

КОНСТАНТЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ДИССОЦИАЦИИ СУЛЬФАТОВ ЛИТИЯ, НАТРИЯ И КАЛИЯ В ВОДНО-ИЗОПРОПАНОЛЬНЫХ РАСТВОРАХ

И.М. Борисов, А.А. Набиев

Иван Михайлович Борисов, Аъзамджон Абдухалимович Набиев*

Кафедра химии, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, ул. Октябрьской революции, 3а, Уфа, Российская Федерация, 450008

E-mail: borisovIM@yandex.ru, azamjon.94@inbox.ru*

При введении изопропилового спирта в насыщенные водные растворы сульфатов лития, натрия и калия при 25 °С изменяются физико-химические свойства изученных систем $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O-C}_3\text{H}_7\text{OH}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ и $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O-C}_3\text{H}_7\text{OH}$. При этом понижаются плотность растворов и содержание солей в водно-изопропанольных растворах вследствие уменьшения растворимости солей. Показано, что при варьировании объемного содержания спирта от 0 до 90% растворимость Li_2SO_4 снижается в 1280 раз, Na_2SO_4 – в 548 раз, K_2SO_4 – в 278 раз. Добавки спирта влияют также на степень электролитической диссоциации соли в водно-изопропанольных растворах. Для изучения электрохимических свойств солей использован кондуктометрический метод, основанный на измерении зависимости молярной электропроводности растворов от концентрации соли. В водных растворах сульфаты щелочных металлов проявляют свойства сильных электролитов и практически нацело диссоциируют на ионы. При объемном содержании изопропанола в растворе более 30% сульфаты щелочных металлов начинают проявлять свойства слабых электролитов, о чем свидетельствует корреляция молярной электропроводности разбавленного раствора с концентрацией соли под уравнением, описывающим состояния слабых электролитов. Из трансформаций экспериментальных данных в координатах данного уравнения определены значения констант электролитической диссоциации изученных солей, которые изменяются в пределах от $(8,30 \pm 0,01) \cdot 10^{-5}$ до $(4,35 \pm 0,01) \cdot 10^{-8}$ (моль/л)² при варьировании содержания спирта от 30 до 90 % объемных. Показано, что добавки изопропанола снижают константу (значит и степень) электролитической диссоциации сульфатов щелочных металлов: чем выше концентрация спирта в растворе, тем слабее становится соль в качестве электролита. Значение константы электролитической диссоциации зависит от природы соли: при увеличении размера катиона сульфатов константа электролитической диссоциации снижается.

Ключевые слова: сульфаты лития, натрия и калия, водно-изопропанольные растворы, кондуктометрия, константы электролитической диссоциации

CONSTANTS OF ELECTROLYTIC DISSOCIATION OF THE LITHIUM, SODIUM AND POTASSIUM SULFATES IN AQUEOUS ISOPROPANOL SOLUTIONS

I.M. Borisov, A.A. Nabiev

Ivan M. Borisov *, Azamdzhon A. Nabiev

Department of Chemistry, M. Aknulla Bashkir State Pedagogical University, Oktyabrskoiy Revolyutsii st., 3a, Ufa, 450008, Russia

E-mail: BorisovIM@yandex.ru, Azamjon.94@inbox.ru*

At introduction of isopropyl alcohol in saturated aqueous solutions of sulfates of lithium, sodium and potassium at 25 °С physico-chemical properties of the studied systems $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O-C}_3\text{H}_7\text{OH}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ and $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ are changed. This reduces the density of solutions and salt content in aqueous isopropanol solutions due to a decrease in solubility of salts. It is shown that the variation of the volume content of alcohol from 0% to 90% results in the

decrease of Li_2SO_4 solubility 1280 times, Na_2SO_4 – 548 times, K_2SO_4 – in 278 times. Alcohol additives also affect the degree of electrolytic dissociation of salt in aqueous isopropanol solutions. To study the electrochemical properties of salts we used conductometric method based on the measurement of the molar conductivity of solutions depending on salt concentration. In aqueous solutions, alkali metal sulfates exhibit the properties of strong electrolytes and almost completely dissociate into ions. When the volume content of isopropanol in the solution is more than 30%, alkali metal sulfates begin to show the properties of weak electrolytes, as evidenced by the correlation of the molar conductivity of the diluted solution with the salt concentration under the equation describing the state of weak electrolytes. From the transformations of experimental data in the coordinates of this equation, the values of the electrolytic dissociation constants of the studied salts were determined, which vary $(8.30 \pm 0.01) \cdot 10^{-5}$ to $(4,35 \pm 0,01) \cdot 10^{-8} (\text{mol/l})^2$ when varying the alcohol content from 30 to 90% volume. It is shown that isopropanol additives reduce the constant (and hence the degree) of electrolytic dissociation of alkali metal sulfates: the higher the alcohol concentration in the solution, the weaker the salt becomes as an electrolyte. The value of the electrolytic dissociation constant depends on the nature of the salt: with an increase in the size of the sulfate cation, the electrolytic dissociation constant decreases.

