

## Оригинальные статьи

Научная статья

УДК 677.042.2 + 544.77.03:53 + 544.77.022.532

<https://doi.org/10.17308/kcmf.2022.24/9260>

## Поверхностно-активные и химические свойства композиций алкилбензолсульфокислота – азотная кислота – вода

С. А. Заболотных<sup>1</sup>✉, А. Д. Соловьев<sup>2</sup>, А. С. Софронов<sup>2</sup>, М. Г. Щербань<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук,  
ул. Академика Королева, 3, Пермь 614013, Российская Федерация

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Букирева, 10, Пермь 614068, Российская Федерация

### Аннотация

Промышленно-выпускаемое анионогенное ПАВ алкилбензолсульфокислота предложена в качестве реагента для ионной флотации металлов из кислых сред. Для установления возможности ее применения в данном методе необходимо изучить поверхностно-активные (поверхностное натяжение, адсорбция, площадь поперечного сечения молекулы в адсорбционном слое) и коллоидные (размеры частиц, критическая концентрация мицеллообразования, солюбилизация) свойства ее водных и азотнокислых растворов.

В работе готовили серии растворов алкилбензолсульфокислоты различной концентрации и содержащие различные количества азотной кислоты (от 1 до 10 масс. %). Методом висячей капли при помощи тензиометра DSA 25E определяли поверхностное натяжение полученных растворов. Введение HNO<sub>3</sub> приводит к понижению поверхностного натяжения растворов алкилбензолсульфокислоты и снижению значения ее ККМ по сравнению с водными растворами. На изотермах поверхностного натяжения при содержании азотной кислоты 5 и 10 масс. % установлено наличие нескольких перегибов, что свидетельствует о ступенчатом мицеллообразовании. Рассчитаны значения поверхностной активности и энергий Гиббса мицеллообразования алкилбензолсульфокислоты в водном и азотнокислых растворах. По результатам обработки кривых поверхностного натяжения растворов алкилбензолсульфокислоты построены изотермы адсорбции. При малых количествах HNO<sub>3</sub> (1 и 2 масс. %) значение предельной адсорбции анионогенного ПАВ значительно увеличивается по сравнению с водным раствором. Дальнейшее увеличение кислотности среды приводит к снижению максимума на изотерме адсорбции. В присутствии неорганической кислоты мономолекулярный слой ПАВ сначала сильно разрыхляется, затем с ростом кислотности постепенно становится более плотным. Из полученных изотерм рассчитаны значения предельных адсорбций, констант адсорбционного равновесия и энергий Гиббса адсорбции на границе «жидкость-газ». Солюбилизирующую способность алкилбензолсульфокислоты по отношению к красителю Sudan I определяли фотометрически с помощью спектрофотометра ЮНИКО 1201. С увеличением кислотности раствора и содержания ПАВ количество солюбилизированного красителя растет.

**Ключевые слова:** алкилбензолсульфокислота, поверхностно-активные свойства, азотная кислота, адсорбция, солюбилизация

**Источник финансирования:** работа выполнена по теме государственного задания № АААА-А18-118032790022-7.

**Благодарности:** исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН.

**Для цитирования:** Заболотных С. А., Соловьев А. Д., Софронов А. С., Щербань М. Г. Поверхностно-активные и химические свойства композиций алкилбензолсульфокислота – азотная кислота – вода. *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2022;24(2): 204–210. <https://doi.org/10.17308/kcmf.2022.24/9260>

**For citation:** Zabolotnykh S. A., Solovyev A. D., Sofronov S. A., Scherban M. G. Surface-active and chemical properties of alkylbenzenesulfonic acid – nitric acid – water composites. *Condensed Matter and Interphases*. 2022;24(2): 204–210. <https://doi.org/10.17308/kcmf.2022.24/9260>

✉ Заболотных Светлана Александровна, e-mail: [zabolotsveta@mail.ru](mailto:zabolotsveta@mail.ru)

© Заболотных С. А., Соловьев А. Д., Софронов А. С., Щербань М. Г., 2022



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

## 1. Введение

Растворы поверхностно-активных веществ широко применяются в различных областях: производстве моющих и косметических средств, пищевых продуктов и красителей, технологии нефтедобычи и нефтепереработки, разнообразных химических, биохимических и фармацевтических производствах, где с помощью ПАВ можно воздействовать на скорость и направленность процессов, осуществлять синтез мезопористых материалов и многое другое.

