

УДК 544.6.018.462

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ EMIBF<sub>4</sub> И BMIBF<sub>4</sub> НА СВОЙСТВА СЕТЧАТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ ЛИТИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

А. В. Юдина, А. А. Игнатова, Н. И. Шувалова, В. М. Мартыненко, О. В. Ярмоленко ✉

*Институт проблем химической физики РАН  
142432, Россия, Московская обл.,  
Черноголовка, пр. акад. Семенова, 1*

✉ E-mail: oyarm@icp.ac.ru

Поступила в редакцию 15.09.14 г.

Изучено влияние ионных жидкостей 1-этил-3-метилимидазолия тетрафторборат (EMIBF<sub>4</sub>) и 1-бутил-3-метилимидазолия тетрафторборат (BMIBF<sub>4</sub>) на свойства полимерного электролита на основе диакрилата полиэтиленгликоля (ДАК-ПЭГ) и соли LiBF<sub>4</sub>. Исследования проводили методом масс-спрей спектроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии и методом спектроскопии электрохимического импеданса в интервале температур от –40 до 120 °С. Лучшим составом полимерного электролита является соотношение ДАК-ПЭГ:LiBF<sub>4</sub>:EMIBF<sub>4</sub>=1:1:6.5 моль с проводимостью 2.55·10<sup>-3</sup> См/см при 20 °С, 2.20·10<sup>-4</sup> См/см при –40 °С и температурой стеклования –103 °С.

*Ключевые слова:* полимерный электролит, диакрилат полиэтиленгликоля, ионная жидкость, ионы лития, импедансная спектроскопия.

## INFLUENCE OF ADDITIVES OF EMIBF<sub>4</sub> AND BMIBF<sub>4</sub> IONIC LIQUIDS ON THE PROPERTIES OF NETWORK POLYMER ELECTROLYTES FOR LITHIUM POWER SOURCES

A. V. Yudina, A. A. Ignatova, N. I. Shuvalova, V. M. Martynenko, O. V. Yarmolenko ✉

*Institute of Problems of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences (ICP RAS)  
1, Academician Semenov ave., Chernogolovka, Moscow region, 142432, Russian*

✉ E-mail: oyarm@icp.ac.ru

Received 15.09.14

The effect of 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (EMIBF<sub>4</sub>) and 1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (BMIBF<sub>4</sub>) ionic liquids on the properties of the polymer electrolyte based on polyethylene glycol diacrylate (PEG-DA) and LiBF<sub>4</sub> salt was studied. Research was carried out by spray-mass spectroscopy, differential scanning calorimetry, and electrochemical impedance spectroscopy technique in the temperature range from –40 to 120 °С. The best polymer electrolyte composition is the ratio of PEG-DA:LiBF<sub>4</sub>:EMIBF<sub>4</sub> = 1: 1: 6.5 mole with a conductivity of 2.55·10<sup>-3</sup> S/cm at 20 °С, 2.20·10<sup>-4</sup> S/cm at –40 °С and the glass transition temperature –103 °С.

*Key words:* polymer electrolyte, polyethylene glycol diacrylate, ionic liquid, lithium ions, impedance spectroscopy.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы ионные жидкости (ИЖ) находят всё большее применение в качестве компонентов полимерных электролитов (ПЭ) для литиевых источников тока. Они обладают рядом преимуществ, такими как низкая воспламеняемость, малое давление пара, широкое окно термической, химической и электрохимической стабильности [1,2]. Исходные твёрдые полимерные электролиты на основе диакрилата полиэтиленгликоля имеют очень низкую проводимость порядка 10<sup>-7</sup> См/см при 20 °С [3], поэтому поиск подходящих ИЖ для таких систем является актуальной задачей.

Добавление ионной жидкости различного состава по-разному влияет на свойства Li<sup>+</sup>-проводящего полимерного электролита. Хорошо из-

вестно, что большие анионы препятствуют координации катионов лития к атомам кислородов простых эфирных групп полимерной цепи [4,5]. Введение в полимерный электролит ИЖ с такими же анионами способствует данному процессу, и при этом объёмные катионы ИЖ (например, BMi<sup>+</sup> и EMi<sup>+</sup>) способствуют появлению свободных объёмов для проводимости [6, 7]. Кроме того, физические свойства ИЖ (в частности, вязкость и диэлектрическая постоянная) играют важную роль в модификации структуры и проводящих свойств полимерных электролитов. Низкая вязкость приводит к увеличению сегментарной подвижности полимерных цепей. С другой стороны, высокая диэлектрическая проницаемость ионной жидкости способствует диссоциации ионных пар и, следовательно, увеличению

концентрации носителей заряда. Оба аспекта, упомянутые выше, вносят вклад в увеличение ионной проводимости полимерного гель-электролита.