Key words: lithium, sodium and potassium sulfates, aqueous isopropanol solutions, conductometry, electrolytic dissociation constants

Для цитирования:

Борисов И.М., Набиев А.А. Константы электролитической диссоциации сульфатов лития, натрия и калия в водно-изопропанольных растворах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 3. С. 16–22

For citation:

Borisov I.M., Nabiev A.A. Constants of electrolytic dissociation of the lithium, sodium and potassium sulfates in aqueous isopropanol solutions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 3. P. 16–22

Растворы неорганических солей широко используются в быту, при переработке полезных ископаемых ресурсов и утилизации производственных отходов. В литературе достаточно подробно приведены физико-химические свойства неорганических солей в водных системах. Особую актуальность и практическую значимость имеют растворы неорганических солей в бинарных смешанных растворителях, позволяющие получать электролитные композиции с требуемыми физико-химическими свойствами [1, 2]. Имеющиеся в литературе данные по свойствам неорганических солей в водно-органических растворах относятся преимущественно к растворимости и фазовым равновесиям различных солей в этих системах. Так, в работах [3-9] авторы подробно описали влияние состава и природы органического растворителя (пиридина, масляной кислоты, дипропиламина, диизопропиламина) на физико-химические свойства, в том числе фазовые переходы нитратов и формиатов щелочных металлов в водно-органических растворах. В работе [10] рассмотрено влияние температуры и природы электролита на фазовое равновесие в жидких фазах, присутствующих в водно-органических системах на основе полиэтиленгликоля и воды. Полученные результаты позволили установить, что природа катиона также сильно влияет на фазообразование, т.е. в ряду сульфатов

при переходе от Mg^{+2} к Na^+ и Li^+ уменьшается энтальпия комплексобразования. В работах [11, 12] показано влияние добавок спиртов на физико-химические свойства водно-спиртовых растворов, в которых взаимодействия растворитель-растворитель играют значительную роль. Эти смеси обладают также ярко выраженными структурами, которые варьируются в зависимости от температуры и содержания спирта. В ряде работ [12-16] показана взаимосвязь процесса ассоциации между молекулами воды и спирта с электропроводностью растворов. В частности, нами установлено [12, 13], что добавки этанола существенно понижают электропроводность растворов сульфата натрия, при этом соль в зависимости от содержания спирта проявляет свойства сильного, средней силы или слабого электролита.

Настоящая работа является продолжением проведенного в [12, 13] исследования и посвящена изучению влияния спирта на растворимость, электропроводность и константы электролитической диссоциации сульфатов лития, натрия и калия в водно-изопропанольных растворах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В эксперименте использовался сульфат лития марки «х.ч.», сульфат натрия марки «х.ч.» и сульфат калия марки «х.ч.» производства ООО АО

«Реахим» (Россия), которые дополнительно очищали перекристаллизацией. В работе использовали изопропанол марки «ч.д.а.» производства АО «ЭКОС-1» (Россия) в соответствии с ТУ 2632-181-44493179-2014. Содержание основного вещества (C_3H_7OH) не менее 98 об. %. Насыщенные водные растворы сульфатов лития натрия и калия готовили весовым методом, используя весы марки ВЛР-200 (с точностью взвешивания $2 \cdot 10^{-4}$ г).

К насыщенным водным растворам сульфатов лития, натрия и калия добавляли заданный объем изопропилового спирта и перемешивали до состояния равновесия. Состояние равновесия устанавливали микрокристаллооптическим методом с помощью микроскопа «Levenhuk 670 T» (США) [17], критерием достижения равновесия служило постоянство морфологии образующихся кристаллов. Концентрации солей в исследуемых растворах определяли по ГОСТу [18] путем титрования раствором хлорида бария в присутствии индикатора нитхромазо. Титрование заканчивали при переходе окраски из фиолетовой в голубую. Ошибка определения концентрации солей составляла 0,1% при использовании в процессе титрования микробюреток.

Плотность исследуемых растворов измеряли с погрешностью $\pm 0,05$ кг·м⁻³, используя ареометр марки АОН-1. Для поддержания температуры $T = 298,15$ К с точностью $\pm 0,5$ °С использовали термостат марки «ЛОИР LT-105» (Россия).

Удельную электропроводность растворов сульфатов лития, натрия и калия κ (ом⁻¹·м⁻¹) определяли с помощью кондуктометра «Hydromaster Digital НМ-200», производство НМ Digital, Inc (США), погрешность прибора составляет $\pm 0,2\%$.