Особенностью поверхностно-активных веществ является способность к самопроизвольному образованию в растворе структурированных агрегатов (мицелл), что определяет особое практическое значение таких систем. Размер и форма агрегатов ПАВ в растворе определяется балансом взаимодействий гидрофильных и гидрофобных частей молекул ПАВ. В то время как гидрофобные взаимодействия молекул ПАВ способствуют росту мицелл, отталкивание между гидрофильными группами на поверхности мицеллы ограничивает их рост. Добавление низкомолекулярных неорганических соединений (солей, кислот), ионы которых экранируют электростатическое отталкивание гидрофильных групп ПАВ на поверхности мицеллы, повышает поверхностную активность и усиливает адсорбцию ПАВ на границе раздела фаз. Кроме того, неорганические электролиты влияют на весь комплекс коллоидно-химических свойств ПАВ, повышают их мицеллообразующую способность, солюбилизирующее действие, смачивание, способствуют, в частности, переходу сферических мицелл в цилиндрические. Если в растворе уже существуют цилиндрические мицеллы, то добавление неорганической низкомолекулярной соли может приводить к увеличению их длины. При этом эффект определяется не только количеством добавленной к раствору ПАВ соли, но и химической структурой образующихся при её диссоциации ионов. Таким образом, поскольку структура мицелл ПАВ очень чувствительна к типу и количеству добавленной к раствору неорганической низкомолекулярной соли [1–3], электролиты используются для регулирования поверхностно-активных и реологических свойств растворов ПАВ [4].

Анионное ПАВ алкилбензолсульфокислота (АБСК) предложена в качестве реагента для ионной флотации. АБСК хорошо смешивается с водой, образует устойчивую пену, образует осадки с ионами металлов, а также является доста-

точно доступным реагентом. Для установления возможности использования АБСК в качестве флотореагента в кислых растворах необходимо изучить влияние концентрации неорганических кислот на поверхностно-активные и мицеллярные свойства растворов АБСК [5]. Ранее рассмотрено влияние хлороводородной кислоты на коллоидные свойства алкилбензолсульфокислоты [6]. Настоящая работа посвящена исследованию коллоидных свойств водных растворов, содержащих АБСК и азотную кислоту.

## 2. Экспериментальная часть

**Реактивы.** Анионогенное поверхностно-активное вещество алкилбензолсульфокислота (общая формула  $C_nH_{2n+1}C_6H_4SO_3H$ , где  $n = 10–14$ , содержание основного вещества составляет 96.8 %, средняя молекулярная масса 320.9 г/моль, ООО «КИНЕФ»). Исходный раствор АБСК готовили растворением точной навески в дистиллированной воде. Растворы с меньшей концентрацией готовили соответствующим разбавлением. Краситель Sudan I (1-(фенилазо)-2-нафтол, «х.ч.», Sigma-Aldrich). Азотная кислота, концентрированная ( $\rho = 1.49$  г/см<sup>3</sup>, «х.ч.», РМ Инжиниринг). Содержание  $HNO_3$  1, 2, 5 и 10 % в смесях создавали введением рассчитанного количества концентрированной кислоты.

Все эксперименты выполняли при температуре 25 °С.

**Приборы.** Поверхностное натяжение систем АБСК –  $HNO_3$  –  $H_2O$  на границе «жидкость–газ» определяли методом висячей капли при помощи тензиометра DSA 25E производства компании KRUSS.

Значение критической концентрации мицеллообразования (ККМ) АБСК при различном содержании  $HNO_3$  определяли из изотерм поверхностного натяжения: в полулогарифмических координатах устанавливали содержание ПАВ, при котором криволинейный участок графика переходит в прямую, параллельную оси абсцисс [7, 8]. Величину поверхностного натяжения на границе «вода – воздух» при данной температуре брали из справочника [9]. Все данные, приводимые в работе, получены усреднением результатов трех измерений. Поверхностную активность рассчитывали как величину тангенса угла наклона касательной к начальному участку изотермы поверхностного натяжения:

$$g = -\lim_{c \rightarrow 0} \frac{d\gamma}{dc}, \quad (1)$$

$C$  – концентрация раствора АБСК ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $\gamma$  – поверхностное натяжение раствора ( $\text{Н}/\text{м}$ ).

