

На правах рукописи



Короткова Екатерина Николаевна

**Электропроводность и термодинамические
характеристики ассоциации двух ионных
жидкостей в ацетонитриле и
диметилсульфоксиде и закономерности нагрева
растворов микроволновым излучением**

02.00.04 – Физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата химических наук

Москва – 2016

Работа выполнена на кафедре общей и неорганической химии ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор
Щербаков Владимир Васильевич, профессор
кафедры общей и неорганической химии, декан
факультета естественных наук ФГБОУ ВО
«Российский химико-технологический
университет имени Д.И. Менделеева»

Официальные оппоненты: доктор химических наук, профессор
Сергиевский Валерий Владимирович,
заведующий кафедрой химии ФГАОУ ВПО
«Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ»

кандидат химических наук, доцент
Тифлова Людмила Александровна, доцент
кафедры физической химии химического
факультета ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет имени
М.В. Ломоносова»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет промышленных
технологий и дизайна»

Защита состоится 19 апреля 2016 года в 14.30 на заседании диссертационного
совета Д 212.204.11 при РХТУ имени Д.И. Менделеева (125047 г. Москва,
Миусская пл., д. 9) в 443 ауд. (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре
РХТУ имени Д. И. Менделеева и на сайте <http://diss.muctr.ru>.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.11



Мурашова Н. М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа является продолжением систематических исследований физико-химических свойств водных и неводных растворов электролитов и неэлектролитов, проводимых на кафедре общей и неорганической химии РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Актуальность работы. Ионные жидкости (ИЖ) являются перспективными объектами научных исследований и химической технологии. Они очень удобны в использовании для проведения в них различных химико-технологических процессов, поскольку остаются жидкими в широком интервале температур, не летучи, не воспламеняются, термически очень устойчивы и менее токсичны по сравнению с другими органическими растворителями. Химические свойства ИЖ можно изменять в широких пределах, путем выбора и комбинации катионов и анионов.

Важнейшим вопросом химии ИЖ является изучение их ион-молекулярного состояния в растворах. Уникальность ИЖ состоит в том, что они одновременно являются растворителями и электролитами, растворенными в этих растворителях. Несмотря на то, что ИЖ и их растворы начинают находить практическое применение в различных процессах, физико-химические свойства ИЖ мало изучены. В особенности это касается состояния ИЖ в растворах. Поэтому актуальным является проведенное в настоящей работе изучение физико-химических свойств двух ИЖ в ацетонитриле (АН) и диметилсульфоксиде (ДМСО), в частности, зависимости проводимостей ИЖ от температуры, а для растворов ИЖ и от концентрации.

В перечень принятых Правительством РФ приоритетных технологических платформ вошла платформа «СВЧ технологии», которая предполагает применение микроволнового излучения для повышения эффективности технологических процессов. Для установления оптимальных условий поглощения микроволнового излучения растворами также требуется проведение исследований соответствующих физико-химических свойств этих

растворов, в частности, анализа зависимости высокочастотной проводимости растворов и растворителей от частоты и температуры.

Целью работы является исследование электропроводности (ЭП) разбавленных и концентрированных растворов двух ионных жидкостей в ацетонитриле (АН) и диметилсульфоксиде (ДМСО), определение термодинамических характеристик ассоциации, изучение поглощения энергии микроволнового излучения (МВ излучения) растворами этих ионных жидкостей и сопоставление полученных закономерностей с данными для водных растворов электролитов и неэлектролитов. Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Измерение электропроводности разбавленных растворов двух ИЖ в АН и ДМСО и определение на основе полученных данных термодинамических параметров ассоциации.

2. Измерение электропроводности концентрированных растворов двух ИЖ в АН и ДМСО и установление закономерностей изменения проводимости в широком интервале концентраций и температур.

3. Исследование поглощения энергии МВ излучения растворами ИЖ в АН и ДМСО, а также водными растворами некоторых электролитов и неэлектролитов на частоте 2455 МГц и сопоставление полученных закономерностей.

4. Определение оптимальных условий поглощения растворами энергии МВ излучения на частоте 2455 МГц.

