УДК 544.6.018.44

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.4.8

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ СРЕДЫ НА ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ СУЛЬФАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРАХ

© И. М. Борисов*, Т. Г. Ведерникова, Е. С. Кондратьева

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы
Россия, Республика Башкортостан, 450008 г. Уфа, ул. Октябрьской революции, 3а.

Тел.: +7 (347) 246 63 92.

*Email: borisovim@yandex.ru

Разбавление этанолом или изопропанолом насыщенных водных растворов сульфатов лития, натрия и калия снижает диэлектрическую проницаемость среды и вследствие этого понижается растворимость солей. Проведен расчет произведения растворимости сульфатов щелочных металлов в водно-спиртовых растворах. Показано, что при содержании этанола в растворе от 50 до 90% объемных произведение растворимости солей понижается в диапазоне от $3,8 \cdot 10^{-5}$ до $6,3 \cdot 10^{-9}$. Добавки изопропанола от 40 до 90% объемных понижают произведение растворимости солей в диапазоне от $1,6 \cdot 10^{-5}$ до $4,9 \cdot 10^{-9}$.

Ключевые слова: сульфаты лития, натрия и калия, водно-этанольные и водно-изопропанольные растворы, произведение растворимости.

Введение

Ранее в работах [1–2] показано, что добавки этанола или изопропанола к насыщенным водным растворам сульфатов лития, натрия и калия понижают растворимость исследуемых солей в 270–1280 раз. Высказано предположение, что наблюдаемый эффект снижения растворимости солей связан с понижением полярности среды при увеличении доли спирта в растворе до 90% объемных. Рассмотрение структуры растворов – проблема сложная, поэтому мы затронем только частные вопросы, связанные с влиянием полярности среды на произведение растворимости солей. В настоящей работе проведена оценка произведения растворимости сульфатов щелочных металлов в водно-этанольных и водно-изопропанольных растворах в зависимости от содержания спирта.

Методика эксперимента

Представленные в [1–2] экспериментальные данные по растворимости сульфатов лития, натрия и калия в водно-органических растворах получены разбавлением насыщенных водных растворов солей добавками этанола или изопропанола до 90% объемных при температуре 298 К. Концентрации солей определяли по стандартной методике [3] путем титрования раствором хлорида бария в присутствии индикатора нитхромазо.

Обсуждение результатов

При разбавлении водных растворов Li_2SO_4 , Na_2SO_4 и K_2SO_4 добавками спиртов выпадают осадки, и снижается растворимость солей [1–2]. При разбавлении насыщенных растворов сульфатов щелочных металлов дистиллированной водой осадки не образуются. Такое принципиальное различие о влиянии воды и спирта свидетельствует о кардинальном изменении физико-химических свойств водно-спиртовых растворов по сравнению с исход-

ным водным раствором, что наблюдалось и в других подобных системах [4–15].

Понижение растворимости Li_2SO_4 , Na_2SO_4 и K_2SO_4 при добавлении этанола или изопропанола к насыщенным водным растворам [1–2] однозначно указывает на снижение термодинамического произведения растворимости (ПР) солей в водно-спиртовых растворах:

$$\begin{aligned}\text{ПР}(\text{Li}_2\text{SO}_4) &= a^2(\text{Li}^+) \cdot a(\text{SO}_4^{2-}); \\ \text{ПР}(\text{Na}_2\text{SO}_4) &= a^2(\text{Na}^+) \cdot a(\text{SO}_4^{2-}); \\ \text{ПР}(\text{K}_2\text{SO}_4) &= a^2(\text{K}^+) \cdot a(\text{SO}_4^{2-}).\end{aligned}\quad (1)$$

Активности ионов зависят от коэффициентов активности и концентраций:

$$\begin{aligned}a(\text{Li}^+) &= \gamma(\text{Li}^+) \cdot [\text{Li}^+]; \quad a(\text{Na}^+) = \gamma(\text{Na}^+) \cdot [\text{Na}^+]; \\ a(\text{K}^+) &= \gamma(\text{K}^+) \cdot [\text{K}^+].\end{aligned}\quad (2)$$

Как показано в [1–2], добавление спирта в систему приводит к резкому снижению концентрации ионов в водно-спиртовых растворах. По нашему мнению, добавки спирта к водным растворам солей должны также влиять на коэффициенты активности ионов из-за следующих факторов:

- изменение строения сольватной оболочки ионов (по-видимому, существует некоторая конкуренция между водородными связями в системах вода-вода, вода-ион и вода-растворенное органическое вещество [16]);
- понижение полярности среды при добавлении менее полярного спирта к водным растворам;
- изменение ионной силы водно-спиртовых растворов.