По полученным значениям ККМ рассчитаны значения энергий Гиббса мицеллообразования по формуле:

$$\Delta_m G = RT \ln \text{ККМ}, \quad (2)$$

$R = 8.314$  Дж/моль·К – универсальная газовая постоянная;  $T = 298$  К – абсолютная температура; ККМ – критическая концентрация мицеллообразования ( $\text{моль}/\text{м}^3$ ).

Адсорбцию  $\Gamma$  ( $\text{мкмоль}/\text{м}^2$ ) АБСК на границе «жидкость – газ» рассчитывали на основе изотерм поверхностного натяжения по уравнению:

$$\Gamma = -\frac{1}{RT} \frac{d\gamma}{d \ln C}, \quad (3)$$

$C$  – концентрация раствора АБСК ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $R = 8.314$  Дж/моль·К – универсальная газовая постоянная;  $T = 298$  К – абсолютная температура;  $\gamma$  – поверхностное натяжение раствора ( $\text{Н}/\text{м}$ ).

Из полученных данных по адсорбции вычисляли значения  $C/\Gamma$  и строили график зависимости  $C/\Gamma - f(C)$ . По графику находили значения предельной адсорбции  $\Gamma_m$  (как тангенс угла наклона  $\alpha$ ) и константу адсорбционного равновесия  $K$  ( $\text{м}^3/\text{моль}$ ), из расчета, что отрезок, отсекаемый полученной прямой на оси ординат, равен  $1/(\Gamma_m K)$ . Знание величины предельной адсорбции дает возможность рассчитать параметры мономолекулярного слоя: площадь поперечного сечения молекулы  $S$  ( $\text{нм}^2$ ) и осевую длину  $d$  ( $\text{нм}$ ) молекулы по следующим формулам:

$$S = \frac{1}{\Gamma_m N_A}, \quad (4)$$

$$\delta = \frac{\Gamma_m M}{\rho}, \quad (5)$$

$\Gamma_m$  – предельная адсорбция Гиббса ( $\text{моль}/\text{м}^2$ );  $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$  моль $^{-1}$  – число Авогадро;  $M$  – молярная масса ПАВ ( $\text{кг}/\text{моль}$ );  $\rho$  – плотность ПАВ ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

Из значений констант адсорбционного равновесия  $K$  рассчитаны энергии Гиббса адсорбции на границе раздела «жидкость-газ»  $\Delta_{ads} G$  по уравнению:

$$\Delta_{ads} G = -RT \ln K, \quad (6)$$

$R = 8.314$  Дж/моль·К – универсальная газовая постоянная;  $T = 298$  К – абсолютная температура;  $K$  – константа адсорбционного равновесия ( $\text{м}^3/\text{моль}$ ).

Солюбилизирующую способность  $S$  ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ) композиции АБСК –  $\text{HNO}_3$  –  $\text{H}_2\text{O}$  изучали методом абсорбционной фотометрии по отношению к олеофильному красителю Sudan I [10, 11], нерастворимому в воде, но растворяющемуся в гидрофобной части мицелл. Содержание красителя в растворе определяли, измеряя оптическую плотность раствора в кюветах на  $0.5$  см на спектрофотометре ЮНИКО 1201 при  $\lambda = 400$  нм. В приготовленные растворы композиций ПАВ объемом  $20$  см $^3$  вносили  $20$  мг красителя. Колбы закрывали пробками, перемешивали на встряхивателе Unimax 1010 компании Millab в течение  $60$  мин до установления равновесия, затем содержимое фильтровали через бумажный фильтр. По калибровочному графику ( $A = 0.0147 \cdot C$  ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ),  $R^2 = 0.9983$ ) [6] определяли количество солюбилизированного красителя в единице объема раствора.