Среди ионных жидкостей существуют высокопроводящие ИЖ, но с узким электрохимическим окном стабильности, например 1-этил-3-метилимидазолий дидицианамид ( $2.7 \cdot 10^{-2}$  См/см и 2.9 В) или 1-этил-3-метилимидазолий тиоцианат ( $2.1 \cdot 10^{-2}$  См/см и 2.3 В). С другой стороны, существуют ИЖ с высокой электрохимической стабильностью, но с низкой проводимостью, например, N-бутил-N-метилпирролидин бис(трифтор-метилсульфонил) имид ( $2.1 \cdot 10^{-3}$  См/см и 6.6 В) или N-Метил-N-три октиламмония бис(трифтор-метилсульфонил) имид ( $2.2 \cdot 10^{-3}$  См/см и 5.7 В). Наиболее привлекательными являются ИЖ с компромиссными свойствами, например, 1-этил-3-метилимидазолия тетрафторборат ( $1.2 \cdot 10^{-2}$  См/см и 4.3 В) и 1-бутил-3-метилимидазолия тетрафторборат ( $4 \cdot 10^{-3}$  См/см и 4.75 В). Именно эти ИЖ были выбраны для данной работы совместно с солью LiBF<sub>4</sub>, имеющей тот же анион.

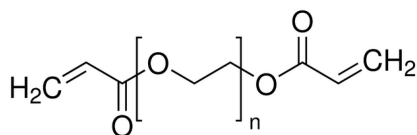
Таким образом, целью исследования было изучение влияния добавки ионных жидкостей EMIBF<sub>4</sub> и BMIBF<sub>4</sub>, отличающихся объёмом катиона имидазолия, на свойства литий-проводящих сетчатых полимерных электролитов.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

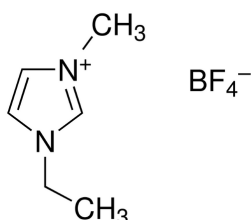
### Компоненты полимерного электролита

Компонентами полимерного электролита являются следующие реагенты:

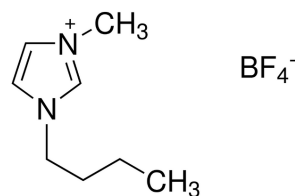
1) Диакрилат полиэтиленгликоля (ДАк-ПЭГ) («Aldrich»)  $M_w = 575$ ;  $T_{пл} = -10$  °C;  $T_g = 73.5$  °C;  $T_{кип} = 104$  °C



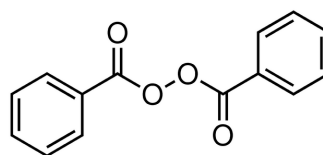
2) 1-этил-3-метилимидазолий тетрафторборат (EMIBF<sub>4</sub>) («Aldrich»),  $M_w = 197.97$ ,  $T_{пл} = 15$  °C;  $T_{кип} \geq 350$  °C



3) 1-бутил-3-метилимидазолий тетрафторборат (BMIBF<sub>4</sub>) («Merck»),  $M_w = 226$ ,  $T_{пл} = -75$  °C;  $T_{всп} = 288$  °C



4) Перекись бензоила (ПБ) («Aldrich»)



4) Перекись бензоила (ПБ) («Aldrich») очищали перекристаллизацией из хлороформа с последующей сушкой при комнатной температуре сначала на воздухе, потом в вакууме.

5) LiBF<sub>4</sub> («Aldrich») степень чистоты 99%.

### Синтез полимерного электролита

Синтез новых сетчатых полимерных электролитов проводили радикальной полимеризацией в среде ионной жидкости в присутствии перекиси бензоила (1 мас.%). Концентрация соли LiBF<sub>4</sub> во всех составах составляла 1 моль. Особенности синтеза полимерных электролитов состава ДАк-ПЭГ – LiBF<sub>4</sub> в присутствии ионной жидкости были исследованы ранее в работе [8]. Полимеризацию проводили при 80 °C в течение трёх часов.

