

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

КАЛОИДНАЯ ХИМИЯ
COLLOIDAL CHEMISTRY

УДК 532.61.08
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-3-193-199>

Поступила в редакцию 01.07.2025
Received 01.07.2025

**С. В. Буча, Е. В. Воробьева, В. В. Шевчук, Д. В. Чередниченко,
О. В. Лукша, Е. О. Осипова**

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

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА АЛИФАТИЧЕСКИХ, АЛИЦИКЛИЧЕСКИХ И АРОМАТИЧЕСКИХ АМИНОВ В ВОДНЫХ И СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ

Аннотация. Изучены поверхностные свойства аминов с различным молекулярным строением (алифатический амин – алкиламмония хлорид, алициклический амин – алкилморфолин, ароматический амин – бензетония хлорид) в водных и солевых (NaCl) растворах. Определены критическая концентрация мицеллообразования, поверхностная активность и адсорбция на межфазной границе, минимальная площадь, занимаемая молекулой амина. Показано, что критическая концентрация мицеллообразования снижается, поверхностная активность и адсорбция на границе раздела раствор ПАВ/воздух увеличивается при переходе от алифатического к алициклическому и ароматическому амину и в присутствии низкомолекулярного электролита.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, амины, поверхностное натяжение, поверхностная активность, критическая концентрация мицеллообразования, электролит

Для цитирования. Поверхностные свойства алифатических, алициклических и ароматических аминов в водных и солевых растворах / С. В. Буча, Е. В. Воробьева, В. В. Шевчук [и др.] // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2026. – Т. 62, № 3. – С. 193–199. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-3-193-199>

S. V. Bucha, E. V. Vorobieva, V. V. Shevchuk, D. V. Cherednichenko, O. V. Luksha, E. O. Osipova

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

SURFACE PROPERTIES OF ALIPHATIC, ALICYCLIC, AND AROMATIC AMINES IN AQUEOUS AND SALINE SOLUTIONS

Abstract. The surface properties of amines with different molecular structures, including an aliphatic amine (alkylammonium chloride), an alicyclic amine (alkylmorpholine), and an aromatic amine (benzethonium chloride), were investigated in aqueous and sodium chloride solutions. The critical micelle concentration, surface activity, adsorption at the solution/air interface, and the minimum area occupied by an amine molecule at the interface were determined. It was shown that the critical micelle concentration decreases, while surface activity and adsorption at the surfactant solution/air interface increase when transitioning from aliphatic to alicyclic and aromatic amines, and also in the presence of a low-molecular-weight electrolyte.

Keywords: surfactants, amines, surface tension, surface activity, critical micelle concentration, electrolyte

For citation. Bucha S. V., Vorobieva E. V., Shevchuk V. V., Cherednichenko D. V., Luksha O. V., Osipova E. O. Surface properties of aliphatic, alicyclic, and aromatic amines in aqueous and saline solutions. *Vestsi Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navyk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2026, vol. 62, no. 3, pp. 193–199. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-3-193-199>

Введение. Поверхностно-активные вещества (ПАВ), концентрируясь на поверхности раздела фаз, вызывают снижение ее свободной поверхностной энергии и, следовательно, поверхностного натяжения. Основной количественной характеристикой ПАВ является поверхностная активность – способность вещества снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз. При определенных условиях в растворах ПАВ образуются самоорганизованные наноагрегаты (мицеллы), состоящие из десятков и сотен молекул или ионов ПАВ [1, 2]. Благодаря этим свойствам ПАВ широко используют в качестве смачивателей, пенообразователей, стабилизаторов эмульсий и пен,

гидрофобизаторов во многих технологических процессах в нефтяной, химической промышленности, при производстве строительных материалов, бумаги, тканей, обогащении минеральных руд, в составе моющих средств и т. д. [3–5].

Амины с различным молекулярно-структурным строением относятся к катионным мицеллообразующим (коллоидно-растворимым) ПАВ. В молекулах аминов гидрофобные группы определяют переход молекул из полярной среды в неполярную. Гидрофильные группы, наоборот, удерживают молекулы амина в полярной среде или, если молекулы находятся в углеводородной жидкости, определяют их переход в полярную среду. Таким образом, поверхностная активность аминов на границе раздела фаз раствор–воздух и мицеллообразование молекул зависят от молекулярно-структурного строения аминов и состава среды.