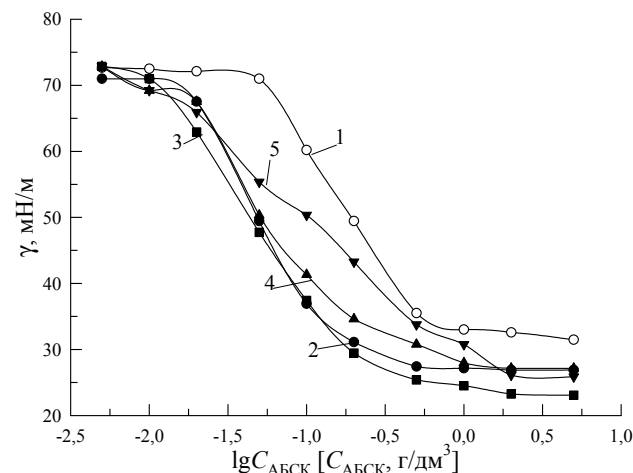
Мольную солюбилизирующую способность  $S_m$  ( $\text{мг}/\text{г}$ ) рассчитывали, как отношение полученного значения  $S$  к концентрации АБСК ( $c$ ,  $\text{г}/\text{дм}^3$ ) [12].

$$S_m = \frac{S}{c}. \quad (7)$$

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Поверхностное натяжение и мицеллообразование

Введение алкилбензолсульфокислоты приводит к резкому снижению поверхностного натяжения как воды, так и водных растворов азотной кислоты (рис. 1). Уменьшение значения  $\gamma$  отражает процесс заполнения поверхностного слоя мо-



**Рис. 1.** Изотермы поверхностного натяжения кислотных композиций АБСК: 1 – без кислоты; 2 – 1 %  $\text{HNO}_3$ ; 3 – 2 %  $\text{HNO}_3$ ; 4 – 5 %  $\text{HNO}_3$ ; 5 – 10 %  $\text{HNO}_3$

лекулами ПАВ и достижение предельного значения адсорбции. После достижения критической концентрации мицеллообразования уменьшение поверхностного натяжения с ростом содержания АБСК замедляется, что связано с образованием мицелл в объеме раствора [13].

В присутствии неорганической кислоты снижение поверхностного натяжения более значительное, чем в чистой воде. Введение азотной кислоты в концентрациях 1 и 2 масс. % приводит к повышению мицеллообразующей способности, выраженному в уменьшении значений ККМ и поверхностного натяжения при ККМ, что вызвано дегидратацией полярных групп поверхностно-активных ионов в присутствии электролита. Также с увеличением концентрации неорганической кислоты снижение поверхностного натяжения раствора начинается при меньшем содержании АБСК.

Увеличение содержания  $\text{HNO}_3$  до 5 и 10 % приводит к появлению на кривых поверхностного натяжения двух перегибов (рис. 1, кривые 4 и 5). Вероятно, с ростом концентрации неорганической кислоты подавляется диссоциация АБСК, как более слабой кислоты ( $pK_a = 2.17$  [14]), в результате чего она ведёт себя аналогично неионному ПАВ и образует предмицеллярные структуры в области более низких концентраций [15]. С ростом содержания ПАВ увеличивается количество АБСК-анионов, образуются смешанные мицеллы, что сопровождается появлением ещё одной ступени на изотерме поверхностного натяжения. Полученные значения  $\text{ККМ}_1$  и рассчитанные по формулам (1) и (2) значения поверхностной активности и энергии Гиббса мицеллообразования в зависимости от ионной силы среды представлены в табл. 1. Отрицательные значения энергии Гиббса указывают на самопроизвольность протекания процесса мицеллообразования. Введение  $\text{HNO}_3$  приводит к резкому повышению поверхностной активности АБСК, отри-

цательное значение  $\Delta_m G$  немного увеличивается по абсолютной величине с ростом кислотности.

### 3.2 Адсорбция на границе «жидкость–газ»

Увеличение кислотности среды при переходе от воды к 10 масс. %  $\text{HNO}_3$  изменяет условия формирования мономолекулярного слоя, по сравнению с водным раствором, что выражается в изменении высоты и положения максимума изотерм адсорбции, рассчитанных из изотерм поверхностного натяжения (рис. 2). Первоначальный рост кислотности резко увеличивает значение предельной адсорбции, однако последующее увеличение содержания кислоты понижает значение  $\Gamma_m$ .