### Приборы

Масс-спектры снимали на хромато-масс спектрометре LCMS 20–20 («Shimadzu», Japan, 2010 г.). Тип ионизации – электроспрей (ESI). Масс-анализатор квадрупольный (Q). Диапазон измеряемых массовых чисел от 10 до 2000  $m/z$ . Разрешение масс-анализатора (FWHM) равно 0.6. Стандартный элюент – ацетонитрил (CH<sub>3</sub>CN).

ДСК диаграммы снимали на приборе DSC 822e Mettler-Toledo с первоначальным охлаждением образца до –150 °C жидким азотом, затем сканировали образец при нагреве со скоростью 5 град/мин.

Для измерения электрохимического импеданса симметричных ячеек с блокирующими электродами из нержавеющей стали (НС) использовали импедансметр Z-350M фирмы Electrochemical Instruments – Elins, Россия (диапазон частот от

300 кГц до 1 Гц при амплитуде измерительного сигнала 10 мВ). Данные, полученные при измерении электрохимического импеданса ячейки НС/ПЭ/НС, анализировали по эквивалентным схемам (рис. 1). На рис. 1, а представлена эквивалентная схема с геометрической ёмкостью, с помощью которой рассчитывали проводимость ПЭ порядка  $10^{-7}$ – $10^{-5}$  См/см, для систем с проводимостью  $10^{-4}$ – $10^{-2}$  См/см элемент  $C_G$  отсутствовал (рис. 1, б). Все годографы имели вид прямой линии с углом наклона 85 градусов.

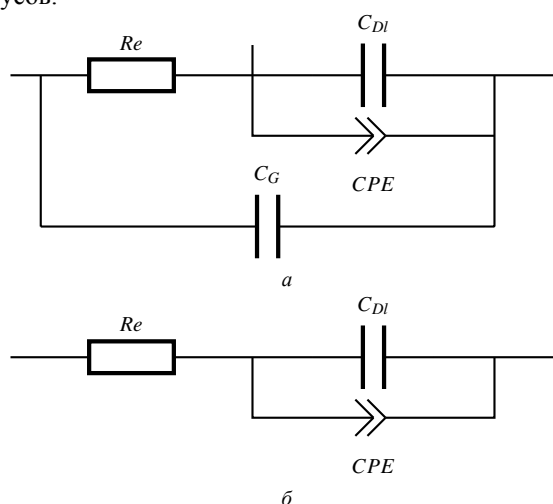


Рис. 1. Эквивалентные схемы для импеданса ячеек НС/ПЭ/НС, где  $Re$  – сопротивление электролита;  $C_G$  – геометрическая ёмкость;  $C_{DL}$  – ёмкость двойного слоя;  $CPE$  – элемент постоянного угла сдвига фаз

Изучение зависимости проводимости полимерных электролитов от температуры в интервале от  $-40$  до  $40$  °С проводили с использованием криотермостата ТЖ-ТС-01 (Россия), в интервале от  $40$  до  $120$  °С – с использованием масляного термостата TLW U8 (Германия). Каждую серию образцов снимали в течение двух дней. Образцы перед измерением выдерживали при каждой температуре не менее 1 ч.

Сборку испытательных ячеек проводили в герметичном перчаточном боксе из нержавеющей стали с вакуумируемой форкамерой производства Институт проблем химической физики РАН. Для внутренней осушки аргоновой атмосферы использовали  $P_2O_5$ . Контроль за содержанием влаги в боксе осуществляли с помощью термогигрометра ИВА-6 (производства НПК «Микрофор», Россия).

Толщину плёнок измеряли с помощью цифрового микрометра МК Ц25 с погрешностью  $\pm 4$  мкм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходные ионные жидкости EMIBF<sub>4</sub> и BMIBF<sub>4</sub> были изучены методом жидкостной масс-спрей-хроматографии с целью установления качественного

состава катионов и анионов. Результаты приведены в табл. 1–2 и на рис. 2–3.