Принято считать, что взаимодействия катион-вода существенно интенсивнее, чем взаимодействия типа катион-спирт, т.е. в первой сфере сольватной оболочки катионов щелочных металлов в водно-спиртовых растворах доминируют молекулы воды. Добавление этанола или изопропанола в водный раствор соли приводит к замещению молекул воды во второй сфере на молекулы спирта. Следует ожидать, что полярность водно-спиртовой сольват-

ной оболочки играет важную роль. Водно-этанольная сольватная оболочка способствует снижению растворимости сульфатов лития, натрия и калия примерно в одинаковой степени (в 270–280 раз) при добавлении этанола до 90% объемных. В случае водно-изопропанольной сольватной оболочки катионов щелочных металлов снижение растворимости Li_2SO_4 , Na_2SO_4 и K_2SO_4 происходит в разной степени: в 1280 раз для Li_2SO_4 , в 548 раз для Na_2SO_4 и в 278 раз для K_2SO_4 . Эти данные позволяют предположить, что менее полярный изопропанол ($\epsilon = 18.30$) по сравнению с этанолом ($\epsilon = 24.30$) сильнее понижает полярность сольватной оболочки и поэтому в большей степени оказывает влияние на растворимость исследуемых сульфатов щелочных металлов. При пересольватации ионов за счет добавок спиртов относительно прочные связи катион металла-вода замещаются на менее прочные связи катион металла-спирт. Следует отметить, что строение сольватной оболочки также зависит от природы катиона, точнее, от соотношения заряда и радиуса катиона. Наиболее сильное влияние испытывает катион Li^+ , имеющий наименьший радиус при одинаковом заряде с остальными катионами. Очевидно, в ряду $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+$ в водно-изопропанольных растворах наибольший эффект от пересольватации испытывает катион лития и в меньшей степени катион калия, что и является одной из причин разной степени понижения растворимости Li_2SO_4 , Na_2SO_4 и K_2SO_4 .

Вполне естественно, что на значение коэффициента активности ионов влияет не только строение сольватной оболочки, но и диэлектрическая проницаемость и ионная сила водно-спиртовых растворов сульфатов щелочных металлов согласно уравнению Дебая-Гюккеля для расчета коэффициента активности индивидуального иона [17]

$$\lg \gamma_i = -z_i^2 \cdot h \cdot I^{1/2} = -z_i^2 \cdot I^{1/2} \cdot 1,825 \cdot 10^6 / (\epsilon T)^{3/2}, \quad (3)$$

где z_i – заряд иона; $I = 0,5 \sum c_i \cdot z_i^2$ – ионная сила раствора, учитывающая молярные концентрации и заряды ионов; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; T – температура.

Уравнение (3) применимо для разбавленных растворов, и поэтому в расчетах рассматривались водно-спиртовые растворы с малым содержанием солей (табл. 1).

Диэлектрическая проницаемость смесей воды и спирта изучалась в различных аспектах [18–23]. По литературным данным, диэлектрическая проницаемость водно-метанольных [24] и водно-этанольных [25] смесей линейно снижается с ростом мольной или объемной доли менее полярного спирта по сравнению с водой ($\epsilon = 78.53$). Этот факт дает основание использовать аддитивную схему для расчета диэлектрической проницаемости среды в водно-этанольных и водно-изопропанольных растворах сульфатов щелочных металлов по следующим формулам:

$$\epsilon(\text{H}_2\text{O} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \epsilon(\text{H}_2\text{O}) \cdot x(\text{H}_2\text{O}) + \epsilon(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot x(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \quad (4)$$

$$\epsilon(\text{H}_2\text{O} + i\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH}) = \epsilon(\text{H}_2\text{O}) \cdot x(\text{H}_2\text{O}) + \epsilon(i\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH}) \cdot x(i\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH}), \quad (5)$$

где $\epsilon(\text{H}_2\text{O} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ – диэлектрическая проницаемость среды в водно-этанольных растворах; $\epsilon(\text{H}_2\text{O} + i\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH})$ – диэлектрическая проницаемость среды в водно-изопропанольных растворах; ϵ – диэлектрическая проницаемость воды и спирта; x_i – мольные доли исходной воды, этанола или изопропанола.

