

УДК 544.6.018.462

DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-3-96–106

А.А. Шайхилова¹, С.И. Сулейманов^{1, 2}, М.Э. Миллинов¹, С.Г. Гаджимурадов¹,
С.Т. Хидирова¹, Ф.М. Муслимова¹

**Ионная проводимость некоторых ацетатов щелочных металлов
в диметилсульфоксиде**

¹ Дагестанский государственный университет; Россия, 367000,
г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а; s.sagim.i@ya.ru;

² Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, АЦКП;
Россия, 367025, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45

В последние годы помимо уже имеющихся литий-ионных электролитов большой научно-технический интерес представляют натрий- и калий-проводящие электролитные системы, признанные перспективными для создания соответствующих аккумуляторов. В связи с этим нами были исследованы растворы солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в диметилсульфоксиде. Выбранные соли являются доступными (дешёвыми), малотоксичными, термически стабильными и относительно устойчивыми к гидролизу. Изучен эффект Дебая–Фалькенгагена исследуемых растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в диметилсульфоксиде. Рассчитаны предельные молярные электропроводности и константы диссоциации солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в диметилсульфоксиде.

Ключевые слова: эффект Дебая–Фалькенгагена, ацетаты щелочных металлов, диметилсульфоксид, предельные молярные электропроводности, ионные электролиты.

Введение

Сольватация и ионная ассоциация в значительной степени определяют успехи применения неводных растворов электролитов, в частности в электрохимических устройствах [1].

Растворы солей щелочных металлов в полярных апротонных растворителях широко применяются в качестве электролитов в химических источниках тока, а также среды для проведения химических и электрохимических реакций в органическом синтезе и электролизе. Особое место занимают литий-проводящие электролитные системы, используемые в первичных литиевых источниках тока, литий-ионных аккумуляторах и электрохимических конденсаторах [2; 3].

В последние годы большой научно-технический интерес представляют натрий- и калий-проводящие электролитные системы, признанные перспективными для создания соответствующих аккумуляторов. Так, например, натрий-ионный аккумулятор – это тип электрического аккумулятора, который имеет практически идентичные литий-ионному аккумулятору энергетические характеристики, но стоимость применяемых в нём материалов значительно ниже (натрий примерно в 100 раз дешевле лития). Большим преимуществом натрий-ионных батарей является то, что их можно без вреда разрядить до нуля, а это делает более безопасными их перевозку и хранение. К сожалению, больший радиус иона

натрия и калия по сравнению с ионом лития приводит к уменьшению плотности хранения энергии в электроде. При той же энергоемкости аккумулятор получается на 30–50 % больше по размерам. Это делает натрий и калий-ионные аккумуляторы менее привлекательными для мобильных устройств, но для крупногабаритных батарей – скажем, в электромобиле или стационарном хранилище электроэнергии – они вполне подходят [4].

Основными недостатками для коммерческого использования литий-ионных электролитов являются: электрохимическая и термическая неустойчивость, токсичность и относительная недоступность некоторых солей лития (LiPF_6 , LiAsF_6 , LiCF_3SO_3 и т. д.). Таким образом, исследование возможности применения доступных солей лития для получения литий-ионных электролитных систем имеет практический интерес. В связи с этим нами были изучены растворы солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в диметилсульфоксиде. Выбранные соли являются доступными (дешёвыми), малотоксичными, термически стабильными и относительно устойчивыми к гидролизу. В качестве растворителя использован диметилсульфоксид, который давно применяется в качестве полярного апротонного растворителя в химической технологии, биологии и медицине [5], а также в литий-ионных источниках тока [6].

Нами были исследованы сольватация и ионная ассоциация ацетатов щелочных металлов (CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK) в диметилсульфоксиде путём анализа данных, полученных кондуктометрическим методом.

Полученные результаты и их анализ, проведенный для установления зависимости электропроводности исследуемых растворов от концентрации солей ацетатов щелочных металлов, могут служить вкладом в физическую химию жидких апротонных электролитов и научной основой целенаправленного улучшения эксплуатационных характеристик химических источников тока.

Экспериментальная часть

Используемые в экспериментах вещества (диметилсульфоксид, KCl , CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK) с квалификацией «ХЧ» были приобретены нами в компании «НеваРеактив». Аттестация солей производилась на рентгеновском дифрактометре PANalytical Empyrean. Все операции по приготовлению растворов электролитов в диметилсульфоксиде осуществляли в сухом перчаточном боксе.