Молярную электропроводность λ (ом⁻¹·моль⁻¹·м²) находили по формуле

$$\lambda = \kappa \cdot 1000 / C(M_2SO_4),$$

где $C_0(M_2SO_4)$ – начальные концентрации Li_2SO_4 , Na_2SO_4 , K_2SO_4 . Для нахождения зависимости электропроводности от концентрации соли анализируемый раствор десятикратно разбавлялся растворителем (водой или смесью воды с изопропанолом). Электрическая проводимость растворителей не превышала 1% от электропроводности раствора. Эксперимент проводили в конических колбах, термостатированных с помощью циркуляционного термостата серии LOIP LT-105 с точностью $(25 \pm 0,5)$ °С, объем растворов составлял 30 мл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные значения плотности тройных систем электролит – вода – изопропанол и молярные концентрации солей в насыщенных исследуемых растворах представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Плотность насыщенных растворов сульфатов лития, натрия и калия в водно- изопропанольных растворах. $T=298,15$ К

Table 1. The density of saturated sulfates solutions of lithium, sodium and potassium in water-isopropanol solutions. $T=298,15$ K

[H ₂ O]:[C ₃ H ₇ OH], Объемные доли в %	ρ (H ₂ O + C ₃ H ₇ OH), кг/м ³	ρ (H ₂ O + C ₂ H ₇ OH + соль), кг/м ³		
		Li ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄
100:0	997,05*	1245,01	1240,02	1093,01
90:10	983,97	987,00	1116,32	1035,93
80:20	960,95	962,41	1013,96	990,08
70:30	935,98	939,38	962,72	959,89
60:40	913,15	917,25	930,79	921,52
50:50	885,95	894,09	907,38	896,55
40:60	867,09	872,27	885,40	873,32
30:70	846,78	850,64	862,27	850,32
20:80	820,08	828,81	841,14	828,60
10:90	803,85	806,73	820,71	806,94

Примечание: *значение заимствовано из сноски [19]

Note: *value was given from [19]

Таблица 2

Молярные концентрации сульфатов щелочных металлов в насыщенных водно- изопропанольных растворах. $T=298,15$ К

Table 2. Molar concentrations of alkali metal sulphates in saturated water-isopropanol solutions. $T=298,15$ K

[H ₂ O]: [C ₃ H ₇ OH], Объемные доли в %	$C_0(Li_2SO_4)$ моль/л	$C_0(Na_2SO_4)$ моль/л	$C_0(K_2SO_4)$ моль/л
100:0	3,313	1,965	0,692
90:10	0,070	0,670	0,330
80:20	0,049	0,353	0,191
70:30	0,035	0,170	0,140
60:40	0,029	0,050	0,043
50:50	0,014	0,034	0,023
40:60	0,011	0,018	0,013
30:70	0,009	0,007	0,007
20:80	0,007	0,004	0,003
10:90	0,001	0,002	0,002

Плотности растворов снижаются при добавлении изопропанола, имеющего меньшее значение плотности по сравнению с водой, и с понижением концентрации растворенной соли. Данные табл. 1 согласуются с работами [9, 19-22].

Найденные величины плотности насыщенных растворов сульфатов лития, натрия и калия в водно-изопропанольных растворах (табл. 1) были использованы при расчете массовых долей компонентов в изученных трёхкомпонентных системах: Li_2SO_4 -H₂O-C₃H₇OH, Na_2SO_4 -H₂O-C₃H₇OH и K_2SO_4 -H₂O-C₃H₇OH при 298,15 К (табл. 3). В табл. 3 представлены данные, описанные в литературе [11, 23, 24]

и полученные нами дополнительно в области низких концентраций, где содержание сульфатов ли-

тия, натрия и калия составляет от 0,02 до 0,16 массовых % соли в системе.

Таблица 3

Растворимость сульфатов лития, натрия и калия в водно-изопропанольных растворах. T=298,15 К

Table 3. The solubility of sulfates of lithium, sodium and potassium in water-isopropanol solutions. T=298.15 K

Состав насыщенных растворов, масс. %								
Система Li ₂ SO ₄ -H ₂ O-C ₃ H ₇ OH			Система Na ₂ SO ₄ -H ₂ O-C ₃ H ₇ OH			Система K ₂ SO ₄ -H ₂ O-C ₃ H ₇ OH		
Li ₂ SO ₄	H ₂ O	C ₂ H ₅ OH	Na ₂ SO ₄	H ₂ O	C ₂ H ₅ OH	K ₂ SO ₄	H ₂ O	C ₂ H ₅ OH
25,60	74,40	0,00	21,90	78,10	0,00	11,10	88,90	0,00
0,78	91,26	7,96	8,85	83,71	7,44	5,54	86,88	7,58
0,56	83,12	16,32	4,96	79,20	15,84	3,34	80,80	15,86
0,41	74,52	25,07	2,50	72,60	24,90	2,54	72,92	24,54
0,35	65,41	34,24	0,77	64,73	34,50	0,81	65,11	34,08
0,17	55,93	43,90	0,53	55,26	44,21	0,45	55,77	43,78
0,14	45,86	54,00	0,28	45,33	54,39	0,26	45,80	53,94
0,12	35,27	64,61	0,11	36,50	63,39	0,14	35,26	64,60
0,09	24,13	75,78	0,07	23,79	76,14	0,06	24,14	75,80
0,02	12,40	87,58	0,04	12,19	87,77	0,04	12,40	87,56

Как видно из данных табл. 3, увеличение содержания изопропанола приводит к уменьшению более, чем на два порядка растворимости сульфатов лития, натрия и калия. Основной причиной такого влияния, прежде всего, является понижение диэлектрической проницаемости жидкой фазы, состоящей из смеси полярной воды ($\epsilon = 78,53$) и малополярного изопропанола ($\epsilon = 18,30$). Аналогичные закономерности наблюдались также в случае водно-этанольных растворов сульфата натрия [12, 13].