Таблица 1

Масс-спектры BMIBF<sub>4</sub>

$m/z$	$I_{\text{отн.}}$ , %	Отнесение
Анионы		
87	2.2	[BF <sub>4</sub> ] <sup>-</sup>
313	58.0	[(BMI)(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>
539	14.9	[(BMI) <sub>2</sub> (BF <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>
765	4.3	[(BMI) <sub>3</sub> (BF <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>-</sup>
Катионы		
139	100.0	[BMI] <sup>+</sup>
365	89.9	[(BMI) <sub>2</sub> (BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>

Таблица 2

Масс-спектры EMIBF<sub>4</sub>

$m/z$	$I_{\text{отн.}}$ , %	Отнесение
Анионы		
87	9.7	[BF <sub>4</sub> ] <sup>-</sup>
128	13.9	[(BF <sub>4</sub> )(CH <sub>3</sub> CN)] <sup>-</sup>
285	100.0	[(EMI) <sup>+</sup> (BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>
483	30.6	[(EMI) <sub>2</sub> (BF <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>
680	3.6	[(EMI) <sub>3</sub> (BF <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>-</sup>
Катионы		
111	32.8	[EMI] <sup>+</sup>
309	85.6	[(EMI) <sub>2</sub> (BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>

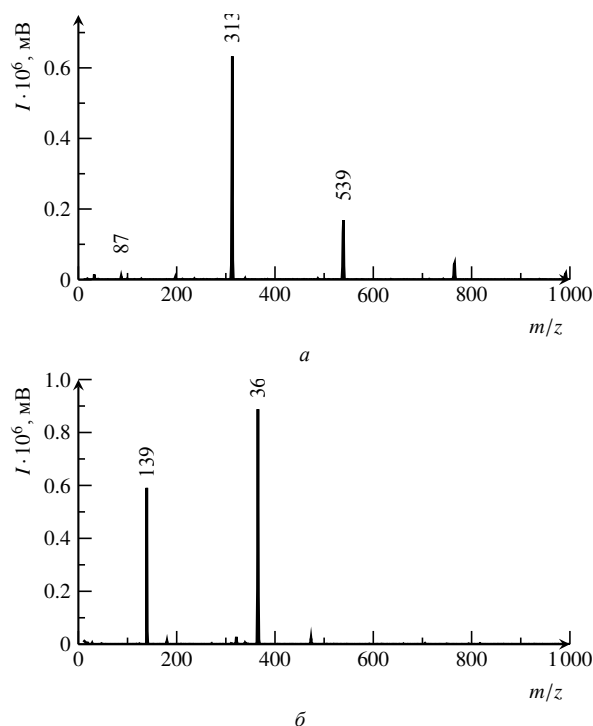


Рис. 2. Хромато-масс-спектр BMIBF<sub>4</sub>: а – анионы, б – катионы

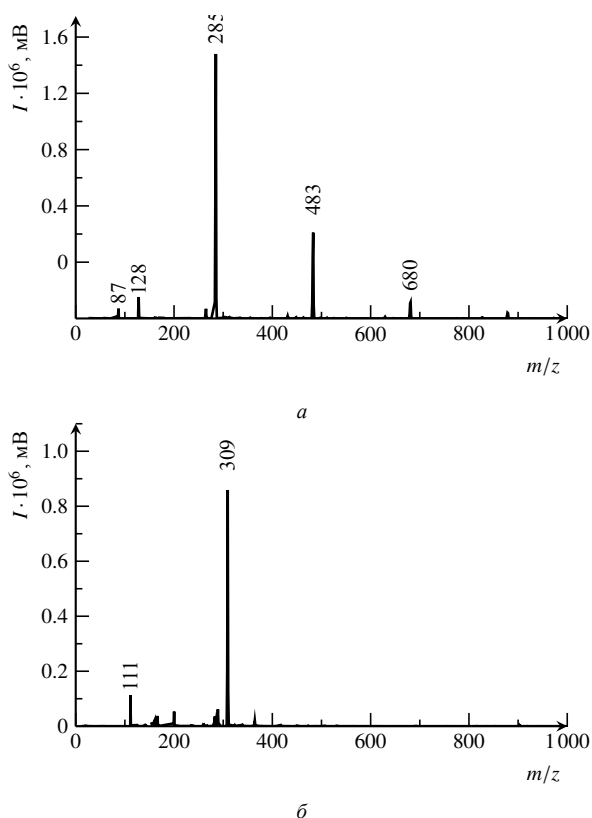


Рис. 3. Хромато-масс-спектр EMIBF<sub>4</sub>: а – анионы, б – катионы

Видно, что данные ионные жидкости преимущественно существуют в виде комплексных анионов и катионов, но между собой они практически не различаются. В случае EMIBF<sub>4</sub> появляется только пик 128 *m/z*, который соответствует комплексу аниона [BF<sub>4</sub>]<sup>-</sup>, сольватированного элюентом–ацетонитрилом (CH<sub>3</sub>CN).