Для измерения электропроводности растворов электролитов использовалась кондуктометрическая ячейка – стеклянный сосуд без дна с двумя электродами известной площади, прочно укрепленными на фиксированном расстоянии друг от друга. Electrodes были сделаны из платиновой черни. Ячейку погружали в раствор электролита.

В наших экспериментах сопротивление кондуктометрической ячейки измерялось иммитансметром Е7-20 на частоте 1 кГц. Использование источника постоянного тока невозможно из-за того, что это вызывает электролиз раствора [7].

Удельную электрическую проводимость растворов солей в диметилсульфоксиде (χ) рассчитывали по уравнению:

$$\chi = \frac{l}{S} \cdot \frac{1}{R_x}, \quad (1)$$

где l – расстояние между электродами, S – площадь каждого из электродов. Отношение $\frac{l}{S}$ представляет собой постоянную величину, характерную для данной ячейки. Она называется постоянной ячейки. Ее можно определить, измеряя с помощью данной ячейки сопротивление какого-либо раствора с известной удельной электролитической проводимостью. Постоянная ячейки определялась по раствору KCl.

Молярную электропроводность рассчитывали для каждой концентрации исследуемых растворов солей в диметилсульфоксиде по уравнению:

$$\lambda = \frac{1000 \cdot \chi}{C}, \quad (2)$$

где C – молярная концентрация соли в диметилсульфоксиде (моль/л).

Степень ассоциации солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО (α^{-1}) определяем как величину, обратную степени диссоциации (α), по уравнению:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda^\infty}, \quad (3)$$

где λ^∞ – предельная молярная электропроводность солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО.

В соответствии с уравнением

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda^\infty} + \frac{1}{K_C \cdot (\lambda^\infty)^2} \cdot \lambda \cdot C \quad (4)$$

строим графики в координатах $\frac{1}{\lambda} - \lambda \cdot C$. Данное уравнение описывает зависимость молярной электропроводности слабого электролита от его концентрации и соответствует модели диссоциации $\text{CH}_3\text{COOM} = \text{M}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$. Экстраполируя линейную зависимость до пересечения с осью ординат, находим предельные электропроводности солей (λ^∞) как величины, обратные значениям отрезка ординат, отсекаемых линией зависимости $\frac{1}{\lambda} = f(\lambda \cdot C)$ [8; 9].

Константы диссоциации (K_C) определяем по тангенсу угла наклона:

$$\text{tg } \varphi = \frac{1}{K_C \cdot (\lambda^\infty)^2}. \quad (5)$$

Полученные результаты

Постоянные сосуда (k) были рассчитаны по вышеописанной методике, $k(\text{CH}_3\text{COOLi}) = 0.309 \text{ см}^{-1}$, $k(\text{CH}_3\text{COONa}) = 0.288 \text{ см}^{-1}$, $k(\text{CH}_3\text{COOK}) = 0.299 \text{ см}^{-1}$. В качестве калибровочного раствора для измерения удельных электропроводностей растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО был приготовлен 0.01 М водный раствор KCl. Удельная электропроводность водного раствора KCl при комнатной температуре взята из справочника [10].

В табл. 1–3 приведены экспериментально полученные иммитансметром Е7-20 на частоте 1 кГц результаты зависимости сопротивления (R), удельной и молярной электропроводности (χ и λ) от концентрации (C) растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО соответственно.