По формулам (4) и (5) рассчитаны диэлектрические проницаемости среды в исследуемых растворах солей (табл. 2).

Таблица 1

Растворимость S сульфатов лития, натрия и калия [1–2] и ионная сила I водно-спиртовых растворов. $T = 298 \text{ K}$

Вода:спирт, % объемные	Li_2SO_4		Na_2SO_4		K_2SO_4	
	S , моль/л	I	S , моль/л	I	S , моль/л	I
соль + вода + этанол						
50:50					0.022	0.066
40:60			0.038	0.114	0.015	0.045
30:70	0.089	0.267	0.016	0.048	0.009	0.027
20:80	0.031	0.093	0.008	0.024	0.005	0.015
10:90	0.007	0.021	0.005	0.015	0.002	0.006
соль + вода + изопропанол						
60:40	0.029	0.087	0.050	0.150	0.043	0.129
50:50	0.014	0.042	0.034	0.102	0.023	0.069
40:60	0.011	0.033	0.018	0.054	0.013	0.039
30:70	0.009	0.027	0.007	0.021	0.007	0.021
20:80	0.007	0.021	0.004	0.012	0.003	0.009
10:90	0.001	0.003	0.002	0.006	0.002	0.006

Таблица 2

Диэлектрические проницаемости среды в водно-спиртовых растворах
сульфатов щелочных металлов. T = 298 K

Вода:спирт, % объемные	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90
$\varepsilon(\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$		65.5	61.2	55.8	48.7	38.0
$\varepsilon(\text{H}_2\text{O}+\text{i-C}_3\text{H}_7\text{OH})$	70.1	67.1	62.9	56.8	49.0	35.6

Таблица 3

Коэффициенты активности ионов. T = 298 K

Вода:спирт, % объемные	Li ₂ SO ₄		Na ₂ SO ₄		K ₂ SO ₄	
	$\gamma(\text{Li}^+)$	$\gamma(\text{SO}_4^{2-})$	$\gamma(\text{Na}^+)$	$\gamma(\text{SO}_4^{2-})$	$\gamma(\text{K}^+)$	$\gamma(\text{SO}_4^{2-})$
	соль + вода + этанол					
50:50					0.67	0.20
40:60			0.56	0.10	0.70	0.24
30:70	0.36	0.02	0.65	0.18	0.73	0.29
20:80	0.49	0.06	0.71	0.26	0.75	0.32
10:90	0.62	0.15	0.67	0.20	0.76	0.34
	соль + вода + изопропанол					
60:40	0.67	0.20	0.58	0.11	0.61	0.13
50:50	0.74	0.30	0.62	0.15	0.68	0.21
40:60	0.74	0.31	0.68	0.22	0.72	0.27
30:70	0.74	0.30	0.76	0.34	0.76	0.34
20:80	0.72	0.26	0.77	0.35	0.81	0.42
10:90	0.82	0.46	0.73	0.29	0.73	0.29

Таблица 4

Произведения растворимости сульфатов лития, натрия и калия в водно-этанольных
и водно-изопропанольных растворах. T = 298 K