Следующим этапом работы был синтез шести составов полимерных электролитов с различным содержанием VMIBF<sub>4</sub> и EMIBF<sub>4</sub> методом радикальной полимеризации в присутствии перекиси бензоила. Составы полимерных электролитов представлены в табл.3. При содержании ИЖ более 6.5 моль полимерная плёнка не образуется.

Таблица 3

Составы образцов полимерных электролитов с введением ИЖ (EMIBF<sub>4</sub> или VMIBF<sub>4</sub>)

№	[ДАК-ПЭГ], моль	[ИЖ], моль	[LiBF <sub>4</sub> ], моль
1	1	1	1
2	1	2.5	1
3	1	6.5	1

Методом ДСК была измерена температура стеклования (*T<sub>g</sub>*) ПЭ всех синтезированных составов. На рис. 4 представлены ДСК-диаграммы для

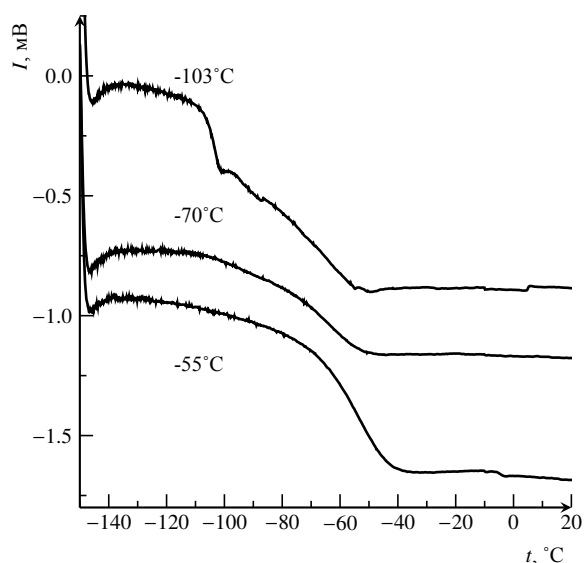


Рис. 4. ДСК-диаграммы полимерных электролитов составов 1–3 с добавкой EMIBF<sub>4</sub>

составов ПЭ № 1–3 с введением EMIBF<sub>4</sub>. Для VMIBF<sub>4</sub> вид ДСК-диаграмм аналогичен.

На ДСК-диаграммах (см. рис. 4) виден только фазовый переход второго рода, что говорит о гомогенности системы ДАК-ПЭГ–LiBF<sub>4</sub>–ИЖ.

Следует отметить, что при увеличении содержания ИЖ температура стеклования ПЭ снижается. Это связано с увеличением гибкости полимерной сетки и подвижности надмолекулярных структур, вызванное пластификацией ионной жидкостью сетчатого полимера и образования геля [9].

На рис. 5 приведены результаты измерений температуры стеклования для всех шести составов и отмечены *T<sub>g</sub>* для ионных жидкостей.

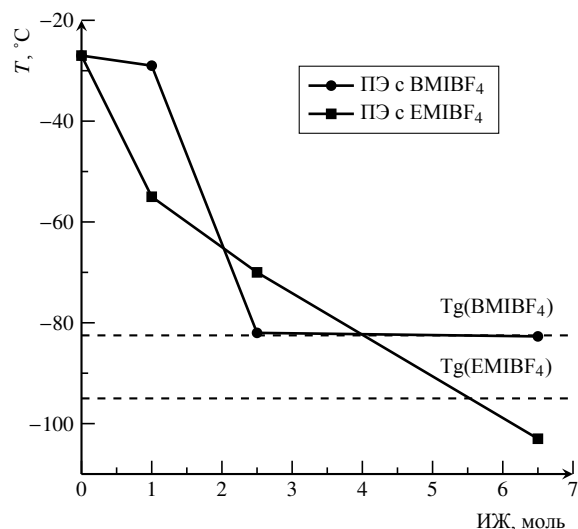


Рис. 5. Зависимость температуры стеклования полимерных электролитов от вида и содержания ИЖ