Научная новизна работы. Впервые на основании кондуктометрических исследований определены термодинамические характеристики ассоциации тригексилтетрадецилфосфоний бис{(трифторметил)}сульфонил}имида (ИЖ-1) и 1-бутил-3-метилпиридиний хлорида (ИЖ-2) в АН и ДМСО и установлены закономерности изменения удельной ЭП концентрированных растворов этих ИЖ.

Впервые исследовано поглощение энергии МВ излучения растворов ИЖ-2 в АН и ДМСО, а также некоторых водных растворов электролитов и неэлектролитов на частоте 2455 МГц. Установлена связь скорости поглощения энергии МВ излучения с диэлектрическими свойствами растворов.

Практическая значимость работы. Растворы ионных жидкостей, электролитов и неэлектролитов находят широкое применение в научных исследованиях и в химической технологии. Для повышения эффективности химико-технологических процессов необходимо знать физико-химические свойства этих растворов и, в частности, состояние растворенного вещества в разбавленных и концентрированных растворах. Это, в первую очередь, касается растворов ИЖ, которые начинают применяться в химической науке и технологической практике. Полученные данные по поглощению энергии МВ излучения исследуемыми растворами позволяют определить оптимальные условия для интенсификации процессов наложением электромагнитных полей сверхвысоких частот (СВЧ). Полученный в работе численный материал – значения проводимости разбавленных и концентрированных растворов ИЖ в АН и ДМСО может использоваться в качестве справочного материала.

На защиту выносятся:

- результаты измерения ЭП разбавленных и концентрированных растворов двух ИЖ в АН и ДМСО,
- величины термодинамических характеристик ассоциации двух ИЖ в АН и ДМСО,
- результаты обобщения температурной и концентрационной зависимостей удельной ЭП концентрированных растворов двух ИЖ в АН и ДМСО,
- результаты определения скорости поглощения энергии МВ излучения растворами ИЖ-2 в АН и ДМСО, а также водных растворов некоторых электролитов и неэлектролитов,
- закономерности изменения скорости ВЧ нагрева исследуемых растворов в зависимости от их природы и состава.

Личный вклад автора состоит в анализе литературы, планировании эксперимента, проведении экспериментальных исследований и обработке полученных результатов. Обсуждение результатов и написание научных публикаций проведено автором при участии научного руководителя.

Апробация работы. Результаты работы были представлены на XXV Международной Чугаевской конференции по координационной химии (г. Суздаль, 2011 г.), III, IV, V, VI и VII Международных научно-технических конференциях «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии» (г. Плес, Ивановская обл., 2011 – 2015 г.г.), IV, V, VI и VII Международных конференциях Российского химического общества имени Д.И. Менделеева (г. Москва, 2012 – 2015 г.г.), XII Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы сольватации и комплексообразования в растворах. От эффектов в растворах к новым материалам» (г. Иваново, 2015 г.), VIII, IX, X и XI Международных конгрессах молодых ученых по химии и химической технологии (г. Москва, 2012 – 2015 г.г.).

Публикации по теме диссертации. Основное содержание работы опубликовано в 27 работах, в числе которых 6 статей в журналах из перечня ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 129 страницах и включает в себя 35 таблиц и 67 рисунков. Работа состоит из введения, четырех глав, списка цитированной литературы, включающего 157 наименований, и приложения. Общий объем работы – 164 страницы.

Диссертант выражает благодарность заведующему кафедрой химии и химической технологии Национального университета Украины (г. Киев) профессору Чумаку В.Л. за помощь при проведении расчетов термодинамических характеристик ассоциации и заведующему кафедрой химии и технологии биомедицинских препаратов РХТУ им. Д.И. Менделеева профессору Коваленко Л.В. за содействие при исследовании поглощения микроволнового излучения водными растворами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, научная новизна, практическая значимость работы, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе представлен **литературный обзор**. В этом обзоре приведены общие сведения об электропроводности растворов и ионных жидкостей, а также их термодинамических параметрах ассоциации в органических растворителях. Рассмотрены диэлектрические характеристики и их взаимосвязь с высокочастотной (ВЧ) проводимостью, а также взаимодействие микроволнового излучения с веществом. Показано, что ВЧ проводимость растворов и растворителей на частоте ω ($\omega=2\pi F$) может быть рассчитана на основании их диэлектрических характеристик – статической диэлектрической проницаемости (ДП) ϵ_s и времени дипольной диэлектрической релаксации τ :

$$\kappa' = \frac{\kappa_{\infty}}{1 + (\omega\tau)^2} \cdot (\omega\tau)^2, \quad \kappa_{\infty} = \frac{\epsilon_s \epsilon_0}{\tau}. \quad (1)$$