Поверхностно-активные свойства алифатических аминов с различной длиной углеводородного радикала изучены достаточно подробно, особенно в аспекте их использования в качестве флотореагентов в процессах обогащения полезных ископаемых [6, 7]. Установлена зависимость между длиной углеводородного радикала и критической концентрацией мицеллообразования, а также адсорбционной способностью на границе раздела фаз. Показано, что увеличение длины углеводородного фрагмента способствует повышению гидрофобности молекулы и уменьшению поверхностного натяжения растворов, что обуславливает более эффективное снижение межфазной энергии [8–11]. Однако вопросы влияния молекулярно-структурного строения аминов на их поверхностные свойства, процессы мицеллообразования в зависимости от состава среды, в том числе в присутствии низкомолекулярных электролитов, остаются малоизученными.

Исследование поведения аминов различного строения на границе раздела фаз в растворах низкомолекулярного электролита позволит не только расширить представления о механизме формирования адсорбционных слоев в солевой среде, но и выявить влияние ионной силы раствора на поверхностную активность данных соединений. Введение электролитов может существенно изменять концентрационные пределы мицеллообразования, что связано с экранированием заряда полярной головной группы и изменением степени ассоциации молекул ПАВ в растворе. Определение закономерностей такого влияния позволит оптимизировать процессы использования катионных ПАВ в различных технологических процессах.

В настоящей работе приведены результаты исследования поверхностных свойств аминов с различным молекулярно-структурным строением (алифатические, алициклические, ароматические) в водных и солевых (NaCl) растворах.

Экспериментальная часть. В работе использовали алифатический амин ($R-NH_3^+Cl^-$) – алкиламмония хлорид; алициклический амин ($R-C_4H_8ON$) – алкилморфолин, который отличается повышенной растворимостью в воде за счет кислородного атома в морфолиновом кольце; ароматический амин ($R-C_6H_5ON$) – бензетония хлорид с длиной углеводородного радикала (R) C_8-C_{18} .

Водно-солевые растворы аминов готовили разбавлением исходного раствора (концентрация 0,5 %) раствором NaCl (1M). Поверхностное натяжение растворов ПАВ на границе раздела раствор–воздух определяли полустатическим методом отрыва кольца (радиус кольца – 9,544 мм, радиус сечения проволоки – 0,185 мм) в изотермических условиях при $20 \pm 0,5$ °C на автоматическом приборе «Процессор Тензиометр K100 МК 2» (KRÜSS GmbH, Германия) с использованием программного обеспечения LabDesk™. Точность измерений $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ г. В качестве инструмента измерения применяли стандартное платиновое кольцо [14].

Основой метода является определение максимальной силы F_{max} при отрыве кольца от поверхности смачивающей его жидкости. Величину поверхностного натяжения растворов, в которой используется коэффициент коррекции Харкинса–Джордана, учитывающий вес жидкости, поднимаемой кольцом, рассчитывали по формуле (1):

$$\sigma = \sigma^* K = \frac{F_{max}}{2\pi(R+r)} K, \quad (1)$$

где σ – величина поверхностного натяжения жидкости, мН/м; σ^* – измеренная величина поверхностного натяжения жидкости, мН/м; F_{max} – максимальная сила, мН; R – радиус кольца, м; r – радиус сечения проволоки, м; K – коэффициент коррекции Харкинса–Джордана.

Полученные экспериментальные данные использовали для построения изотерм поверхностного натяжения σ ($\ln C$) и расчета коллоидно-химических характеристик: предельной адсорбции ($\Gamma_{\max}$), критической концентрации мицеллообразования (ККМ), свободной энергии мицеллообразования ($\Delta\Phi_m$), плотности упаковки молекул в поверхностном слое (S_m) на границе раздела фаз раствор–воздух [13–15].

Предельную поверхностную адсорбцию на границе раздела раствор–воздух $\Gamma_{\max}$ определяли по уравнению Гиббса (2):

$$\Gamma_{\max} = - (1/RT) \cdot (d\sigma/d\ln C), \quad (2)$$

где $\Gamma_{\max}$ – предельная адсорбция, мг/см²; R – универсальная газовая постоянная; σ – поверхностное натяжение, мН/м; C – концентрация ПАВ в растворе, моль/м³.