Электропроводность выступает одним из важных свойств растворов солей, поскольку отражает состояние соли-электролита в растворе. Общеизвестно, что сульфаты щелочных металлов в водных растворах являются сильными электролитами и практически нацело диссоциируют на ионы. В ряде работ [25-28] показано, что добавки органического растворителя к водным растворам солей понижают электропроводность растворов при неизменной концентрации соли. Этот экспериментальный факт указывает на снижение степени электролитической диссоциации соли под влиянием органической добавки. При этом меняется также вид математических уравнений, которые количественно описывают зависимость молярной электропроводности от концентрации соли в смешанном растворителе [12, 13]. Если степень электролитической диссоциации высока и соль проявляет свойства сильного электролита, зависимость молярной электропроводности разбавленного раствора от концентрации соли описывается уравнением Кольрауша [11, 12, 28, 29]

$$\lambda = \lambda_0 - a \cdot C_0(M_2SO_4)^{1/2} \quad (1)$$

где λ – молярная электропроводность раствора; λ_0

– предельная молярная электропроводность раствора; $C_0(M_2SO_4)$ – исходная концентрация сульфата лития, натрия или калия; a – параметр, характеризующий электрофоретический и релаксационный эффекты торможения ионов. Ранее нами показано [12], что в водно-этанольных растворах при определенной концентрации введенного спирта значительно снижается степень электролитической диссоциации сульфата натрия, его электролитные свойства ухудшаются, и поэтому соль становится слабым электролитом. В этом случае взаимозависимость молярной электропроводности и концентрации соли описывается модифицированным уравнением:

$$4\lambda^3 \cdot C_0(M_2SO_4)^2 = K_{\text{дис}} \cdot \lambda_0^3 - K_{\text{дис}} \cdot \lambda_0^2 \cdot \lambda \quad (2)$$

где $K_{\text{дис}}$ – константа электролитической диссоциации соли.

Описанные в [12, 13] электрохимические свойства в полной мере проявляются и в случае исследуемых водно-изопропанольных растворов сульфатов лития, натрия и калия. Зависимость молярной электропроводности водных растворов Li₂SO₄, Na₂SO₄ и K₂SO₄ от концентрации солей описывается уравнением Кольрауша с коэффициентом корреляции 0,990-0,999. В случае использования смешанного водно-органического растворителя при определенной концентрации добавленного изопропанола сульфаты щелочных металлов начинают проявлять свойства слабого электролита, и молярная электропроводность исследуемых растворов линейно коррелирует с концентрацией соли в координатах уравнения (2) с коэффициентом корреляции более 0,980 (рисунок).

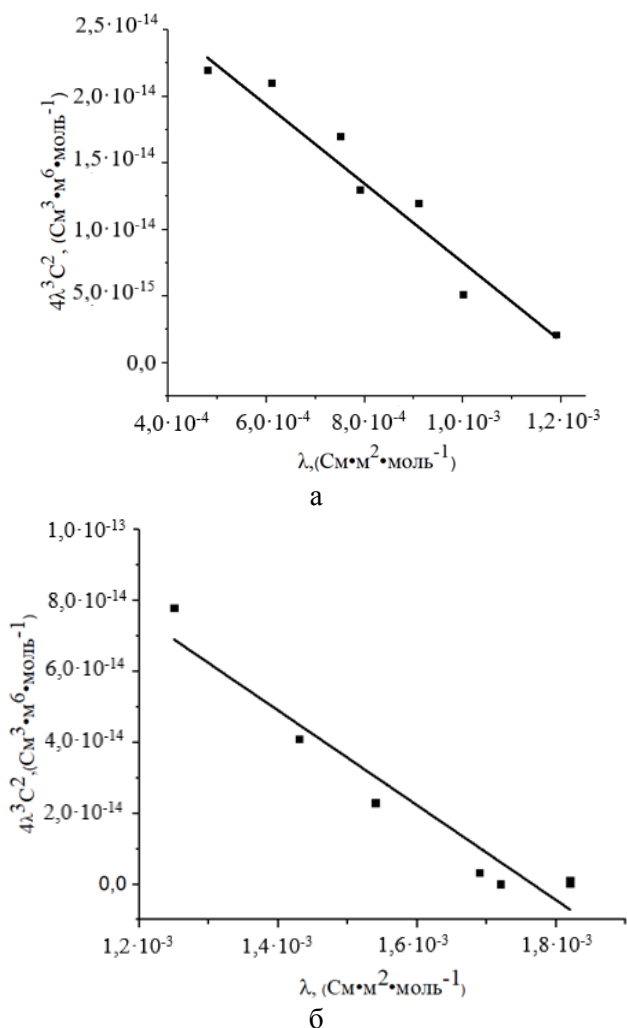


Рис. Линейная зависимость экспериментальных данных в координатах уравнений (2). Объемные доли $[\text{H}_2\text{O}]:[\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}]$ в %: (а) 30:70, (б) 20:80