В выражениях (1) κ_{∞} – предельная ВЧ ЭП, ϵ_0 – абсолютная ДП вакуума.

Вторая глава диссертации – **экспериментальная часть** – содержит описание характеристик объектов исследования, приготовления растворов, методик измерений электропроводности и исследований микроволнового нагревания, расчета термодинамических параметров ассоциации и таблицы основных результатов измерений. В качестве объектов исследования были выбраны ИЖ, изображенные на рис. 1. Исследуемые ИЖ были синтезированы в Лаборатории ИЖ Королевского университета Белфаста (Северная Ирландия). Контроль чистоты ИЖ проводился методом ЯМР-спектроскопии в Лаборатории Королевского университета Белфаста. Содержание основного вещества составляло 98 – 99%. Проведению эксперимента предшествовала осушка ИЖ путем их выдерживания в течение двух часов при 90°C.

Последующий контроль содержания воды проводился кондуктометрическим методом. Исследовались разбавленные и концентрированные растворы ИЖ в АН и ДМСО в интервале температур 20 – 65 °С. Для приготовления растворов ИЖ использовался АН марки «хч», (примеси – 0,02 %), и ДМСО марки «хч» (примеси – 0,5 %). Содержание воды в используемых растворителях было дополнительно установлено титрованием по Фишеру и составило (0,04±0,02) %. Растворы ИЖ в каждом растворителе готовились весовым методом.

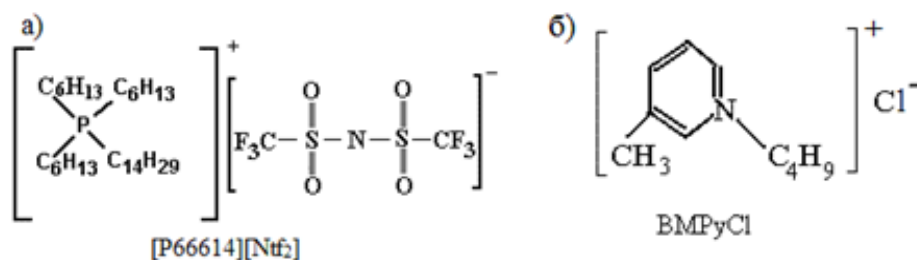


Рис. 1. Химические формулы исследованных ионных жидкостей:

- а) тригексилтетрадецилфосфоний бис{(трифторметил)}сульфонил}имид;
 б) 1-бутил-3-метилпиридиний хлорид

Для изучения процессов МВ нагревания в качестве объектов исследования помимо упомянутых неводных растворов ИЖ были также использованы водные растворы неэлектролитов (АН, ДМСО, диметилформамид (ДМФА) и ацетон) и электролитов (хлориды натрия и магния, гидроксид калия и серная кислота). Водные растворы электролитов готовились весовым методом. Для приготовления растворов электролитов использовались реактивы марки «хч». Хлориды предварительно высушивались при температуре 100 – 120 °С и хранились в эксикаторе. Для приготовления водных растворов H₂SO₄ использовалась концентрированная серная кислота.

Для измерения удельной ЭП применялась установка, включающая цифровой автоматический мост переменного тока Е7-20, к которому подключена термостатируемая контактная кондуктометрическая ячейка. Константа кондуктометрической ячейки определялась с использованием эталонных растворов KCl и составила 0,1723 см (погрешность 0,2 %). Погрешность определения ЭП не превышает 0,5 %.