Критические концентрации мицеллообразования определяли по точкам излома на изотермах поверхностного натяжения растворов ПАВ.

Поверхностную активность G определяли по уравнению (3):

$$G = \sigma_0 - \sigma_k / \text{ККМ}, \quad (3)$$

где σ_0 и σ_k – поверхностное натяжение насыщенного раствора соли и раствора ПАВ при ККМ, мН/м.

По значениям $\Gamma_{\max}$ в соответствии с уравнением (4) рассчитывали размер посадочной площадки S_m адсорбированной молекулы или иона ПАВ, характеризующий плотность упаковки молекул на поверхности:

$$S_m = 1 / (\Gamma_{\max} N_A), \quad (4)$$

где $\Gamma_{\max}$ – предельная поверхностная адсорбция на границе раздела раствор–воздух; N_A – число Авогадро.

Свободную энергию мицеллообразования $\Delta\Phi_m$ рассчитывали по уравнению (5):

$$\Delta\Phi_m = RT \ln \text{ККМ}, \quad (5)$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура, К.

Результаты и их обсуждение. Способность аминов снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз характеризует поверхностную активность вещества, которая максимально уменьшается при достижении критической концентрации мицеллообразования. На изотермах поверхностного натяжения σ ($\ln C$) растворов аминов можно выделить участки плато и области понижения поверхностного натяжения (рис. 1), обусловленные взаимосвязанными явлениями: формированием адсорбционного слоя на границе раздела раствор–воздух и возникновением мицелл в объеме жидкой фазы.

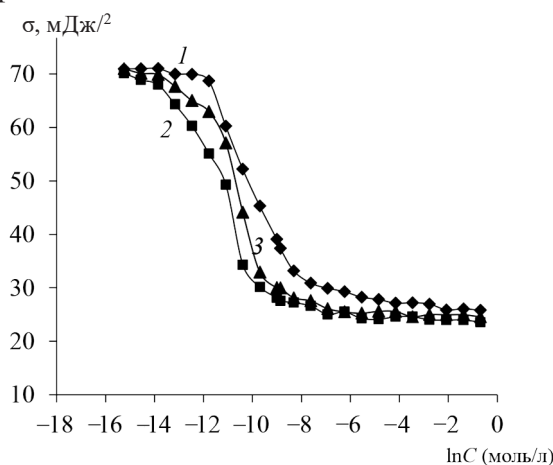


Рис. 1. Изотермы поверхностного натяжения водных растворов алифатического (1), ароматического (2) и алициклического (3) аминов

Fig. 1. Surface tension isotherms of aqueous solutions of aliphatic (1), aromatic (2) and alicyclic (3) amines

Как видно из таблицы, в которой приведены параметры поверхностного слоя и мицеллярной фазы, рассчитанные на основании экспериментальных данных, амины характеризуются положительной поверхностной активностью. С увеличением их содержания в объеме раствора закономерно возрастает концентрация у поверхности. В адсорбционном слое полярные группы молекул ПАВ находятся в водной фазе, а гидрофобные радикалы ориентированы в направлении неполярной среды (воздух). С ростом концентрации структура адсорбционного слоя меняется, последовательно переходя к состоянию с плотной упаковкой молекул.

При концентрациях аминов выше ККМ на поверхности раздела фаз формируется насыщенный адсорбционный слой, соответствующий максимальному снижению поверхностного натяжения раствора, а также происходит самопроизвольное образование мицелл в растворе. Рост концентрации амина в растворе приводит к увеличению числа мицелл и их структурным изменениям, при этом концентрация неассоциированных молекул, находящихся в термодинамическом равновесии с мицеллами, остается почти неизменной. В связи с этим поверхностное натяжение мицеллярного раствора выше уровня ККМ не меняется.

В водных растворах тенденция к мицеллообразованию возрастает, о чем свидетельствует уменьшение ККМ в ряду аминов: алифатический → алициклический → ароматический.

Рассчитанные коллоидно-химические характеристики свидетельствуют о том, что в водном растворе поверхностная активность увеличивается в ряду аминов: алифатический → алициклический → ароматический при переходе от наиболее поверхностно-активного вещества к наименее в 8,6 раза (таблица).