Из рис. 5 видно, что  $T_g$  полимерных электролитов сильно зависит от вида используемой ионной жидкости. В первую очередь отличается вид зависимости  $T_g$  от содержания ИЖ. Если для EMIBF<sub>4</sub> данная зависимость равномерная, то у ИЖ с большим по объёму катионом можно выделить 3 участка. В области концентраций от 1 до 2.5 моль BMIBF<sub>4</sub> на 1 моль ДАК-ПЭГ происходит быстрое снижение  $T_g$ , вызванное набуханием полимерной сетки в среде ионной жидкости, а затем, при достижении содержания 2.5 моль, значение  $T_g$  полимерного электролита перестаёт меняться и становится равным  $T_g$ (BMIBF<sub>4</sub>).

Это согласуется с данными по пластификации сетчатых полимеров низкомолекулярными растворителями [9], к которым относятся рассматриваемые ИЖ. У меньшей по объёму EMIBF<sub>4</sub> термодинамическое сродство к полимеру выше, чем у BMIBF<sub>4</sub>. Поэтому в системе ДАК-ПЭГ-LiBF<sub>4</sub>-EMIBF<sub>4</sub> происходит равномерное и медленное понижение  $T_g$ . Ухудшение сродства пластификатора к полимеру в случае большей по объёму BMIBF<sub>4</sub> благоприятствует понижению  $T_g$ , но только до определённого предела, когда начинает сказываться роль размера молекулы пластификатора. В случае EMIBF<sub>4</sub> в данной области концентраций этот предел не был достигнут.

Различие влияния ионных жидкостей, отличающихся объёмом катиона, должно сказаться на формировании сетчатого полимерного электролита и на проводящих свойствах данных систем.

Для всех составов полимерных электролитов была измерена ионная проводимость в интервале температур от -40 до 120 °С. Результаты приведены на рис. 6.

Видно, что у образцов состава ДАК-ПЭГ - LiBF<sub>4</sub> - ИЖ (№ 1, 2) проводимость при комнатной температуре очень низка. Для образцов №1 она составляет 10<sup>-6</sup> См/см, для образца № 2 - порядка 10<sup>-5</sup> См/см и только при добавлении 6.5 моль ИЖ (состав № 3) достигает 10<sup>-4</sup> См/см для BMIBF<sub>4</sub> и 10<sup>-3</sup> См/см для EMIBF<sub>4</sub>.

При введении ИЖ с катионом ВМІ<sup>+</sup> величины проводимости 10<sup>-3</sup> См/см при комнатной температуре достичь не удалось. При увеличении количества ИЖ от состава № 1 к № 2 и к № 3 каждый раз проводимость увеличивалась на порядок. При таком же соотношении в случае ИЖ с меньшим катионом EMІ<sup>+</sup> при переходе от состава № 1 к № 2 и к № 3 проводимость увеличивалась на 1.5 порядка, что говорит о более сильном вкладе ИЖ с меньшим катионом в проводимость полимерного сетчатого электролита.