Удельная ЭП растворов рассчитывалась на основе измеренного в интервале частот $F = 0,5 - 10$ кГц значения сопротивления R_z . Экстраполяцией измеряемого сопротивления в координатах $R_z - 1/F$ к бесконечной частоте определяли искомое сопротивление. По полученным данным удельной ЭП рассчитывались значения молярной проводимости. На основе температурной зависимости удельной ЭП рассчитывался относительный температурный коэффициент (β_k) и энергия активации (E_k) ЭП.

Изучение поглощения микроволнового излучения растворами ИЖ, электролитов и неэлектролитов проводилось с использованием микроволновой системы Discover BenchMate. Рабочая частота установки (магнетрона) – 2455 МГц. Эксперимент проводился в следующих условиях: мощность СВЧ-излучения – 10 Вт, максимальная температура – 70°C, время нагрева – 80 с, скорость перемешивания – максимальная. Относительная ошибка определения скорости ВЧ нагрева не превышает 3 %.

Результаты экспериментов и их обсуждение представлены в главе 3.

1. Электропроводность и ассоциация в растворах ионных жидкостей.

Измеренная в интервале температур 20 – 210 °С удельная ЭП ИЖ-1 повышается с ростом температуры во всём исследованном её интервале. Температурная зависимость удельной ЭП исследуемой ИЖ-1 была сопоставлена с аналогичными зависимостями изученных ранее ИЖ, содержащих одинаковый катион (тригексилтетрадецилфосфоний хлорид ([P66614]Cl) и содержащим одинаковый анион (1-бутил-3-метилимидазолий бис{(трифторметил)сульфонил}имид ([bmim][Ntf₂])). Установленная закономерность изменения удельной ЭП:



связана с аномально высокой проводимостью ионных жидкостей, содержащих катион имидазолия, а также особенностями влияния размера аниона на проводимость ионных жидкостей на основе катиона тетраалкилфосфония и согласуется с литературными данными. Повышение температуры приводит к снижению относительного температурного коэффициента и энергии активации

ЭП ИЖ-1, что обусловлено, уменьшением вязкости ИЖ при нагревании.

Молярная ЭП разбавленных растворов ИЖ в исследуемых растворителях (АН и ДМСО) монотонно снижается при увеличении концентрации ИЖ в растворе и при уменьшении температуры, рис. 2.

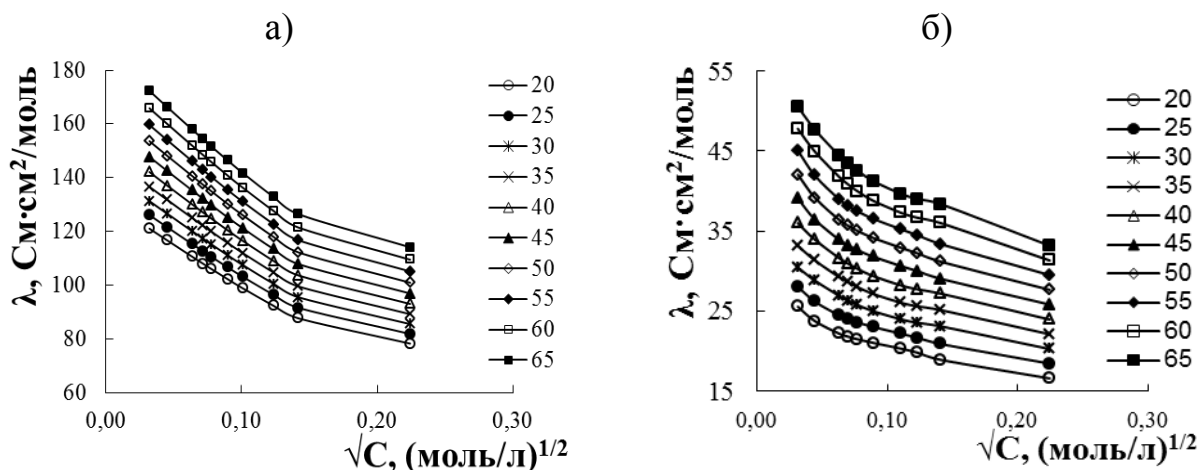


Рис. 2. Зависимость молярной ЭП разбавленных растворов ИЖ-1 в АН (а) и ДМСО (б) от квадратного корня из концентрации

Относительный температурный коэффициент ЭП β_k разбавленных растворов ИЖ в ДМСО уменьшается с ростом температуры, в отличие от разбавленных ацетонитрильных растворов, для которых β_k в пределах погрешности определения практически не зависит от температуры во всем исследованном ее интервале. Следует также отметить, что значения β_k для растворов исследованных ИЖ в ДМСО примерно в 2 раза больше, чем в АН. В разбавленных растворах ИЖ не наблюдается концентрационной зависимости β_k . Это означает, что величина β_k определяется только природой растворителя.