Поверхностные характеристики водных и солевых (NaCl) растворов аминов

Surface characteristics of aqueous and salt (NaCl) solutions of amines

Параметры системы	Амин					
	Водный раствор			Раствор NaCl (0,1 %)		
	Бензетония хлорид	Алкилмор-фолин	Алкиламмония хлорид	Бензетония хлорид	Алкилмор-фолин	Алкиламмония хлорид
ККМ · 10 ³ , %	4,15	7,47	32,8	3,63	4,53	15,3
Поверхностная активность $G \cdot 10^7$, Дж·м/моль	9,39	4,84	1,09	13,6	11,0	3,17
Предельная адсорбция $\Gamma \cdot 10^4$, моль/м ²	9,03	8,27	6,24	19,06	15,32	10,39
Свободная энергия мицеллообразования, $\Delta\Phi_m \cdot 10^4$	-2,29	-2,16	-1,82	-2,32	-2,27	-1,99
Размер посадочной площадки молекул на поверхности $S_m \cdot 10^{21}$, м ²	1,84	2,01	2,17	0,87	1,08	1,59

В водном растворе ароматического амина, с одной стороны, уменьшается ККМ и более выражена тенденция к образованию мицелл, с другой стороны, возрастают предельная адсорбция и поверхностная активность по сравнению с алифатическим и алициклическим аминами. Это может быть обусловлено ассоциацией молекул и формированием структур из мицелл на границе раздела фаз. В случае с ароматическим амином, вероятно, проявляются стерические затруднения при упаковке в мицеллы молекул с радикалами сложных конфигураций, что выражается в относительно низких значениях S_m , характеризующих плотность упаковки молекул в поверхностном слое (см. таблица).

Изменение состава системы в связи с введением неорганического электролита приводит к повышению поверхностной активности аминов и величины предельной адсорбции на межфазной границе, а также уменьшению ККМ (рис. 2, таблица).

В растворах, содержащих низкомолекулярный электролит, как и в водных, поверхностная активность и адсорбция на межфазной границе увеличиваются, а ККМ снижается в ряду аминов: алифатический → алициклический → ароматический. В растворе хлорида натрия поверхностная активность и предельная адсорбция в ряду исследованных аминов повышаются в среднем в 2,2 и 1,9 раза соответственно. В сравнении с водными растворами в растворе электролита выигрыш энергии при переходе гидрофобной цепи из объема в мицеллярную фазу или на по-

верхность раздела фаз возрастает, что инициирует ассоциацию и мицеллообразование неполярных групп молекул ПАВ [1, 2, 13].

Значение критической концентрации мицеллообразования зависит прежде всего от строения молекул ПАВ. С увеличением степени разветвления углеводородной цепи и при наличии циклического фрагмента в радикале при переходе от алифатического к алициклическому амину ККМ уменьшается в 4,4 раза, к ароматическому – в 7,9 раза (в водном растворе). В солевом растворе в том же ряду аминов ККМ уменьшается в 3,4 и 4,2 раза соответственно. Изменение состава среды сопровождается также снижением ККМ: для одних и тех же аминов при переходе от водной к солевой среде ККМ снижается в 1,1–2,1 раза.

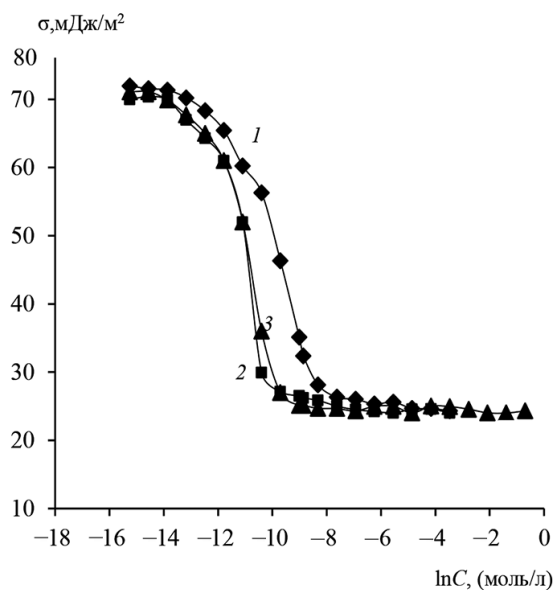


Рис. 2. Изотерма поверхностного натяжения растворов (NaCl 0,1 %) алифатического (1), ароматического (2) и циклического (3) аминов