**Таблица 1. Сопротивление, удельная и молярная электропроводности
CH₃COOLi в ДМСО**

| C , моль/л | R , Ом | χ , $10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ | λ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$ | I/λ , $\text{Ом} \cdot \text{моль}/\text{см}^2$ | $\lambda \cdot C$, $10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ |
|-----------------|-------------|--|---|--|---|
| 6.0 | 3821.3 | 0.808 | 0.013 | 74.479 | 0.081 |
| 5.0 | 2633.2 | 1.172 | 0.023 | 42.733 | 0.117 |
| 4.0 | 2108.9 | 1.464 | 0.037 | 27.370 | 0.146 |
| 3.0 | 1783.1 | 1.731 | 0.058 | 17.351 | 0.173 |
| 2.0 | 1645.8 | 1.876 | 0.094 | 10.676 | 0.187 |
| 1.0 | 1578.8 | 1.955 | 0.195 | 5.120 | 0.195 |
| 0.5 | 1549.5 | 1.992 | 0.398 | 2.513 | 0.199 |
| 0.1 | 1978.8 | 1.560 | 1.558 | 0.642 | 0.156 |
| 0.05 | 2260.6 | 1.365 | 2.727 | 0.367 | 0.136 |
| 0.025 | 2672.2 | 1.155 | 4.612 | 0.217 | 0.115 |
| 0.0125 | 3381.4 | 0.913 | 7.285 | 0.137 | 0.091 |
| 0.00625 | 4678.8 | 0.660 | 10.521 | 0.095 | 0.066 |
| 0.00313 | 7114.6 | 0.434 | 13.792 | 0.073 | 0.043 |
| 0.00156 | 11308 | 0.273 | 17.359 | 0.058 | 0.027 |
| 0.000781 | 18457 | 0.167 | 21.135 | 0.047 | 0.017 |
| 0.000391 | 31056 | 0.099 | 24.865 | 0.040 | 0.010 |
| 0.000195 | 47546 | 0.065 | 32.179 | 0.031 | 0.006 |

**Таблица 2. Сопротивление, удельная и молярная электропроводности
CH₃COONa в ДМСО**

| C , моль/л | R , Ом | χ , $10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ | λ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$ | I/λ , $\text{Ом} \cdot \text{моль}/\text{см}^2$ | $\lambda \cdot C$, $10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ |
|-----------------|-------------|--|---|--|---|
| 6.0 | 7568.8 | 0.380 | 0.006 | 158.710 | 0.038 |
| 5.0 | 6699.3 | 0.429 | 0.009 | 116.991 | 0.043 |
| 4.0 | 5401.3 | 0.533 | 0.013 | 75.390 | 0.053 |
| 3.0 | 3258.8 | 0.883 | 0.029 | 34.063 | 0.088 |
| 2.0 | 2437.7 | 1.180 | 0.059 | 16.977 | 0.118 |
| 1.0 | 2354.8 | 1.222 | 0.122 | 8.199 | 0.122 |
| 0.5 | 2538.7 | 1.133 | 0.226 | 4.420 | 0.113 |
| 0.1 | 2822.4 | 1.019 | 1.017 | 0.983 | 0.102 |

| | | | | | |
|-----------|---------|-------|--------|-------|-------|
| 0.05 | 3071.9 | 0.936 | 1.869 | 0.535 | 0.093 |
| 0.025 | 3611.2 | 0.797 | 3.178 | 0.315 | 0.079 |
| 0.0125 | 4149.8 | 0.693 | 5.530 | 0.181 | 0.069 |
| 0.00625 | 4648.7 | 0.619 | 9.869 | 0.101 | 0.062 |
| 0.00313 | 5960.8 | 0.483 | 15.354 | 0.065 | 0.048 |
| 0.00156 | 7909.2 | 0.364 | 23.185 | 0.043 | 0.036 |
| 0.000781 | 11470.3 | 0.251 | 31.853 | 0.031 | 0.025 |
| 0.000391 | 15974.5 | 0.180 | 45.539 | 0.022 | 0.018 |
| 0.000195 | 26862.1 | 0.107 | 53.881 | 0.019 | 0.011 |
| 0.0000977 | 54856.2 | 0.052 | 51.604 | 0.019 | 0.005 |

Таблица 3. Сопротивление, удельная и молярная электропроводности CH_3COOK в ДМСО

| C , моль/л | R , Ом | $10^{-4} \chi$, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ | λ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 / \text{моль}$ | l/λ , $\text{Ом} \cdot \text{моль} / \text{см}^2$ | $10^{-3} \lambda \cdot C$, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ |
|-----------------|-------------|---|---|--|--|
| 6.0 | 1582.8 | 1.889 | 0.031 | 31.800 | 0.189 |
| 5.0 | 1426.4 | 2.096 | 0.042 | 23.879 | 0.209 |
| 4.0 | 1164.1 | 2.568 | 0.064 | 15.587 | 0.257 |
| 3.0 | 919.6 | 3.251 | 0.108 | 9.233 | 0.325 |
| 2.0 | 698.9 | 4.277 | 0.214 | 4.678 | 0.428 |
| 1.0 | 768.7 | 3.890 | 0.389 | 2.572 | 0.389 |
| 0.5 | 759.7 | 3.936 | 0.787 | 1.271 | 0.393 |
| 0.1 | 883.7 | 3.383 | 3.381 | 0.296 | 0.338 |
| 0.05 | 914.6 | 3.269 | 6.533 | 0.153 | 0.327 |
| 0.025 | 1000.7 | 2.988 | 11.942 | 0.084 | 0.299 |
| 0.0125 | 1062.2 | 2.815 | 22.501 | 0.044 | 0.281 |
| 0.00625 | 1356.3 | 2.204 | 35.236 | 0.028 | 0.220 |
| 0.00313 | 1902.1 | 1.572 | 50.151 | 0.020 | 0.157 |
| 0.00156 | 2896.0 | 1.032 | 66.043 | 0.015 | 0.103 |
| 0.000781 | 4478.7 | 0.668 | 85.205 | 0.012 | 0.067 |
| 0.000391 | 7223.3 | 0.414 | 105.320 | 0.009 | 0.041 |
| 0.000195 | 11991 | 0.249 | 126.785 | 0.008 | 0.025 |
| 0.0000977 | 20581 | 0.145 | 146.535 | 0.007 | 0.014 |