Fig. The linear dependence in the coordinates of equations (2). Volume fractions of $[\text{H}_2\text{O}]:[\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}]$ in %: (a) 30:70, (б) 20:80

Применяя подход, описанный в работах [12, 13], были определены величины отсечения на оси ординат ($K_{\text{дис}} \cdot \lambda_0^3$), и $\text{tg}\alpha$ ($K_{\text{дис}} \cdot \lambda_0^2$). Учитывая,

что предельная электропроводность определяется по соотношению

$$\lambda_0 = K_{\text{дис}} \cdot \lambda_0^3 / K_{\text{дис}} \cdot \lambda_0^2, \quad (3)$$

были вычислены значения констант электролитической диссоциации сульфатов лития, натрия и калия в водно-изопропанольных растворах через значение тангенса угла наклона:

$$K_{\text{дис}} = \text{tg}\alpha / \lambda_0^2. \quad (4)$$

Полученные результаты представлены в табл. 4.

Анализ данных табл. 4 показывает, что, во-первых, добавки изопропанола к водному раствору соли снижают константу (значит и степень) электролитической диссоциации сульфатов щелочных металлов: чем выше концентрация спирта в растворе, тем слабее становится соль в качестве электролита. Следует отметить, что изопропанол менее полярный растворитель по сравнению с этанолом, и поэтому в большей степени снижает константу электролитической диссоциации сульфатов лития, натрия и калия в водно-спиртовых растворах [14]. Во-вторых, на значение константы электролитической диссоциации оказывает влияние природа соли: в ряду солей с одинаковым SO_4^{2-} -анионом при увеличении размера катиона константа электролитической диссоциации снижается ($K_{\text{дисс}}: \text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+$) в области содержания изопропанола до 60% об., дальнейшее увеличение протонного растворителя в трехкомпонентной системе приводит к нарушению монотонности изменения ее величины ($K_{\text{дисс}}: \text{Li}^+ < \text{Na}^+ > \text{K}^+$). Полученные данные имеют справочный характер и могут быть использованы при разработке технологий переработки минерального сырья или утилизации промышленных стоков, содержащих сульфаты щелочных металлов.

Работа выполнена при финансировании за счет средств научного гранта Башгоспедуниверситета им. М. Акмуллы № 66/н от 14.06.2019.

Таблица 4

Значения констант электролитической диссоциации сульфатов лития, натрия и калия в водно-изопропанольных растворах. $T = 25^\circ\text{C}$

Table 4. Values of electrolytic dissociation constants of lithium, sodium and potassium sulphates in aqueous ethanol solutions $T = 25^\circ\text{C}$

Объемная доля изопропанола, % объем.	$K_{\text{дис}} (\text{Моль/Л})^2$		
	Li_2SO_4	Na_2SO_4	K_2SO_4
20	—	—	$(6,01 \pm 0,02) \cdot 10^{-7}$
30	$(8,30 \pm 0,01) \cdot 10^{-5}$	$(6,93 \pm 0,08) \cdot 10^{-5}$	$(4,16 \pm 0,04) \cdot 10^{-7}$
40	$(7,44 \pm 0,01) \cdot 10^{-5}$	$(5,02 \pm 0,21) \cdot 10^{-5}$	$(2,35 \pm 0,01) \cdot 10^{-7}$
50	$(5,04 \pm 0,01) \cdot 10^{-5}$	$(3,45 \pm 0,05) \cdot 10^{-5}$	$(9,49 \pm 0,08) \cdot 10^{-8}$
60	$(2,64 \pm 0,45) \cdot 10^{-5}$	$(2,90 \pm 0,06) \cdot 10^{-5}$	$(8,69 \pm 0,02) \cdot 10^{-8}$
70	$(1,21 \pm 0,31) \cdot 10^{-5}$	$(2,23 \pm 0,64) \cdot 10^{-5}$	$(7,02 \pm 0,02) \cdot 10^{-8}$
80	$(7,62 \pm 0,11) \cdot 10^{-6}$	$(8,05 \pm 0,02) \cdot 10^{-6}$	$(4,35 \pm 0,01) \cdot 10^{-8}$
90	$(5,95 \pm 0,01) \cdot 10^{-6}$	—	—