Fig. 2. Surface tension isotherms of solutions (NaCl 0,1 %) aliphatic (1), aromatic (2) and alicyclic (3) amines

Заклучение. Поверхностная активность и адсорбция на межфазной границе увеличивается, а критическая концентрация мицеллообразования снижается в ряду аминов: алифатический (алкиламмония хлорид) → алициклический (алкилморфолин) → ароматический (бензетония хлорид) как в водных, так и в солевых (хлорид натрия) растворах. Влияние молекулярно-структурного строения аминов на их поверхностные свойства выражено в большей степени, чем влияние состава среды.

Установленная взаимосвязь между молекулярной структурой аминов и их поверхностными свойствами в водной и солевой средах важно для практического применения аминов в качестве стабилизаторов эмульсий и дисперсий, смачивателей, пенообразователей, гидрофобизаторов во многих технологических процессах.

Список литературы

1. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Иенссон, Б. Кронберг, Б. Линдман ; пер. с англ. под ред. Б. Д. Сумма. – М. : Бинум, 2015. – 310 с.
2. Русанов, А. И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ : монография / А. И. Русанов, А. К. Щёкин. – 3-е изд. – СПб. : Лань, 2022. – 612 с.
3. Нанотехнология молекулярного наслаивания при антиадгезионной модификации волокон тканей / В. А. Волков, Е. Л. Щукина, А. Амар-луи [и др.] // Химические волокна. – 2008. – № 2. – С. 34–40.
4. Ермолаева, В. А. Химическая структура основных компонентов синтетических моющих средств / В. А. Ермолаева // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 10. – С. 34–38.
5. Флотационное обогащение калийных руд / Л. В. Дихтиевская, Л. Ф. Шломина, Е. О. Осипова [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 277–287. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-3-277-287>

6. Регулирование пенообразования поверхностно-активных веществ в растворах неорганических электролитов / Ф. Ф. Можейко, Л. В. Дихтиевская, И. И. Гончарик, В. В. Шевчук // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 37–45. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-1-37-45>
7. Laskowski, J. S. From amine molecules adsorption to amine precipitate transport by bubbles: A potash ore flotation mechanism / J. S. Janusz // *Minerals Engineering*. – 2013. – Vol. 45. – P. 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.02.010>
8. Draft screening assessment – Aliphatic Amines Group. Environment and Climate Change Canada. Health Canada – March 2021 // Government of Canada. – URL: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/evaluating-existing-substances/draft-screening-assessment-aliphatic-amines-group.html> (date of access: 15.05.2025).
9. Impact of NaCl concentration on equilibrium and dynamic surface adsorption of cationic surfactants in aqueous solution / C. Zhang, T. Geng, Y. Jiang [et al.] // *Journal of Molecular Liquids*. – 2017. – Vol. 238. – P. 423–429. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.033>
10. Molecular dynamics simulation of the surface tension of aqueous sodium chloride: from dilute to highly supersaturated solutions and molten salt / X. Wang, C. Chen, K. Binder [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2018. – Vol. 18, № 23. – P. 17077–17086. <https://doi.org/10.5194/acp-18-17077-2018>
11. Phan, C. M. Relationship between Molecular Structure and Surface Activity of Surfactants: A Molecular Dynamics Study / C. M. Phan // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2024. – Vol. 128, № 47. – P. 11839–11845. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c05527>
12. Ланге, К. Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / под науч. ред. Л. П. Зайченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 240 с.
13. Tensiometer K100 MK2/SF/C, Instruction Manual V2-05: KRÜSS. – Hamburg: GmbH, 2001–2005. – 153 p.
14. Опанасенко, О. Н. Поверхностные свойства анионно-ориентированных цвиттер-ионных ПАВ на основе аминов и карбоновых кислот / О. Н. Опанасенко, Н. В. Яковец, Н. П. Крутько // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2017. – № 3. – С. 29–37.