На рис. 1 представлен график зависимости удельной электропроводности (χ) от концентрации (C) растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО.

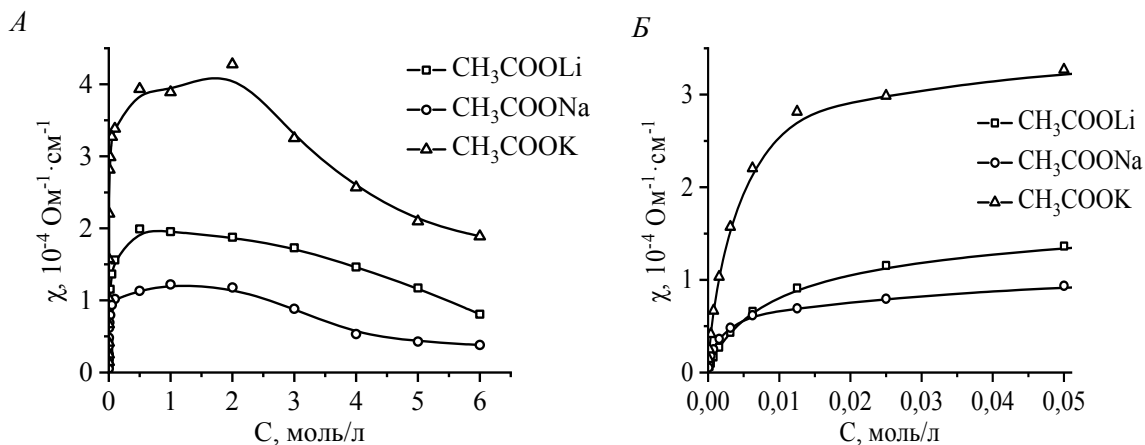


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности от концентрации для растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО. А – область высоких концентраций, Б – область низких концентраций

Как видно из рис. 1, с увеличением концентрации (C) удельная электропроводность (χ) растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО сначала возрастает, достигая некоторого максимального значения, затем начинает уменьшаться. Наличие максимума на кривых объясняется тем, что с ростом концентрации увеличивается степень ассоциации ионов, и при достижении определенной концентрации число ионов в растворе начинает увеличиваться медленнее, чем концентрация [11].

На рис. 2 представлен график зависимости молярной электропроводности (λ) от концентрации (C) для растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО.