Вода:спирт, % объемные	Li ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄
	соль + вода + этанол		
50:50			$3.8 \cdot 10^{-5}$
40:60		$6.5 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$
30:70	$6.2 \cdot 10^{-6}$	$5.0 \cdot 10^{-6}$	$4.4 \cdot 10^{-7}$
20:80	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$2.7 \cdot 10^{-7}$	$9.0 \cdot 10^{-8}$
10:90	$8.0 \cdot 10^{-8}$	$4.5 \cdot 10^{-8}$	$6.3 \cdot 10^{-9}$
	соль + вода + изопропанол		
60:40	$8.8 \cdot 10^{-6}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$
50:50	$1.8 \cdot 10^{-6}$	$9.1 \cdot 10^{-6}$	$4.8 \cdot 10^{-6}$
40:60	$9.1 \cdot 10^{-7}$	$2.4 \cdot 10^{-6}$	$4.0 \cdot 10^{-7}$
30:70	$4.8 \cdot 10^{-7}$	$2.8 \cdot 10^{-7}$	$2.8 \cdot 10^{-7}$
20:80	$3.7 \cdot 10^{-7}$	$5.3 \cdot 10^{-8}$	$3.0 \cdot 10^{-8}$
10:90	$1.3 \cdot 10^{-9}$	$5.0 \cdot 10^{-9}$	$4.9 \cdot 10^{-9}$

Учитывая низкую концентрацию сульфатов щелочных металлов, сделано предположение, что соли играют второстепенную роль и практически не оказывают влияния на диэлектрическую проницаемость среды в водно-спиртовых растворах.

С использованием данных табл. 1–2 по формуле (3) проведен расчет коэффициентов активности ионов в водно-спиртовых растворах сульфатов лития, натрия и калия (табл. 3).

По данным о растворимости солей (табл. 1) рассчитаны концентрации ионов Li^+ , Na^+ , K^+ и SO_4^{2-} с учетом уравнений электролитической диссоциации, а затем, используя значения коэффициентов активности (табл. 3), вычислены активности данных ионов. На основе полученных значений активностей ионов рассчитаны произведения растворимости сульфатов лития, натрия и калия в водно-спиртовых растворах (табл. 4).

Совместный анализ данных табл. 2 и 4 показывает, что снижение диэлектрической проницаемости среды при увеличении доли спирта сопровождается понижением произведения растворимости сульфатов лития, натрия и калия в водно-спиртовых растворах. Поэтому при разбавлении насыщенных водных растворов сульфатов щелочных металлов добавками этанола или изопропанола происходит выпадение осадков солей. Данные табл. 4 также подтверждают заключение статей [1–2] о том, что при повышенном содержании спирта в растворе сульфаты лития, натрия и калия становятся слабыми электролитами, для которых характерны низкие значения произведения растворимости.

Заключение

При введении этанола или изопропанола в насыщенный водный раствор сульфатов лития, натрия и калия происходит изменение структуры сольватной оболочки, понижаются диэлектрическая проницаемость среды и ионная сила раствора. Вследствие этого снижается активность катионов щелочных металлов и сульфат-аниона. Изменение свойств водно-спиртовых растворов электролитов отражает различие в растворимости солей в зависимости от содержания спирта. Поэтому при высоком содержании спирта в растворе понижается произведение растворимости сульфатов щелочных металлов, которое экспериментально проявляется в выпадении осадка при разбавлении насыщенных водных растворов Li_2SO_4 , Na_2SO_4 и K_2SO_4 добавками этанола или изопропанола. При высоком содержании спирта в растворе сульфаты лития, натрия и калия становятся слабыми электролитами, на что указывают значения произведений растворимости.

Выводы

Снижение диэлектрической проницаемости водно-этанольных и водно-изопропанольных растворов сульфатов лития, натрия и калия с ростом объемной доли спирта приводит к понижению произведений растворимости солей.