ЛИТЕРАТУРА

1. Мешкова А.А., Сафонова В.Д., Гартман Т.Н. Разработка процедур расчета химико-технологических схем с учетом реакции диссоциации электролитов в неорганических системах. *Усп. в химии и хим. технологии*. 2014. Т. 28. № 2 (151). С. 24-27.
2. Смотров М.П., Уметчиков В.А., Данилина В.В., Черкасов Д.Г. Фазовые равновесия и растворимость компонентов в двойной системе вода–дипропиламин. *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. Вып. 4. С. 378–382. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-4-378-382.
3. Черкасов Д.Г., Чепурина З.В., Курский В.Ф., Ильин К.К. Топологическая трансформация фазовой диаграммы разреза 1 тетраэдра состава четверной системы нитрат калия – вода – пиридин – масляная кислота в интервале 5-60 °С. *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2016. Т. 16. Вып. 3. С. 262-269. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-3262-269.
4. Смотров М.П., Черкасов Д.Г., Ильин К.К. Фазовые равновесия и критические явления в тройной системе нитрат цезия–вода–пиридин. *Журн. неорган. химии*. 2017. Т. 62. № 3. С. 375–380. DOI: 10.1134/S003602361703015.
5. Смотров М.П., Овчинникова Л.С., Черкасов Д.Г. Кристаллизация в тройной жидкостной системе вода–пиридин–масляная кислота. X Междун. науч. конф. «Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы нового поколения». 1-6 июля 2018 г. Суздаль. С. 408.
6. Данилина В.В., Уметчиков В.А., Ильин К.К., Черкасов Д.Г. Экстрактивная кристаллизация соли в тройной системе формат калия–вода–диизопропиламин. X Междун. науч. конф. «Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы нового поколения». 1-6 июля 2018 г. Суздаль. С.408-409.
7. Черкасов Д.Г., Чепурина З.В., Ильин К.К. Топологическая трансформация фазовой диаграммы разреза 2 тетраэдра состава четверной системы нитрат калия – вода – пиридин – масляная кислота в интервале 5–60°С. *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. Вып. 3. С. 278–284. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-278-284.
8. Межуева М.А., Данилина В.В., Черкасов Д.Г. Влияние нитрата натрия на фазовое поведение двойной системы вода–дипропиламин в интервале –17.0-90.0°С. *Совр. пробл. теор. и экспериментал. Химии. Межвуз. Сб. науч. Тр. XIII Всероссийск. конф. молодых ученых с международ. участием. Саратов: Изд-во «Саратовский источник». 2018. С. 10-12.*
9. Кучук В.И., Широкова И.Ю., Голикова Е.В. Физико-химические свойства водно-спиртовых смесей гомологического ряда низших алифатических спиртов. *Физика и химия стекла*. 2012. Т. 38. № 5. С. 625-632.
10. Martins J.P., Carolina de Paula Carvalho, Luis Henrique Mendes da Silva, Jane Sélia dos Reis Coimbra, Maria do Carmo Hespagnol da Silva, Guilherme Dias Rodrigues, Luis Antonio Minim. Liquid–liquid equilibria of an aqueous two-phase system containing poly(ethylene) glycol 1500 and sulfate salts at different temperatures. *J. Chem. Eng. Data*. 2008. V. 53. N 1. P. 239. DOI: 10.1021/je700538z.
11. Набиев А.А. Растворимость сульфата натрия в водно-изопропанольных растворах при 25°С. Матер. XX Междун. науч.-практ. конф. им. проф. Л.П. Кулёва студ. и молод. уч. «Химия и химическая технология». 20-25 мая 2019 г. Томск: ТПУ. С. 260-261.