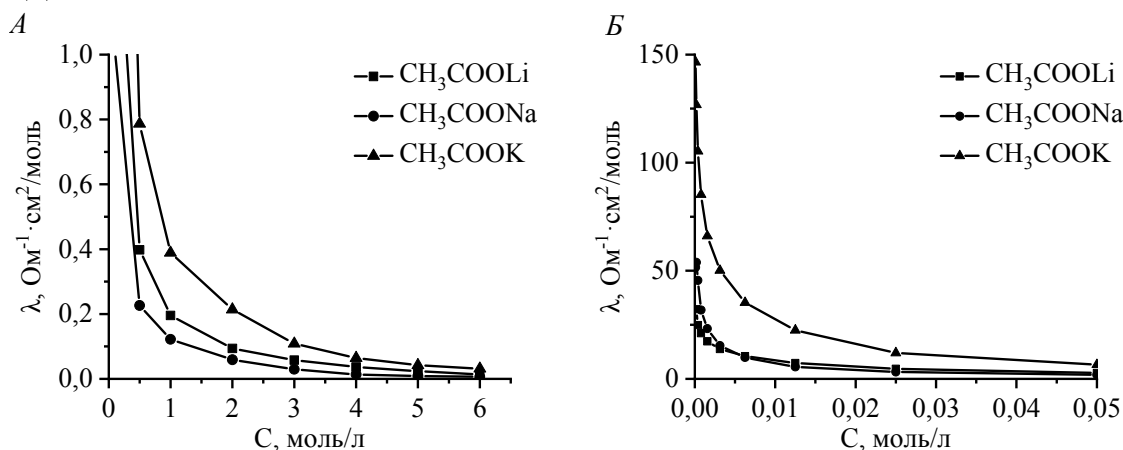


Рис. 2. Зависимость молярной электропроводности от концентрации для растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО. А – область высоких концентраций, Б – область низких концентраций

Как видно из рис. 2, с увеличением концентрации (C) молярная электропроводность (λ) растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО резко уменьшается. Такое поведение характерно для растворов слабых электролитов и обусловлено в основном увеличением степени ассоциации ионов с ростом концентрации [11].

Для определения константы диссоциации (K_C) и предельной молярной электропроводности (λ^∞) CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО были построены графики зависимости обратной молярной электропроводности (λ^{-1}) от произведения молярной электропроводности на концентрацию ($\lambda \cdot C$) из данных, приведенных в табл. 1–3 (соответствующие графики представлены на рис. 3).

Методом экстраполяции определяем $(\lambda^\infty)^{-1}$ и находим λ^∞ . Зная угловые коэффициенты ($\text{tg } \varphi$), находим константы диссоциации (K_C) CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО. Найденные величины λ^∞ и K_C приведены в табл. 4. В этой таблице для сравнения также приведены полученные нами предельные молярные электропроводности водных растворов CH_3COOLi , CH_3COONa , CH_3COOK и раствора CH_3COOLi в ПЭГ 400 [10; 12; 13].

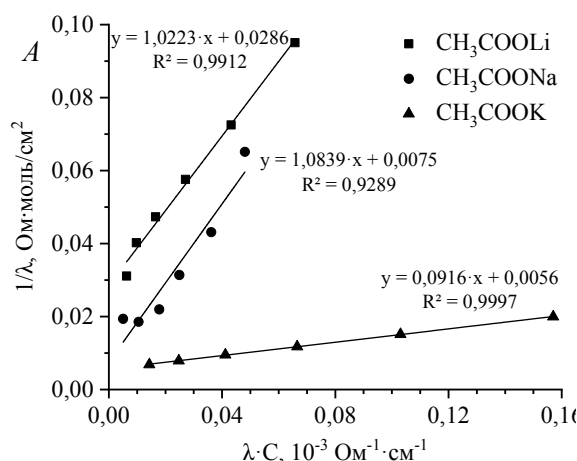


Рис. 3. Зависимости $1/\lambda - \lambda \cdot C$ для разбавленных растворов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО

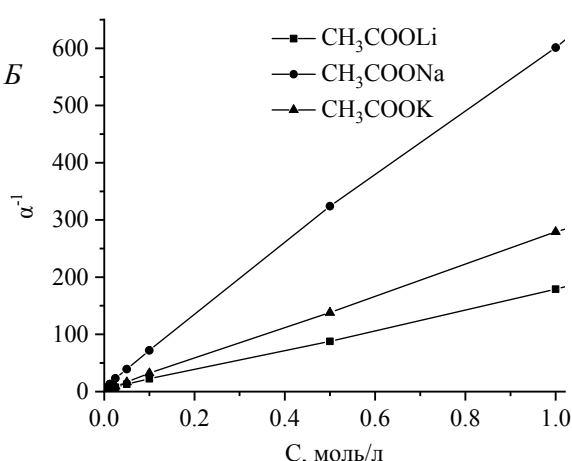


Рис. 4. Зависимость степени ассоциации ионов (α^{-1}) от концентрации (C)

Таблица 4. Предельные молярные электропроводности и константы диссоциации CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в различных растворителях

| Электролит | λ^∞ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 / \text{моль}$ | K_C , моль/л |
|--|---|-----------------------|
| CH_3COOLi –ДМСО | 34.97 | $79.98 \cdot 10^{-3}$ |
| CH_3COOLi – H_2O | 79.68 | ∞ |
| CH_3COOLi –ПЭГ 400 | 66.66 | $11.91 \cdot 10^{-3}$ |
| CH_3COONa –ДМСО | 73.33 | $51.89 \cdot 10^{-3}$ |
| CH_3COONa – H_2O | 91.00 | ∞ |
| CH_3COOK –ДМСО | 108.57 | $34.24 \cdot 10^{-3}$ |
| CH_3COOK – H_2O | 114.40 | ∞ |