Проведен расчет значений произведений растворимости. Показано, что при содержании спирта от 40 до 90% объемных произведение растворимости сульфатов щелочных металлов понижается в диапазоне от $1.6 \cdot 10^{-5}$ до $4.9 \cdot 10^{-9}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов И. М., Набиев А. А. Константы электролитической диссоциации сульфатов лития, натрия и калия в водно-этанольных растворах // Известия вузов. Химия и хим. технология. 2020. Т. 63. Вып. 2. С. 26–31.
2. Борисов И. М., Набиев А. А. Константы электролитической диссоциации сульфатов лития, натрия и калия в водно-изопропанольных растворах // Известия вузов. Химия и хим. технология. 2020. Т. 63. Вып. 3. С. 16–22.
3. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Вода питьевая: методы определения содержания сульфатов. Межгосударственный стандарт ГОСТ 31940-2012.
4. Мустафин Д. И. Проблемы растворимости сульфатов щелочных металлов в неводных и смешанных растворителях: дис. ... д-ра хим. наук. М., 2003. 381 с.
5. Куделин Д. П. Растворимость сульфатов щелочных металлов в 1,2-диметоксиэтаноле и его смеси с водой: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1996. 16 с.
6. Горбунов А. О. Равновесие раствор – твердая фаза в тройных водно-органических системах, содержащих соли переходных металлов: дис. ... канд. хим. наук. СПб, 2017. 145 с.
7. Zhao X., Ren X., Sun C., Zhang X., Si Yu., Yan C., Xu J., Xue D.. Morphology Evolution at Nano- to Micro-Scale // *Func.Mat.Lett.* 2008. Vol. 1, 3. Pp. 167–172.
8. Крестов Г. А., Новоселов Н. П., Перельгин И. С., Колкер А. М., Сафонова Л. П., Овчинникова В. Д., Тростин В. Н. Ионная сольватация (проблемы химии растворов). М.: Наука, 1987. 320 с.
9. Martins J. P., Carolina de Paula Carvalho, Luis Hendrique Mendes da Silva, Jane Selia dos Reis Coimbra, Maria do Carmo Hespanhol 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. Vol. 53. №1. P. 239.
10. Петрухина В. А., Курналева Т. А., Кольцов Н. И. Сильные электролиты // *Бутлеровские сообщения.* 2016. Т. 45. №1. С. 107–109.
11. Петрухина В. А., Андреева Е. В., Кольцов Н. И. Нитраты // *Бутлеровские сообщения.* 2017. Т. 49. №1. С. 104–107.
12. Петрухина В. А., Андреева Е. В., Кольцов Н. И. Ацетаты и фосфаты // *Бутлеровские сообщения.* 2018. Т. 53. №2. С. 140–144.
13. Петрухина В. А., Кириллова Т. А., Царева Л. Ю., Андреева Е. В., Кольцов Н. И. Исследование электропроводности спиртовых растворов солей // *Бутлеровские сообщения.* 2019. Т. 57. №3. С. 154–157.
14. Петрухина В. А., Коннова К. А., Якимова М. В., Кольцов Н. И. Исследование влияния температуры на электропроводность растворов неорганических солей в этаноле // *Бутлеровские сообщения.* 2020. Т. 61. №1. С. 76–80.
15. Петрухина В. А., Федоров П. И., Коннова К. А., Якимова М. В., Кольцов Н. И. Исследование влияния температуры на электропроводность спиртовых растворов алколюатов натрия и калия // *Бутлеровские сообщения.* 2020. Т. 61. №1. С. 81–85.
16. Вода в полимерах/Пер. с англ.; под ред. С. Роуланда. М.: Мир, 1984. 555 с.
17. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия. М.: Химия, Колос С, 2006. 672 с.
18. Суслев С. А., Кочеткова Т. Д. Микроволновые спектры диэлектрической проницаемости водных смесей этилового спирта в области диэлектрической релаксации для температур 220–320 К // *Известия вузов. Физика.* 2003. №9. С. 72–75.
19. Bertolini D., Casstari M., Salvetti G. J. The dielectric properties of alcohols-water solution. I. The alcohol rich region // *Chem. Phys.* 1983. Vol. 78. №10. Pp.365–372.
20. Satoru Mashimo, Shinichi Kuwabara. Dielectric relaxation of mixtures of water and primary alcohol // *J. Chem. Phys.* 1989. Vol. 90. №6. Pp. 3292–3294.
21. Kaatz U., Schafer M., Pottel R. The complex dielectric spectrum of aqueous methanol and isopropanol solution // *Z. Phys. Chem.* 1989. Vol. 165. Pp. 3292–3294.
22. Фялков Ю. Я. Не только в воде (вопросы современной химии). Л.: Химия, 1989. 88 с.
23. Борисов И. М., Набиев А. А., Корнилов В. М., Солиев Л., Ведерникова Т. Г. О влиянии спирта на размеры частиц осадков, выпадающих из водно-этанольных растворов сульфатов щелочных металлов // *Вестник Башкирского университета.* 2020. Т. 25. №1. С. 58–63.
24. Равдель А. А., Пономарева А. М. Краткий справочник физико-химических величин. СПб: Иван Федоров. 2003. 240 с.
25. Сергеев С. А., Михайлов А. И., Короневский Н. В., Сергеев Р. С., Зыков К. А., Сергеева Б. В. Определение диэлектрической проницаемости водных растворов этилового спирта // *Электроника и микроэлектроника СВЧ.* 2018. Т. 1. С. 515–519.