На основании результатов кондуктометрических исследований разбавленных растворов ИЖ в АН и ДМСО по уравнению Ли-Уитона были определены термодинамические параметры ассоциации (предельная молярная ЭП Λ_0 , константа ионной ассоциации K_a и расстояние наибольшего сближения ионов R), табл. 1. ЭП при бесконечном разведении Λ_0 исследуемых ИЖ в АН примерно в 4 – 5 раз выше, чем в ДМСО. Это может быть связано с тем, что вязкость АН существенно меньше вязкости ДМСО. Константа ассоциации K_a

исследуемых ИЖ в АН больше, чем в ДМСО. Это обусловлено, по-видимому, тем фактом, что статическая ДП ацетонитрила ниже, чем ДМСО.

Таблица 1

Расчетные значения K_a (л/моль), Λ_0 (См·см²/моль) и R (Å) ИЖ-2 в АН и ДМСО

t, °C	ИЖ-2 – АН			ИЖ-2 – ДМСО		
	Λ_0	K_a	R	Λ_0	K_a	R
20	186,2±1,0	79,5±3,8	4,5±0,3	37,10±0,07	19,7±3,9	2,0±0,5
25	195,3±1,2	83,0±4,1	4,3±0,3	40,98±0,08	20,1±3,5	2,1±0,5
30	204,7±1,4	85,7±4,3	4,2±0,3	44,99±0,09	20,4±3,4	2,1±0,4
35	214,2±1,5	89,2±4,7	4,1±0,3	49,13±0,10	20,7±3,3	2,0±0,4
40	224,0±1,7	92,6±5,0	4,1±0,3	53,40±0,11	20,9±3,2	2,0±0,4
45	234,0±1,8	96,0±5,2	4,0±0,3	57,80±0,12	21,3±3,3	2,0±0,4
50	244,1±1,9	99,0±5,5	3,9±0,3	62,32±0,13	21,5±3,4	2,1±0,4
55	254,5±2,0	102,8±5,6	3,9±0,3	66,98±0,13	21,8±3,4	2,1±0,4
60	265,0±2,1	105,5±7,7	3,8±0,3	71,77±0,14	22,0±3,5	2,1±0,4
65	275,8±2,2	109,3±5,8	3,6±0,3	76,69±0,15	22,3±3,6	1,8±0,4

В результате анализа температурной зависимости констант ассоциации, была проведена оценка энтальпии (ΔH°) и энтропий (ΔS°) ассоциации, табл. 2.

Таблица 2

Энтальпия ΔH° (кДж/моль) и энтропия ΔS° (Дж/моль·К) ассоциации ИЖ

ИЖ	АН		ДМСО	
	ΔH°	ΔS°	ΔH°	ΔS°
ИЖ-1	1,7±0,2	35±3	3,6±0,3	39±4
ИЖ-2	4,5±0,5	53±5	2,2±0,2	32±3

Энтальпия и энтропия ассоциации исследованных ИЖ в АН и ДМСО положительны.

Положительное значение энтропии ассоциации может быть связано с переходом в раствор молекул растворителя из сольватных оболочек ионов ИЖ при их ассоциации. В разбавленных растворах

исследуемые ИЖ являются слабо ассоциированными электролитами.

При повышении температуры удельная и молярная ЭП при бесконечном разведении возрастают прямо пропорционально предельной ВЧ ЭП растворителя κ_∞ рис. 3. Следовательно, температурная зависимость ЭП

исследованных ИЖ в АН и ДМСО определяется диэлектрическими свойствами самого растворителя.