Как видно из таблицы 4, предельные молярные электропроводности CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО меньше, чем в водном растворе. Это можно объяснить тем, что степень сольватации ионов в ДМСО значительно больше, чем в водном растворе. Также следует обратить внимание на то, что константы диссоциации солей в ДМСО уменьшаются в ряду $\text{CH}_3\text{COOLi} > \text{CH}_3\text{COONa} > \text{CH}_3\text{COOK}$. Эту наблюдаемую закономерность можно объяснить уменьшением энергии сольватации катионов щелочных металлов с ростом радиуса катионов от Li^+ до K^+ .

Зная λ^∞ и λ для каждой концентрации C , с помощью уравнения (3) можно рассчитать степень ассоциации ионов α^{-1} . На рис. 4 представлены кривые зависимости степени ассоциации ионов (α^{-1}) от концентрации солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО.

Как видно из рис. 4, степень ассоциации ионов солей CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО увеличивается с увеличением концентрации солей, происходит рекомбинация ионов, что обуславливает уменьшение удельной и молярной электропроводности. CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО ведут себя как слабые электролиты в водных растворах.

Нами также проведены исследования зависимости молярной электропроводности растворов электролитов CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО от частоты электромагнитного поля при различных концентрациях.

На рис. 5–7 представлены результаты зависимости относительного возрастания молярной электропроводности ($\Delta\lambda/\lambda_1$) от частоты электромагнитного поля (ω) при различных концентрациях CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО соответственно.

Относительное возрастание электропроводности рассчитывалось по уравнению:

$$\Delta\lambda / \lambda_1 = \frac{\lambda_\omega - \lambda_1}{\lambda_1}, \quad (6)$$

где λ_ω – значение молярной электропроводности при текущей частоте ω , λ_1 – молярная электропроводность при частоте, равной 1 кГц.

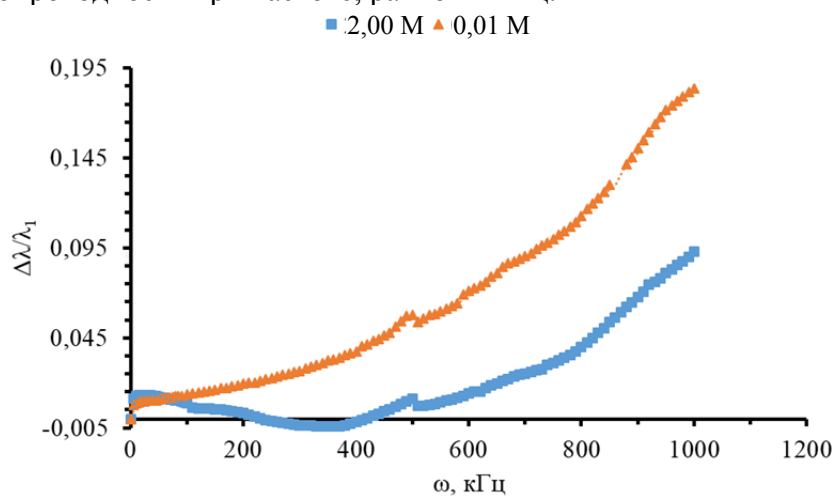


Рис. 5. Зависимость относительного возрастания электропроводности ($\Delta\lambda/\lambda_1$) от частоты электромагнитного поля (ω) при различных концентрациях CH_3COOLi в ДМСО