Поступила в редакцию 21.04.2021 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.4.8

INFLUENCE OF THE POLARITY OF THE ENVIRONMENT ON THE SOLUBILITY PRODUCT OF SULFATES OF ALKALI METALS IN WATER-ALCOHOLIC SOLUTIONS

© I. M. Borisov*, T. G. Vedernikova, E. S. Kondratieva

*Bashkir State Pedagogical University n. a. M. Akmulla
3a Oktyabrskoi Revolyutsii Street, 450008 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (347) 246 63 92.

**Email: borisovim@yandex.ru*

Dilution of saturated aqueous solutions of lithium, sodium and potassium sulfates with distilled water remain homogeneous, and dilution with ethanol or isopropanol leads to the formation of salt precipitates. Such a fundamental difference of the effect of water and alcohol indicates a radical change in the physicochemical properties of aqueous-alcoholic solutions in comparison with the original aqueous solution. It is shown that dilution with ethanol or isopropanol of saturated aqueous solutions of lithium, sodium and potassium sulfates decreases the dielectric constant of the environment. It also changes the ionic strength of aqueous-alcoholic solutions. The coefficients of activity of alkali metal sulfate ions are calculated using the Debye-Gückel equation. The combined effect of the reduced dielectric constant due to the addition of less polar alcohols compared to water, the ionic strength of solutions and modified ion activities reduces the thermodynamic product of the solubility of lithium, sodium and potassium sulfates in water-ethanol and water-isopropanol solutions. A decrease of the product of solubility of salts leads to precipitation when diluting aqueous solutions of these salts with alcohols. If we add alcohols up to 90% by volume in aqueous solutions, the solubility of the salts decreases by 270–1280 times. Such a significant decrease in solubility is also explained by a change in the structure of the solvation shell of ions in aqueous-alcoholic solutions as a result of competition between hydrogen bonds in the systems water-water, water-ion, and water-dissolved organic matter. The calculation of the product of solubility of alkali metal sulfates in water-alcohol solutions was carried out. It is shown that when the ethanol content in the solution is 50–90% by volume, the salt solubility product decreases in the range from $3.8 \cdot 10^{-5}$ to $6.3 \cdot 10^{-9}$. Isopropanol additions in amount of 40–90% by volume reduce the product of salt solubility in the range from $1.6 \cdot 10^{-5}$ to $4.9 \cdot 10^{-9}$. Based on the values of the product solubility calculated for products of lithium, sodium and potassium sulfates in water-ethanol and water-isopropanol solutions, a conclusion can be made that salts in water-alcohol solutions become weak electrolytes with a high content of ethanol or isopropanol.

Keywords: lithium sulfates, sodium sulfates, potassium sulfates, water-ethanol solutions, water-isopropanol solutions, solubility product.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Borisov I. M., Nabiev A. A. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khim. tekhnologiya*. 2020. Vol. 63. No. 2. Pp. 26–31.
2. Borisov I. M., Nabiev A. A. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khim. tekhnologiya*. 2020. Vol. 63. No. 3. Pp. 16–22.
3. Mezhgosudarstvennyi sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii. *Voda pit'evaya: metody opredeleniya sodержaniya sul'fatov*. Mezhgosudarstvennyi standart GOST 31940-2012.
4. Mustafin D. I. *Problemy rastvorimosti sul'fatov shchelochnykh metallov v nevodnykh i smeshannykh rastvoritelyakh: dis. ... d-ra khim. nauk*. Moscow, 2003.
5. Kudelin D. P. *Rastvorimost' sul'fatov shchelochnykh metallov v 1,2-dimetoksietane i ego smesnykh s vodoi: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk*. Moscow, 1996.
6. Gorbunov A. O. *Ravновесие растворов – твердая фаза в трояких водно-органических системах, содержащих соли переходных металлов: дис. ... канд. khim. nauk*. Saint Petersburg, 2017.
7. Zhao X., Ren X., Sun C., Zhang X., Si Yu., Yan C., Xu J., Xue D. Morphology Evolution at Nano- to Micro-Scale// *Func.Mat.Lett.* 2008. Vol. 1, 3. Pp. 167–172.