Введение азотной кислоты в концентрациях 1 и 2 % приводит к «разрыхлению» мономолекулярного слоя, что выражается в росте площади, занимаемой одной молекулой ПАВ в нем (табл. 2). При этом константы адсорбционного равновесия ( $K$ ) и абсолютные значения энергий Гиббса адсорбции, которые характеризует работу адсорбции, увеличиваются. То есть с увеличе-

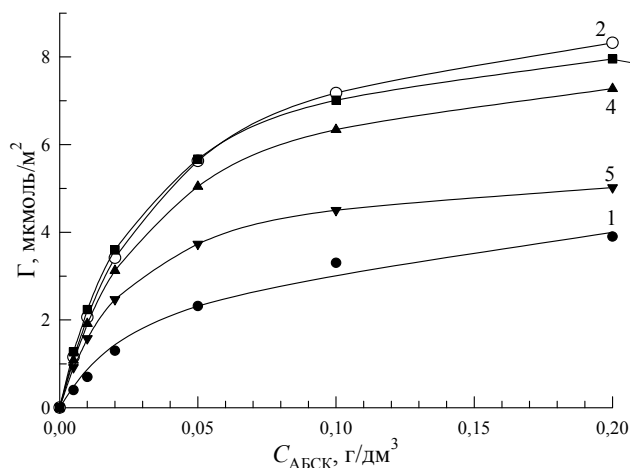


Рис. 2. Изотермы адсорбции АБСК на границе раздела «жидкость–газ»: 1 – без кислоты; 2 – 1 %  $\text{HNO}_3$ ; 3 – 2 %  $\text{HNO}_3$ ; 4 – 5 %  $\text{HNO}_3$ ; 5 – 10 %  $\text{HNO}_3$

Таблица 1. Влияние ионной силы раствора на поверхностно-активные характеристики композиций АБСК –  $\text{HNO}_3$  – вода

$C_{\text{HNO}_3}$ , %	$I$ , моль/дм <sup>3</sup>	ККМ, г/дм <sup>3</sup>	$g$ , мН·м <sup>2</sup> /кг	$\Delta_m G$ , кДж/моль
0.00	0.00	0.50	74.72	-33.17
1.00	0.16	0.15	252.83	-36.15
2.00	0.32	0.20	217.05	-35.44
5.00	0.79	0.20 ( $\text{ККМ}_2 = 0.80$ )	217.05	-35.44
10.00	1.59	0.02 ( $\text{ККМ}_2 = 0.1$ )	347.00	-41.11



**Таблица 2.** Влияние ионной силы раствора на параметры мономолекулярного слоя АБСК на границе «жидкость – газ»

$C_{\text{HNO}_3}$ , %	$I$ , моль/дм <sup>3</sup>	$\Gamma_m$ , мкмоль/м <sup>2</sup>	$K$ , м <sup>3</sup> /моль	$\Delta_{\text{ads}} G$ , кДж/моль	$S$ , нм <sup>2</sup>	$\delta$ , нм
0.00	0.00	5.09	9.65	-5.62	1.96	1.58
1.00	0.29	9.90	26.31	-8.10	1.01	3.07
2.00	0.58	9.19	32.17	-8.60	1.09	2.85
5.00	1.45	8.54	28.89	-8.33	1.17	2.65
10.00	2.92	5.67	38.49	-9.04	1.76	1.76

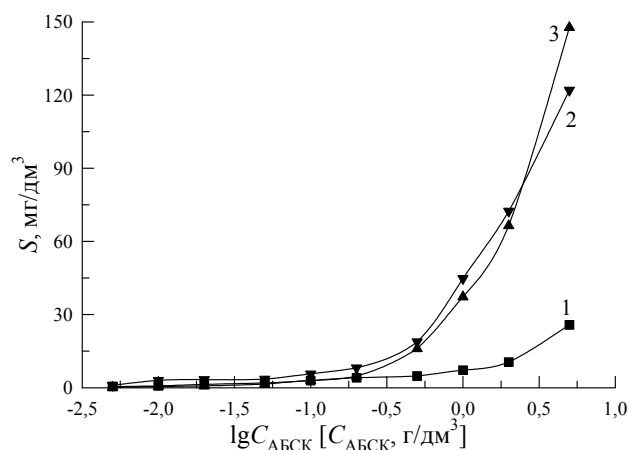
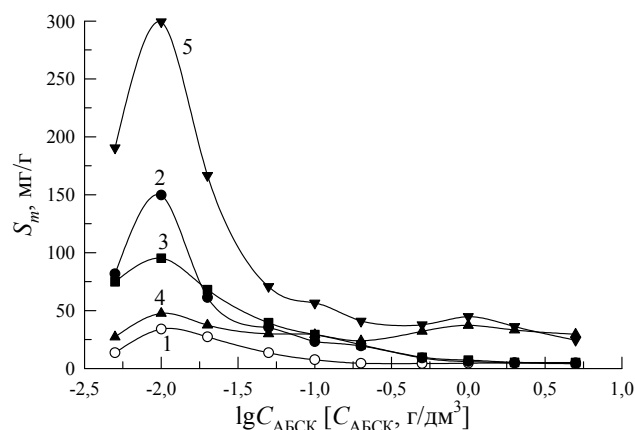
нием содержания неорганической кислоты для перемещения 1 моль ПАВ из объема раствора в поверхностный слой необходимо затратить меньше энергии, чем в водном растворе.