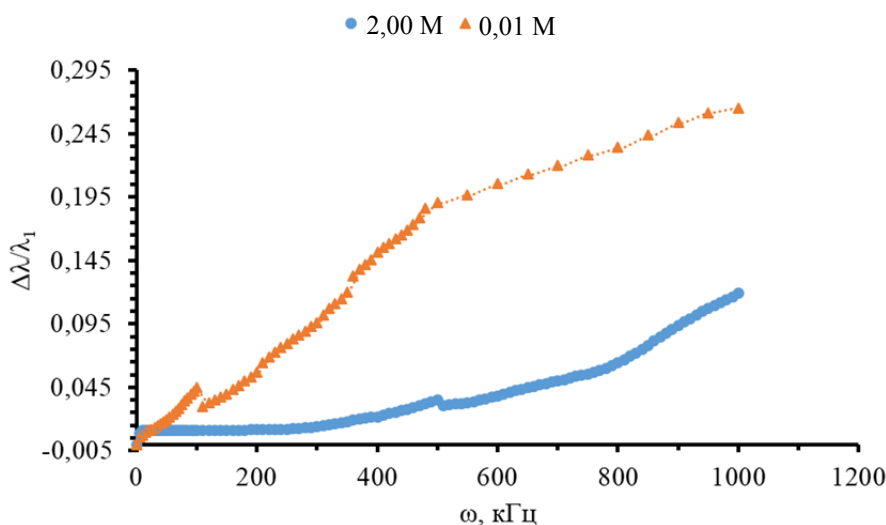


Рис. 6. Зависимость относительного возрастания электропроводности ($\Delta\lambda/\lambda_1$) от частоты электромагнитного поля (ω) при различных концентрациях CH_3COONa в ДМСО

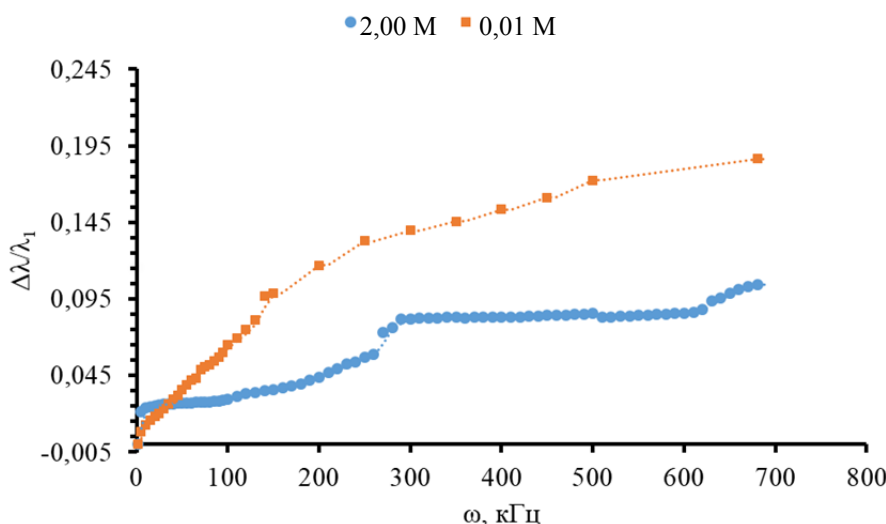


Рис. 7. Зависимость относительного возрастания электропроводности ($\Delta\lambda/\lambda_1$) от частоты электромагнитного поля (ω) при различных концентрациях CH_3COOK в ДМСО

Как видно из рис. 5–7, при увеличении частоты электромагнитного поля наблюдается возрастание высокочастотной электропроводности растворов CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО. Также можно заметить, что на частотах 800–900 кГц наблюдается тенденция к «насыщению» с достижением предельных значений молярных электропроводностей. Время релаксации, приблизительно оцененное по уравнению $\frac{1}{\omega_{\max}}$ (где ω_{\max} – частота, при которой наблюдается достижение предельных значений относительного возрастания электропроводности), составляет $\sim 10^{-6}$ с, что значительно больше, чем для водных растворов электролитов (10^{-9} с) [8]. Наблюдаемые отличия, вероятно, можно объяснить тем, что в ДМСО скорость образования ионной атмосферы снижается из-за сильной сольватации ионов солей и димеризации полярных молекул ДМСО.

Также из рисунков видно, что с ростом концентрации уменьшается относительное возрастание электропроводности, которое достигается при относительно высоких частотах. Это можно объяснить тем, что с ростом концентрации CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО увеличивается концентрация носителей зарядов и усиливается релаксационный эффект торможения.

Выводы. На основании анализа полученных результатов сделано следующее:

1. Определена концентрационная зависимость удельной и молярной электропроводностей для растворов CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО. Установлено, что с увеличением концентрации молярная электропроводность резко уменьшается. Такое поведение характерно для растворов слабых электролитов.

2. Рассчитаны предельные молярные электропроводности и константы диссоциации CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО. Установлено, что предельные молярные электропроводности солей в ДМСО меньше, чем в водных растворах. Константы диссоциации CH_3COOLi , CH_3COONa и CH_3COOK в ДМСО соответственно равны $79.98 \cdot 10^{-3}$, $51.89 \cdot 10^{-3}$ и $34.24 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

3. Выявлен эффект Дебая–Фалькенгагена. С увеличением частоты поля ионная проводимость ацетатов щелочных металлов в ДМСО растет до предельных значений при 800–900 кГц. С ростом концентрации замедляется возрастание электропроводности, которое достигается при относительно высоких частотах.