REFERENCES

1. Meshkova A. A., Safonova V. D., Hartman T. N. Development of procedures for calculation of chemical and technological schemes taking into account the reactions of dissociation of electrolytes in inorganic systems. *Usp. Khim. Khim. Tekhnol.* 2014. V. 28. N 2 (151). P. 24-27 (in Russian).
2. Smotrov M.P., Umetchikov V.A., Danilina V.V., Cherkasov D.G. Phase equilibrium and solubility of the components in a binary system water–dipropylamine. *Izv. Sarat. Un-ta. Nov. ser. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya*. 2018. V. 18. N 4. P. 378-382 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-4-378-382.
3. Cherkasov D.G., Chepurina Z.V., Kursky V.F., Ilyin K. Topological transformation of phase diagram of the section 1 of the tetrahedron composition quadruple system potassium nitrate – water – pyridine – butyric acid in the range of 5-60 °C. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya*. 2016. V. 16. N 3. P. 262-269 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-3262-269.
4. Smotrov M.P., Cherkasov D.G., Ilyin K.K. Phase equilibria and critical phenomena in the cesium nitrate – water – pyridine ternary system. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2017. V. 62. N 3. P. 386-390. DOI:10.1134/S003602361703015.
5. Smotrov M.P., Ovchinnikova L.S., Cherkasov D.G. Crystallization in a triple liquid system water-pyridine-butyric acid. X international scientific conference " Kinetics and mechanism of crystallization. Crystallization and next generation materials". July 1-6. 2018. Suzdal. P. 408 (in Russian).
6. Danilina V.V., Umetchikov V.A., Ilyin K.K., Cherkasov D.G. Extractive crystallization of salts in the ternary system potassium formate–water–diisopropylamine. X international scientific conference "Kinetics and mechanism of crystallization. Crystallization and next generation materials". July 1-6. 2018. Suzdal. P. 408-409 (in Russian).
7. Cherkasov D.G., Chepurina Z.V., Ilyin K.K. Topological transformation of phase diagram of the section 2 composition tetrahedron of the quaternary system potassium nitrate – water – pyridine – butyric acid in the range of 5-60°С. *Izv. Sarat. Un-ta. Nov. ser. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya*. 2018. V. 18. N 3. P. 278-284 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-278-284.
8. Mezhueva M.A., Danilina V.V., Cherkasov D.G. Effect of sodium nitrate on the phase behavior of the binary system water–dipropylamine in the interval 17.0-90.0°. *Modern problems of theoretical and experimental chemistry: Interuniversity collection. Collection of articles. XIII Int. Conf. young scientists with international participation. Saratov: Izd. dom "Saratov source". 2018. P. 10-12 (in Russian).*
9. Kuchuk V.I., Shirokova I.Yu., Golikova E.V. Physical and chemical properties of water-alcohol mixtures of homological series of lower aliphatic alcohols. *Khim. Fizika. Stekla*. 2012. V. 38. N 5. P. 625-632 (in Russian).
10. Martins J.P., Carolina de Paula Carvalho, Luis Henrique Mendes da Silva, Jane Sélia dos Reis Coimbra, Maria do Carmo Hespagnol da Silva, Guilherme Dias Rodrigues, Luis Antonio Minim. Liquid– quadruple system. *J. Chem. Eng. Data*. 2008. V. 53. N 1. P. 239. DOI: 10.1021/je700538z.
11. Nabiev A.A. Solubility of sodium sulfate in aqueous isopropanol solutions at 250C. *Materials of the XX international scientific and practical conference named after Prof. L.P. Kulev students and young scientists "Chemistry and chemical technology"*. May 20-25. 2019. Tomsk. P. 260-261 (in Russian).
12. Borisov I.M., Nabiev A.A., Mukhamedyanova A.A., Soliev L., A. F. Tshow, Musodzhonova. J.M. Electrolytic dissociation of sodium sulfate in aqueous ethanol solutions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 6. P. 59-64 (in Russian). DOI: 10.6060/tct.2017606.5535.