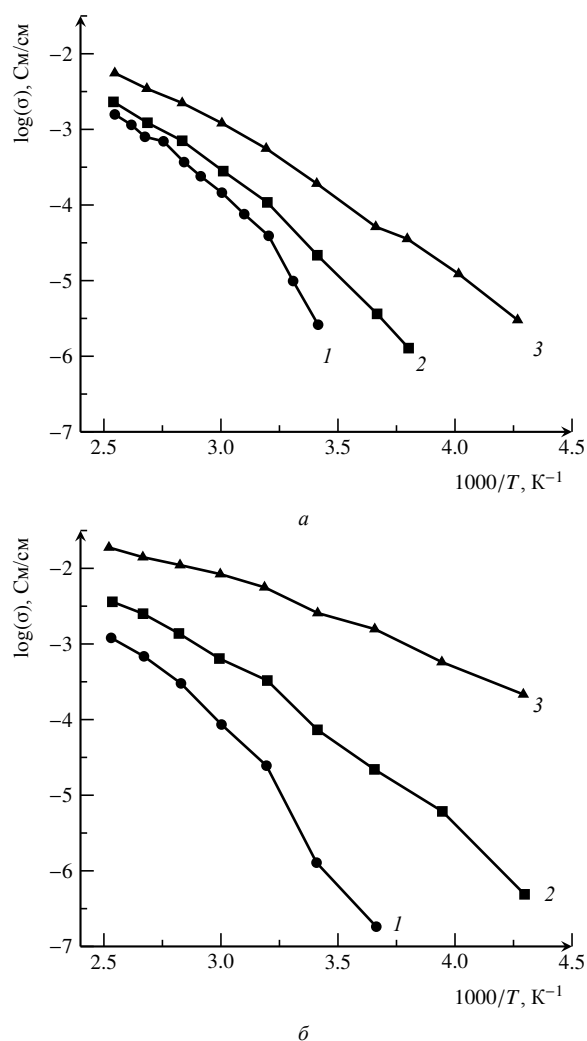


Рис. 6. Аррениусовская зависимость проводимости полимерных электролитов с введением BMIBF<sub>4</sub> (а) и EMIBF<sub>4</sub> (б). Цифры у кривых - номера составов полимерных электролитов (см. табл. 3)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследован специфичный характер зависимости свойств полимерного электролита ДАК-ПЭГ - LiBF<sub>4</sub> - ионная жидкость (1-бутил-3-метил-имидазолий тетрафторборат и 1-этил-3-метилимидазолий тетрафторборат) от состава. Найдено, что катионы имидазолия с различной длиной заместителя по-разному влияют на свойства полимерных сетчатых электролитов. Их различие в проводимости пропорционально сказывается на проводимости полимерного электролита. Лучшим составом ПЭ является соотношение ДАК-ПЭГ:LiBF<sub>4</sub>:EMIBF<sub>4</sub>=1:1:6.5 моль с проводимостью 2.55·10<sup>-3</sup> См/см при 20 °С, 2.20·10<sup>-4</sup> См/см при -40 °С и температурой стеклования - 103 °С.

Методом ДСК установлено, что EMIBF<sub>4</sub> во всей области исследованных концентраций равно-

мерно модифицирует сетчатую матрицу полимерного электролита, и температура стеклования ПЭ монотонно снижается при увеличении концентрации данной ИЖ.

В случае VMIBF<sub>4</sub> происходит скачкообразное изменение температуры стеклования системы в области соотношений 1–2.5 моль ИЖ к 1 моллю ДАК-ПЭГ.

При исследовании EMIBF<sub>4</sub> и VMIBF<sub>4</sub> методом жидкостной масс-спрей хроматографии различий в составе ионных пар не обнаружено. VMIBF<sub>4</sub> состоит из следующих ионов и их ассоциатов: [BF<sub>4</sub>]<sup>-</sup>, [VMI]<sup>+</sup>, [(VMI)(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]<sup>-</sup>, [(VMI)<sub>2</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>-</sup>, и [(VMI)<sub>3</sub>(BF<sub>4</sub>)<sub>4</sub>]<sup>-</sup>. Для EMIBF<sub>4</sub> состав ионов аналогичен.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-03-00698).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Electrochemical Aspects of Ionic Liquids / ed. H. Ohno. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 468 p.
2. Евщик Е. Ю., Ярмоленко О. В. Полимерные электролиты на основе ионных жидкостей для литиевых аккумуляторов // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 01/2 (118). С. 126–140.
3. Yarmolenko O. V., Khatmullina K. G., Tulibaeva G. Z., Bogdanova L. M., Shestakov A. F. Towards the mechanism of Li<sup>+</sup> transfer in the net solid polymer electrolyte based on Poly(ethylene glycol) diacrylate – LiClO<sub>4</sub> // J. Solid State Electrochem. 2012. Vol. 16, № 10. P. 3371–3381.
4. Gray F. M. Solid Polymer Electrolytes: Fundamental and Technological Applications New York: VCH Publishers, 1991. 254 p.
5. Gray F. M. Polymer electrolytes. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1997. 175 c.
6. Agrawal R. C., Gupta R. K. Review Superionic Solids: composite electrolyte phase an overview // J. Mater. Sci. 1999. Vol. 34. P. 1131–1162.
7. Kim G. T., Appetecchi G. B., Carewska M., Joost M., Balducci A., Winter M., Passerini S. UV cross-linked, lithium-conducting ternary polymer electrolytes containing ionic liquids // J. Power Sources 2010. Vol. 195. P. 613–617.
8. Евщик Е. Ю., Бубнова М. Л., Джавадян Э. А., Ярмоленко О. В. Особенности синтеза полимерного электролита диакрилат полиэтиленгликоля – LiBF<sub>4</sub> в присутствии ионной жидкости 1-бутил-3-метил имидазолий тетрафторборат // Вестн. БашГУ. 2012. Т. 17, № 1. С. 51–58.
9. Tager A. A. Физико-химия полимеров. М.: Науч. мир, 2007. 573 с.