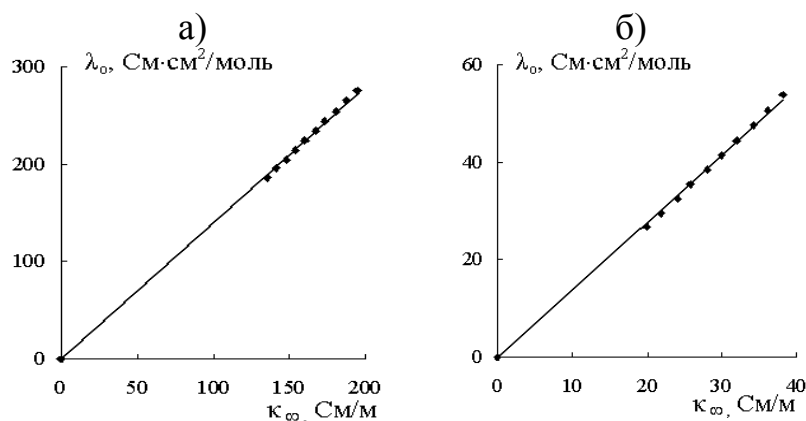


Рис. 3. Зависимость молярной ЭП при бесконечном разведении растворов ИЖ-2 в АН (а) и ИЖ-1 в ДМСО (б) от предельной ВЧ ЭП растворителя

Удельная ЭП концентрированных растворов ИЖ в АН и ДМСО увеличивается с ростом температуры и проходит через максимум при повышении концентрации, причем положение максимума удельной ЭП на оси концентраций не зависит от температуры, рис. 4. Максимум удельной ЭП растворов ИЖ-1 в АН наблюдается при концентрации $\approx 0,3$ моль/л, а в ДМСО – при $\approx 0,5$ моль/л. Максимуму удельной ЭП ИЖ-2 в АН соответствует концентрация $\approx 1,2$ моль/л, а в ДМСО ≈ 1 моль/л.

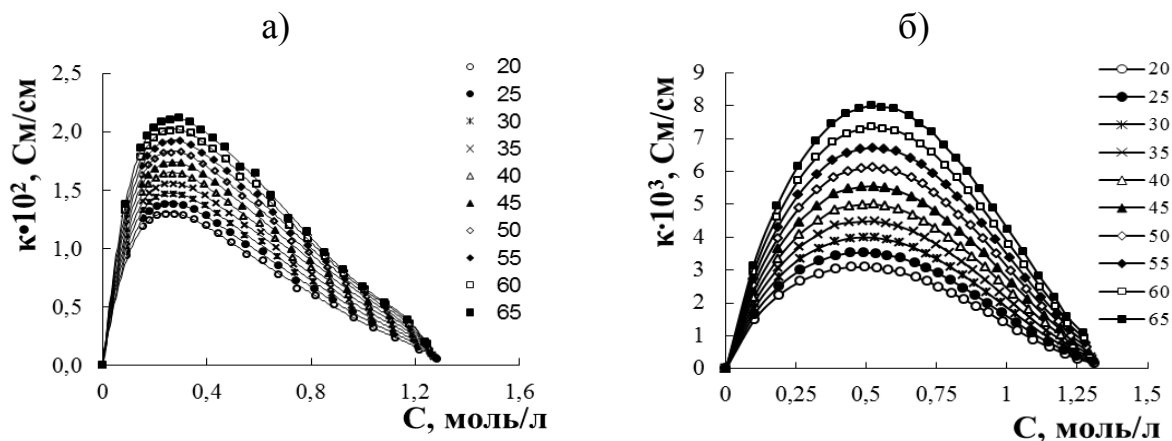


Рис. 4. Зависимость удельной ЭП растворов ИЖ-1 АН (а) и ДМСО (б) от концентрации; значения температур указаны на графиках

В разбавленных растворах ИЖ молекул растворителя достаточно для сольватации ионов и удельная ЭП повышается с ростом концентрации ИЖ. При концентрации ИЖ, превышающей концентрационный максимум, молекул растворителя уже не хватает для полной сольватации ионов ИЖ. В результате,

в растворе начинают протекать процессы ионной ассоциации и удельная ЭП уменьшается при повышении концентрации. В концентрированных растворах ИЖ относительный температурный коэффициент ЭП уменьшается с ростом температуры как в ДМСО, так и в АН и растет с увеличением концентрации в растворе. Увеличение β_k в концентрированных растворах ИЖ можно объяснить увеличением вязкости растворов.