References

1. Holmberg K., Jönsson B., Kronberg B., Lindman B. *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*. John Wiley & Sons, Ltd, 2002. <https://doi.org/10.1002/0470856424>
2. Rusanov A. A., Shchekin A. K. *Micelle Formation in Surfactant Solutions*. 3rd ed. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2022. 612 p. (in Russian).
3. Volkov V. A., Shchukina E. L., Amarlui A., Ageev A. A., Kukleva K. K., Eleev A. F. Molecular stratification nanotechnology in antiadhesive modification of fabric fibres. *Fibre Chemistry*, 2008, vol. 40, pp. 127–135. <https://doi.org/10.1007/s10692-008-9024-7>
4. Ermolaeva V. A. Chemical Structure of the Basic Components of Synthetic Detergents. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii = Modern High Technologies*, 2007, no. 10, pp. 34–38 (in Russian).
5. Dikhtievskaya L. V., Shlomina L. F., Osipova E. O., Shevchuk V. V., Mozheyko F. F. Flotation enrichment of potash ores of different mineralogical composition. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 55, no. 3, pp. 277–287 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-55-3-277-287>
6. Mozheiko F. F., Dikhtievskaya L. V., Goncharik I. I., Shevchuk V. V. Regulation of Foaming of Surfactants in Inorganic Electrolyte Solutions. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 37–45 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-1-37-45>
7. Laskowski J. S. From amine molecules adsorption to amine precipitate transport by bubbles: A potash ore flotation mechanism. *Minerals Engineering*, 2013, vol. 45, pp. 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.02.010>
8. Draft screening assessment – Aliphatic Amines Group Environment and Climate Change Canada Health Canada – March 2021. *Government of Canada*. Available at: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/evaluating-existing-substances/draft-screening-assessment-aliphatic-amines-group.html> (15 May 2025).
9. Zhang C., Geng T., Jiang Y., Zhao L., Ju H., Wang Y. Impact of NaCl concentration on equilibrium and dynamic surface adsorption of cationic surfactants in aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*, 2017, vol. 238, pp. 423–429. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.033>
10. Wang X., Chen C., Binder K., Kuhn U., Pöschl U., Su H., Cheng Y. Molecular dynamics simulation of the surface tension of aqueous sodium chloride: from dilute to highly supersaturated solutions and molten. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, vol. 18, iss. 23, pp. 17077–17086. <https://doi.org/10.5194/acp-18-17077-2018>
11. Phan Chi M. Relationship between Molecular Structure and Surface Activity of Surfactants: A Molecular Dynamics Study. *Journal of Physical Chemistry B*, 2024, vol. 128, iss. 47, pp. 11839–11845. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c05527>
12. Lange K. R. *Surfactants: Synthesis, Properties, Analysis, Application*. St. Petersburg, Professiya Publ., 2004. 240 p. (in Russian).
13. *Tensiometer K100 MK2/SF/C, Instruction Manual V2-05: KRÜSS*. GmbH, Hamburg, 2001–2005. 153 p.
14. Opaseneko O. N., Yakovets N. V., Krut'ko N. P. Surface Properties of Anion-Oriented Zwitterionic Surfactants Based on Amines and Carboxylic Acids. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2017, no. 3, pp. 29–37 (in Russian).

Информация об авторах

Буча Светлана Васильевна – научный сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: bucha1003@gmail.com, тел. (+375 29) 250 46 69.

Воробьева Елена Викторовна – доктор химических наук, доцент, заведующая лабораторией. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: evorobieva@igic.bas-net.by, тел. (+375 17) 280 91 99.

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

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

Лушка Ольга Валерьевна – кандидат химических наук, доцент, заведующий лабораторией Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: luksha@igic.bas-net.by

Осипова Елена Олеговна – научный сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: osipovaelena81@gmail.com

Information about the authors

Bucha Sviatlana V. – 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: bucha1003@gmail.com

Vorobieva Elena V. – Dr. Sci. (Chemistry), Professor, 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: evorobieva@igic.bas-net.by

Shevchuk Viacheslav V. – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, 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

Cherednichenko Denis V. – 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: cherednichenko_dv@igic.bas-net.by

Luksha Olga V. – Ph. D. (Chemistry), Assoc. prof., 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: luksha@igic.bas-net.by

Osipova Elena O. – 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: osipovaelena81@gmail.com