8. Krestov G. A., Novoselov N. P., Perelygin I. S., Kolker A. M., Safonova L. P., Ovchinnikova V. D., Trostin V. N. Ionnaya sol'vatatsiya (problemy khimii rastvorov) [Ionic solvation (problems of solution chemistry)]. Moscow: Nauka, 1987.
9. Martins J. P. J. Chem. Eng. Data. 2008. Vol. 53. No. 1. Pp. 239.
10. Petrukhina V. A., Kurnaleva T. A., Kol'tsov N. I. Butlerovskie soobshcheniya. 2016. Vol. 45. No. 1. Pp. 107–109.
11. Petrukhina V. A., Andreeva E. V., Kol'tsov N. I. Nitraty. Butlerovskie soobshcheniya. 2017. Vol. 49. No. 1. Pp. 104–107.
12. Petrukhina V. A., Andreeva E. V., Kol'tsov N. I. Butlerovskie soobshcheniya. 2018. Vol. 53. No. 2. Pp. 140–144.
13. Petrukhina V. A., Kirillova T. A., Tsareva L. Yu., Andreeva E. V., Kol'tsov N. I. Butlerovskie soobshcheniya. 2019. Vol. 57. No. 3. Pp. 154–157.
14. Petrukhina V. A., Konnova K. A., Yakimova M. V., Kol'tsov N. I. Butlerovskie soobshcheniya. 2020. Vol. 61. No. 1. Pp. 76–80.
15. Petrukhina V. A., Fedorov P. I., Konnova K. A., Yakimova M. V., Kol'tsov N. I. Butlerovskie soobshcheniya. 2020. Vol. 61. No. 1. Pp. 81–85.
16. Voda v polimerakh [Water in polymers]/Per. s angl.; pod red. S. Rowland. Moscow: Mir, 1984.
17. Damaskin B. B., Petrii O. A., Tsirlina G. A. Elektrokhiimiya [Electrochemistry]. Moscow: Khimiya, Kolos S, 2006.
18. Suslyayev S. A., Kochetkova T. D. Izvestiya vuzov. Fizika. 2003. No. 9. Pp. 72–75.
19. Bertolini D., Casstari M., Salvetti G. J. Chem. Phys. 1983. Vol. 78. No. 10. Pp. 365–372.
20. Satoru Mashimo, Shinichi Kuwabara. Dielectric relaxation of mixtures of water and primary alcohol. J. Chem. Phys. 1989. Vol. 90. No. 6. Pp. 3292–3294.
21. Kaatz U., Schafer M., Pottel R. Z. Phys. Chem. 1989. Vol. 165. Pp. 3292–3294.
22. Fialkov Yu. Ya. Ne tol'ko v vode (Voprosy sovremennoi khimii) [Not only in water (questions of modern chemistry)]. Leningrad: Khimiya, 1989.
23. Borisov I. M., Nabiev A. A., Kornilov V. M., Soliev L., Vedernikova T. G. Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2020. Vol. 25. No. 1. Pp. 58–63.
24. Ravdel' A. A., Ponomareva A. M. Kratkii spravochnik fiziko-khimicheskikh velichin [Concise reference book of physico-chemical values]. Saint Petersburg: Ivan Fedorov. 2003.
25. Sergeev S. A., Mikhailov A. I., Koronevskii N. V., Sergeev R. S., Zykov K. A., Sergeeva B. V. Elektronika i mikroelektronika SVPt. 2018. Vol. 1. Pp. 515–519.

Received 21.04.2021.