, NY, 1977. 487 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-4157-4>
6. Zhou Z.-H., Zhang Q. et al. Surface dilational rheology of betaine surfactants: Effect of molecular structures. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2018, vol. 538, pp. 739–747. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.11.064>
7. Pei X., Zhang Q., Liu Z. et al. Surface dilatational properties of Gemini surfactants containing multiple hydroxyl groups. *Colloid & Polymer Science*, 2016, vol. 294, pp. 1405–1412. <https://doi.org/10.1007/s00396-016-3892-9>
8. Ageev A. A., Volkov V. A. Dependence of the surface tension of aqueous solutions on the structure of molecules of surface-active substances and the composition of adsorption layers. *Vestnic Assotsiatsii vuzov turizma i servisa = Universities for Tourism and Service Association Bulletin*, 2008, no. 4, pp. 55–61 (in Russian).
9. Lou A., Pethica B. A., Somasundaran P. Surface and colloid properties of cyclic amides III. Surface activity and micellization of N-butyl-2-pyrrolidone in water. *Journal Dispersion Science and Technology*, 1999, vol. 20, iss. 1–2, pp. 569–580. <https://doi.org/10.1080/01932699908943808>
10. Dmitrovskaya M. V., Kochurova N. N., Petzold G. Investigation of the surface tension of aqueous solutions of dodecylamidoethyl dimethylbenzylammonium. *Colloid Journal*, 2004, vol. 66, pp. 531–535. <https://doi.org/10.1023/b:coll.0000043832.96815.0b>
11. Umlong I. M., Ismail K. Micellization behavior of sodium dodecyl sulfate in different electrolyte media. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2007, vol. 299, no. 3, pp. 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.11.010>
12. Potkina T. N., Korshuk E. F. The influence of electrolytes on the colloidal-chemical state of solutions of bicyclic collectors. *Vestsi Akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk = Proceedings of the Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 1994, no. 1, pp. 28–33 (in Russian).
13. Lewandowski A., Szymczyk K. Adsorption of monoterpene alcohols at the water–air interface. *Adsorption*, 2019, vol. 25, pp. 301–308. <https://doi.org/10.1007/s10450-019-00010-y>
14. Verezhnikov V. N. *Selected chapters of colloidal chemistry*. Voronezh, IPTS VGU, 2011. 187 p. (in Russian).

Информация об авторах

Поткина Татьяна Николаевна – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: potkina@igic.bas-net.by

Шевчук Вячеслав Владимирович – член-корреспондент, доктор химических наук, заведующий лабораторией. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shevchukslava@rambler.ru

Information about the authors

Potkina Tatyana N. – Ph. D. (Chemistry), Leading Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: potkina@igic.bas-net.by

Shevchuk Viacheslav V. – Corresponding Member, Dr. Sci. (Chemistry), Head of the Laboratory. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shevchukslava@rambler.ru