#### REFERENCES

1. Electrochemical Aspects of Ionic Liquids, H. Ohno (ed.) New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2005, 468 p.
2. Evshhik E. Ju., Jarmolenko O. V. Polimernye jelektrolity na osnove ionnyh zhidkostej dlja litievyh akkumuljatorov [Polymer electrolytes based on ionic liquids for lithium batteries]. *Alternativnaja jenergetika i jekologija [Alternative Energy and Ecology]*, 2013, no. 01/2 (118), pp. 126–140 (in Russian).
3. Yarmolenko O. V., Khatmullina K. G., Tulibaeva G. Z., Bogdanova L. M., Shestakov A. F. Towards the mechanism of Li<sup>+</sup> transfer in the net solid polymer electrolyte based on Poly(ethylene glycol) diacrylate – LiClO<sub>4</sub>. *J. Solid State Electrochem*, 2012, vol. 16, no. 10, pp. 3371–3381.
4. Gray F. M. Solid Polymer Electrolytes: Fundamental and Technological Applications, New York, VCH Publishers, 1991, 254 p.
5. Gray F. M. Polymer electrolytes. Cambridge, Royal Society of Chemistry, 1997, 175 c.
6. Agrawal R. C., Gupta R. K. Review Superionic Solids: composite electrolyte phase an overview. *J. Mater. Sci.*, 1999, vol. 34, pp. 1131–1162.
7. Kim G. T., Appetecchi G. B., Carewska M., Joost M., Balducci A., Winter M., Passerini S. UV cross-linked, lithium-conducting ternary polymer electrolytes containing ionic liquids, *J. Power Sources*, 2010, vol. 195, pp. 613–6137.
8. Evshhik E. Ju., Bubnova M. L., Dzhavadjan Je. A., Jarmolenko O. V. Osobennosti sinteza polimernogo jelektrolita diakrilat polijetilenglikolja – LiBF<sub>4</sub> v prisutstvii ionnoj zhidkosti 1-butil-3-metil imidazolij tetraforborat. *Vestnik Bashkirskogo Gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Bashkir State University]*, 2012, vol. 17, no. 1, pp. 51–58 (in Russian).
9. Tager A. A. Fiziko-himija polimerov. Moskva, Nauchnyj mir Publ., 2007, 573 p. (in Russian).

#### Сведения об авторах

- Юдина Алёна Владимировна** – канд. физ.-мат. наук, мл. науч. сотрудник, ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Моск. обл., Черноголовка. Служебный телефон: 8(49652)2-56-25, e-mail: gvinok@yandex.ru
- Игнатова Анна Алексеевна** – аспирант, инженер, ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Моск. обл., Черноголовка. Служебный телефон: 8(49652)2-56-25, e-mail: anna.elchem@gmail.com
- Шувалова Наталья Ивановна** – канд. хим. наук, науч. сотрудник, ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Моск. обл., Черноголовка. Служебный телефон: 8(49652)2-14-95, e-mail: oyarm@icp.ac.ru
- Мартыненко Вячеслав Михайлович** – канд. хим. наук, старший науч. сотрудник, ФГБУН Институт проблем химической физики РАН Моск. обл., Черноголовка. Служебный телефон: 8(49652)2-17-79, e-mail: mart@cat.icp.ac.ru
- Ярмоленко Ольга Викторовна** – д-р хим. наук, зав. лабораторией, ФГБУН Институт проблем химической физики РАН, Моск. обл., Черноголовка. Служебный телефон: 8(49652)2-56-25, e-mail: oyarm@icp.ac.ru