### 3.3. Солюбилизация

Механизм солюбилизации во многом определяется природой ПАВ. В случае ионогенных ПАВ олеофильный краситель, содержащий полярные группы, внедряется в поверхностный слой мицелл, где его молекулы располагаются между молекулами ПАВ, ориентируясь параллельно им и обращаясь полярными группами в водную фазу. При этом солюбилизат может растворяться как в ядре, так и в гидрофильной оболочке мицелл [16].

На начальном участке количество солюбилизированного красителя медленно увеличивается с увеличением концентрации ПАВ. Изотермы солюбилизации в водном растворе и в присутствии 1 и 2 %  $\text{HNO}_3$  практически совпадают (рис. 3). В среде 5 и 10 % неорганической кислоты солюбилизация красителя с ростом содержания АБСК скачкообразно возрастает, что, вероятно, связано с переходом от одного вида мицелл к другому.

При высоких концентрациях азотной кислоты также наблюдается увеличение солюбилизирующей способности, что, скорее всего, связано с протонированием красителя и образованием ионного ассоциата с анионом АБСК. Различные добавки особенно влияют на коллоидное растворение, способствуя укрупнению мицелл за счет их гидрофобизации (т.е. понижению эффективной степени диссоциации и гидратации). На кривых мольной солюбилизации Sudan I наблюдаются максимумы при содержании АБСК 0.01 г/дм<sup>3</sup>, с ростом кислотности меняется только степень выраженности максимума (рис. 4). При дальнейшем увеличении концентрации АБСК количество моль солюбилизированного красителя на 1 моль ПАВ остается постоянным.


**Рис. 3.** Влияние концентрации азотной кислоты на солюбилизацию красителя Sudan I в растворах АБСК: 1 – без кислоты, 1 и 2 %  $\text{HNO}_3$ ; 2 – 5 %  $\text{HNO}_3$ ; 3 – 10 %  $\text{HNO}_3$ 

**Рис. 4.** Влияние концентрации азотной кислоты на молярную солюбилизацию красителя Sudan I в растворах АБСК: 1 – без кислоты; 2 – 1 %  $\text{HNO}_3$ ; 3 – 2 %  $\text{HNO}_3$ ; 4 – 5 %  $\text{HNO}_3$ ; 5 – 10 %  $\text{HNO}_3$ 

### 4. Заключение

Введение азотной кислоты в водные растворы алкилбензолсульфокислоты изменяет структуру мономолекулярных слоёв АПАВ и приводит к росту поверхностной активности АБСК, выражающемуся в снижении величины ККМ. В более концентрированных азотнокислых раство-

рах (5 и 10 %) мицеллообразование протекает в несколько стадий. Процессы мицеллообразования и адсорбции ПАВ на границе «жидкость–газ» протекают самопроизвольно, при этом с ростом кислотности среды значения энергий Гиббса данных процессов увеличиваются по абсолютной величине. Введение азотной кислоты положительно сказывается на солюбилизующей способности водных растворов АБСК по отношению к олеофильному красителю Sudan I, что может быть вызвано протонированием красителя и образованием ионного ассоциата солюбилизиата с АБСК-анионом.

### Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

### конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

### Список литературы

1. Русанов А. И. *Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ*. Л.: Химия; 1992. 280 с.
2. Nagarajan R. Molecular packing parameter and surfactant self-Assembly: The neglected role of the surfactant tail. *Langmuir*. 2002;18: 31–38. <https://doi.org/10.1021/la010831y>
3. Hoffmann H. Viscoelastic surfactant solutions. In: *Structure and flow in surfactant solutions*. Washington: ACS, 1994. pp. 2–31. <https://doi.org/10.1021/bk-1994-0578.ch001>
4. Исмагилов И. Ф., Куряшов Д. А., Вагапов Б. Р., Башкирцева Н. Ю. Влияние электролита на мицеллообразование и реологические свойства водных растворов олеилметилтаурата натрия. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014;17(18): 46–50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22480138>
5. Радусев А. В., Колташев Д. В., Насртдинова Т. Ю., Щербань М. Г., Чеканова Л. Г., Плотникова М. Д. Физические и химические свойства N-(2-гидроксиэтил)алкиламинов. *Журнал прикладной химии*. 2010;83(8): 1369–1373. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43800299>
6. Zabolotnykh S. A., Shcherban M. G., Solovyev A. D. Effect of the hydrochloric acid concentration on the surface-active and functional characteristics of linear alkylbenzenesulfonic acid. *Bulletin of the Karaganda University. CHEMISTRY series*. 2020;99(3): 72–79. <https://doi.org/10.31489/2020Ch3/72-79>
7. Эмелло Г. Г., Бондаренко Ж. В., Грукалова Е. В., Фирсова Л. Д. Коллоидно-химические свойства технических препаратов ПАВ, используемых в косметической промышленности. *Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология*. 2012;151(4): 20–24. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44192982>
8. Айвазов Б. В. *Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции*. М. Высшая школа; 1973. 206 с.
9. Равдель А. А., Пономарева А. М. *Краткий справочник физико-химических величин*. Л. Химия; 1983. 232 с.
10. Демьянцева Е. Ю., Копнина Р. А. *Солюбилизация в растворах поверхностно-активных веществ: учебно-методическое пособие*. СПб.: СПбГТУРП; 2015. 31 с.
11. Vasilieva E. A., Valeeva F. G., Yeliseeva O. E., Lukashenko S. S., Saifutdinova M. N., Zakharov V. M., Gavrilova E. L., Zakharova L. Ya. Supramolecular nanocontainers based on hydrophobized calix[4]resorcinol: Modification by gemini surfactants and polyelectrolyte. *Macroheterocycles*. 2017;10(2): 182–189. <https://doi.org/10.6060/mhc170509v>
12. Стась И. Е., Шипунов Б. П., Репейкова Л. Ю., Михайлова О. П. Влияние электромагнитного поля радиочастотного диапазона на солюбилизацию красителя судан III мицеллами додецилсульфата натрия и цетилпиридиний хлорида в водных растворах. *Известия Алтайского государственного университета*. 2012;75(3-1): 194–198. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17877681>
13. Холмберг К., Йёнссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. *Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах*. Пер. с англ. М.: БИНОМ; 2007. 528 с.
14. Заболотных С. А., Желнина В. О., Денисова С. А., Елохов А. М., Леснов А. Е. Использование расслаивающейся системы вода – антипирин – алкилбензолсульфокислота для экстракции ионов металлов. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия*. 2017;10(4): 536–544. <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0047>
15. Неудачина Л. К., Петрова Ю. С. *Применение поверхностно-активных веществ в анализе: учебное пособие*. Екб.: УрФУ; 2017. 76 с.
16. Смит Р. А., Демьянцева Е. Ю., Андранович О. С., Филиппов А. П. Особенности солюбилизирующего действия амфифильных соединений при обессмоливании целлюлозы. *Известия вузов. Лесной журнал*. 2021;379(1): 180–191. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-180-191>

### Информация об авторах

*Заболотных Светлана Александровна*, к. х. н., н. с. лаборатории органических комплексообразующих реагентов, «Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук» (Пермь, Российская Федерация).

<https://orcid.org/0000-0001-8307-0386>

[zabolotsveta@mail.ru](mailto:zabolotsveta@mail.ru)

*Соловьев Александр Дмитриевич*, студент химического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Российская Федерация).

<https://orcid.org/0000-0002-7852-3683>

[solovev\\_s92@mail.ru](mailto:solovev_s92@mail.ru)

*Софронов Алексей Сергеевич*, студент химического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Российская Федерация).

[sofronov\\_alexey@mail.ru](mailto:sofronov_alexey@mail.ru)

*Щербань Марина Григорьевна*, к. х. н., доцент кафедры физической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Российская Федерация).

<https://orcid.org/0000-0002-6905-6622>

[ma-sher74@mail.ru](mailto:ma-sher74@mail.ru)

*Поступила в редакцию 20.01.2022; одобрена после рецензирования 28.01.2022; принята к публикации 15.04.2022; опубликована онлайн 25.06.2022.*