12. **Борисов И.М., Набиев А.А., Мухамедьянова А.А., Солиев Л., Тошов А.Ф., Мусоджонова Дж.М.** Электролитическая диссоциация сульфата натрия в водно-этанольных растворах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2017. Т. 60. Вып. 6. С. 59-64. DOI: 10.6060/tcct.2017606.5535
13. **Borisov I.M., Nabiev A.A.** Константы электролитической диссоциации сульфатов лития, натрия и калия в водно-этанольных растворах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. № 2. С. 26-31.
14. **Монахова Ю.Б., Рубцова Е.М., Варламова Т.М., Муштакова С.П.** Ассоциация в растворах одноатомных спиртов и их смесях с водой. *Журн. физ. химии*. 2012. Т. 86. № 3. С. 449-455.
15. **Ajaya B., Kumar S.S.** Effects of Concentration and Relative Permittivity on the Transport Properties of Sodium Chloride in Pure water and Ethanol-Water Mixed Solvent Media. *Res. J. Chem. Sci.* 2011. V. 1(6). P. 48-52.
16. **Apelblat.** A New Look on the Representation of Electrical Conductivities in Mixed Solvents. The Universal Curves of Limiting Conductances of Electrolytes and the Modified and the Excess Walden Products. *Acta Chim. Slov.* 2009. V. 56. P. 1-17.
17. **Кочетков О.С.** Основы кристаллооптики и микроскопический анализ. Методические указания. Ухта: УГТУ. 2006. 35 с.
18. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. ВОДА ПИТЬЕВАЯ методы определения содержания сульфатов.: Межгосударственный стандарт ГОСТ 31940-2012.
19. **Брусенцева Л.Ю., Кудряшова А.А.** Краткий справочник физико-химических величин некоторых неорганических и органических соединений. Самара: НОУ ВПО СМИ «РЕАВИЗ». 2011. 68 с.
20. **Артемкина Ю.М., Понамарева Т.Н., Кириллов А.Д., Щербаков В.В.** Физико-химические свойства растворов и неорганических веществ. Сб. научн. тр. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2008. Вып. 182. С. 83-98.
21. **Franks F.** Water: 2nd edition a matrix of life. Cambridge: Royal society of chemistry. 2000. 236 p.
22. Справочник по растворимости. Т.1. Бинарные системы. Кн.1. М.,Л.: 1961. 960 с.
23. **Seidell A., Linke W.F.** Solubilities of inorganic and organic compounds. New-York: Van Nostrand. 1952. 1254 P.
24. **Аллахвердов Г.Р.** Уравнение электропроводности растворов сильных электролитов. *Докл. Акад. наук*. 2014. Т. 456. № 3. С. 287.
25. **Крижановский А.В., Ненно Э.С., Скрипченко Р.М.** Система $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-(CH}_3)_2\text{CO - H}_2\text{O}$. *Журн. неорган. химии*. 1972. Т. 17. № 9. С. 2526-2530.
26. **Крижановский А.В., Ненно Э.С.** Система $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-C}_4\text{H}_8\text{O}_2\text{ - H}_2\text{O}$. *Журн. неорган. химии*. 1973. Т. 18. № 8. С. 2262-2265.
27. **Toro J.C.O., Dobrosz-Gomez I., Garcia M.A.G.** Sodium sulfate solubility in (water+ethanol) mixed solvents in the presence of hydrochloric acid: Experimental measurements and modeling. *Fluid Phase Equilib.* 2014. V. 384. P. 106-113.
28. **Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А.** Электрохимия. М.: «Химия» «КолосС». 2006. 672 с.
29. **Сваровская Н.А., Колесников И.М., Винокуров В.А.** Электрохимия растворов электролитов. Часть I. Электропроводность. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина. 2017. 66 с.
13. **Borisov I.M., Nabiev A.A.** Constant of electrolytic dissociation of lithium, sodium and potassium sulphates in aqueous ethanol solutions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2020. V. 63. N 2. P. 26-31 (in Russian).
14. **Monakhova Y.B., Rubtsov E.M., Varlamov T.M., Mush-takova S.P.** Association in solutions of monohydroxy alcohols and their mixtures with water. *Zhurn. Fiz. Khimii*. 2012. V. 86. N 3. P. 449-455 (in Russian).
15. **Ajaya B., Kumar S.S.** Effects of Concentration and Relative Permittivity on the Transport Properties of Sodium Chloride in Pure water and Ethanol-Water Mixed Solvent Media. *Res. J. Chem. Sci.* 2011. V. 1(6). P. 48-52.
16. **Apelblat.** A New Look on the Representation of Electrical Conductivities in Mixed Solvents. The Universal Curves of Limiting Conductances of Electrolytes and the Modified and the Excess Walden Products. *Acta Chim. Slov.* 2009. V. 56. P. 1-17.
17. **Kochetkov O.S.** Fundamentals and microscopic analysis. Ukhta: USTU. 2006. 35 p. (in Russian).
18. Interstate Council for standardization, Metrology and Certification. DRINKING WATER methods for determining the content of sulphates.: Inter-state standard GOST 31940-2012 (in Russian).
19. **Brusentseva L.Yu., Kudryashova A.A.** Short reference book of physical and chemical quantities of some inorganic and organic compounds. Samara: NOU VPO media "REAVIZ". 2011. 68 p. (in Russian).
20. **Artemkina J.M., Ponomareva T., Kirillov A.D., Shcherbakov V.V.** Physico-chemical properties of solutions and inorganic substances. Sb. scientific. tr. D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia. 2008. V. 182. P. 83-98 (in Russian).
21. **Franks F.** Water: 2nd edition a matrix of life. Cambridge: Royal society of chemistry. 2000. 236 p.
22. Handbook on solubility. V.1. Binary system. Book 1. M. L.: 1961. 960 p. (in Russian).
23. **Seidell A., Linke W.F.** Solubilities of inorganic and organic compounds. New-York: Van Nostrand. 1952. 1254 p.
24. **Allakhverdov G. R.** The equation for the conductivity of strong electrolytes solutions. *Dokl. Akad. Nauk*. 2014. V. 456. N 3. 287 p. (in Russian).
25. **Krizhanovsky A.V., Nenno E.S., Skripchenko R.M.** System $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-(CH}_3)_2\text{CO - H}_2\text{O}$. *Zhurn. Neorg. Khim.* 1972. V. 17. N 9. P. 2526-2530 (in Russian).
26. **Krizhanovsky A.V., Nenno E.S.** System $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-C}_4\text{H}_8\text{O}_2\text{ - H}_2\text{O}$. *Zhurn. Neorg. Khim.* 1973. V. 18. N 8. P. 2262-2265 (in Russian).
27. **Toro J.C.O., Dobrosz-Gomez I., Garcia M.A.G.** Sodium sulfate solubility in (water+ethanol) mixed solvents in the presence of hydrochloric acid: Experimental measurements and modeling. *Fluid Phase Equilib.* 2014. V. 384. P. 106-113.
28. **Damaskin B.B., Petrov O.A., Tsyrlin G. A.** Electrochemistry. M.: Khimiya, KolosS. 2006. 672 p. (in Russian).
29. **Svarovskaya N.A., Kolesnikov I.M., Vinokurov V.A.** Electrochemistry of solutions of electrolytes. Part I. Electrical conductivity: tutorial. M.: Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU). 2017. 66 p. (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 18.09.2019

Принята к опубликованию (Accepted) 15.01.2020