Работа выполнена на оборудовании АЦКП ДФИЦ РАН.

Литература

1. Gores H.J., Barthel J., Zugmann S. et al. // Handbook of Battery Materials, Second Edition / Ed. by C. Danieland, J.O. Besenhard. – Weinheim: Wiley-VCH. – 2011. – V. 2. – P. 525.
2. Химические источники тока: справочник / под ред. Н.В. Коровина и А.М. Скундина. – М.: МЭИ, 2003. – 740 с.
3. Ярмоленко О.В., Юдина А.В., Игнатова А.А. Современное состояние и перспективы развития жидких электролитных систем для литий-ионных аккумуляторов // Электрохимическая энергетика. – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 155–195.
4. Натрий-ионный аккумулятор // Википедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Натрий-ионный_аккумулятор (дата обращения: 04.05.2021).
5. Martin D., Weise A., Niclas H.-J. // Angew. Chem. Internat. Edit. – 1967. – V. 6, № 4. – P. 318.
6. Xu K. Nonaqueous Liquid Electrolytes for Lithium-Based Rechargeable Batteries // Chem. Rev. – 2004. – V. 104, № 10. – Pp. 4303–4418.
7. Измерение электрической проводимости. Определение постоянной сосуда // Студопедия. – Режим доступа: <https://studopedia.org/11-29646.html> (дата обращения: 08.06.2021).
8. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Подловченко Б.И. Практикум по электрохимии / под ред. Б.Б. Дамаскина. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.
9. Практикум по физической химии / под ред. И.В. Кудряшова. – М.: Высшая школа, 1986. – 495 с.

10. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. К.П. Мищенко и А.А. Равделя. – Л.: Химия, 1974. – 200 с.
11. Электропроводность растворов электролитов / Кафедра физической и коллоидной химии им. профессора В.А. Когана. – Режим доступа: http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/PCC/Solutions_4.htm (дата обращения: 04.06.2021).
12. Зубайруева Д.Б., Сулейманов С.И., Амиров А.М., Кубатаев З.Ю., Шайхилова А.А. Ионпроводящие свойства солей LiCl и CH₃COOLi в полиэтиленгликоле-400 // Вестник ДГУ. – 2021. – Т. 36, вып. 1. – С. 85–93.
13. Хидиров Ш.Ш., Ахмедов М.А., Сулейманов С.И., Эмирбекова З.А., Шамсудинова А.М., Шайхилова А.А., Амиров А.М. Ионная проводимость сульфата лития в воде и диметилсульфоксиде // Вестник ДГУ. – 2021. – Т. 36, вып. 1. – С. 106–114.

Поступила в редакцию 12 июня 2021 г.

UDC 544.6.018.462

DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-3-96–106

Ionic Conductivity of Some Alkali Metal Acetates in Dimethyl Sulfoxide
**A.A. Shaikhilova¹, S.I. Suleymanov^{1,2}, M.E. Millinov¹, S.G. Gadzhimuradov¹,
S.T. Hidirova¹, F.M. Muslimova¹**

¹ Dagestan State University; Russia, 367000, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 43a; s.sagim.i@ya.ru;

² Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences; Russia, 367025, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 45

In recent years, in addition to the existing lithium-ion electrolytes, sodium and potassium-conducting electrolyte systems, recognized as promising for the creation of corresponding batteries, are of great scientific and technical interest. In this regard, we investigated solutions of CH₃COOLi, CH₃COONa, and CH₃COOK salts in dimethyl sulfoxide. The selected salts are relatively affordable (cheap), low-toxic, thermally stable and relatively resistant to hydrolysis. The Debye-Falkenhagen effect of the investigated solutions of CH₃COOLi, CH₃COONa and CH₃COOK salts in dimethyl sulfoxide has been studied. The limiting molar electrical conductivity and dissociation constants of CH₃COOLi, CH₃COONa, and CH₃COOK salts in dimethylsulfoxide have been calculated.

Keywords: Debye–Falkenhagen effect, alkali metal acetates, dimethyl sulfoxide, limiting conductivity, ionic electrolytes.

Received 12 June 2021