Для обобщения результатов кондуктометрических исследований ЭП концентрированных растворов ИЖ в АН и ДМСО были использованы приведенная ЭП $\kappa/\kappa_{\max}$ и приведенная концентрация $c/c_{\max}$ – отношение концентрации раствора к её значению, соответствующему максимальной при данной температуре величине удельной ЭП $\kappa_{\max}$. Для всех исследованных растворов ИЖ в АН (рис. 5а) и ДМСО (рис. 5б) значения $\kappa/\kappa_{\max}$ укладываются на единую кривую. В результате обработки этих кривых были получены аналитические уравнения, позволяющие рассчитать ЭП растворов ИЖ в АН и ДМСО в исследуемом интервале температур и концентраций. Погрешность рассчитанных с использованием подобных уравнений величин удельной ЭП для всех исследованных растворов ИЖ не превышает 5%.

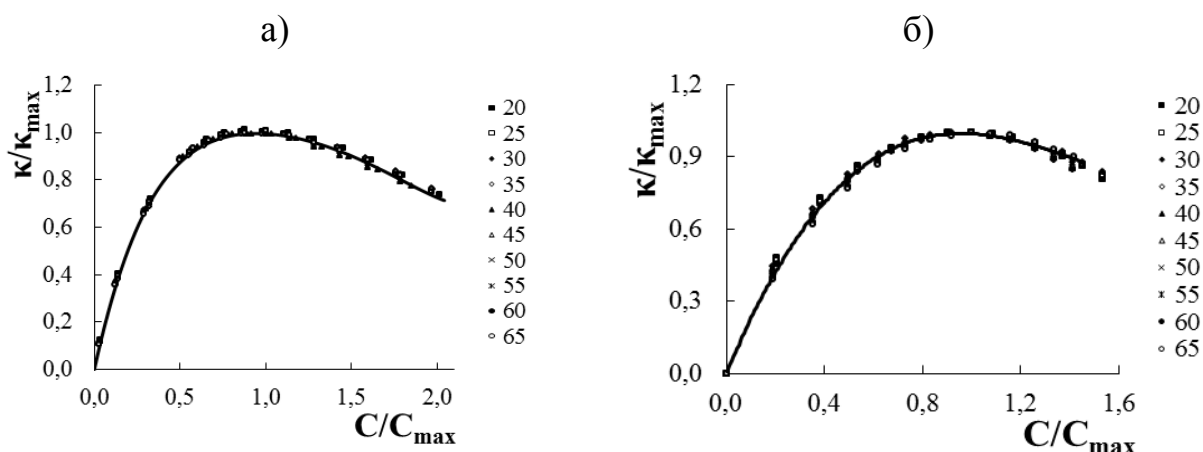


Рис. 5. Зависимость приведенной ЭП растворов ИЖ-1 в АН (а) и ДМСО (б) от приведенной концентрации; значения температур указаны на графиках

На кривую $\kappa/\kappa_{\max} - c/c_{\max}$ рис. 5а укладываются также значения приведенной ЭП для ацетонитрильных растворов других ионных жидкостей: 1-

бутил-3-метилимидазолий трифторметансульфоната (трифлата), 1-октил-3-метилимидазолий трифлата и 1-бутил-3-метилпиридидиний бис{(трифторметил)сульфонил}имида (всего более 500 значений $\kappa/\kappa_{\max}$).

2. Закономерности поглощения растворами микроволнового излучения.

При повышении концентрации скорость ВЧ нагревания исследуемых растворов ИЖ на частоте 2455 МГц проходит через максимум, положение которого совпадает с $c_{\max}$ удельной ЭП (рис. 6). Отсутствие литературных данных по диэлектрическим характеристикам рассматриваемых растворов не позволяет связать экстремумы на концентрационной зависимости скорости ВЧ нагрева с высокочастотной (ВЧ) проводимостью растворов.

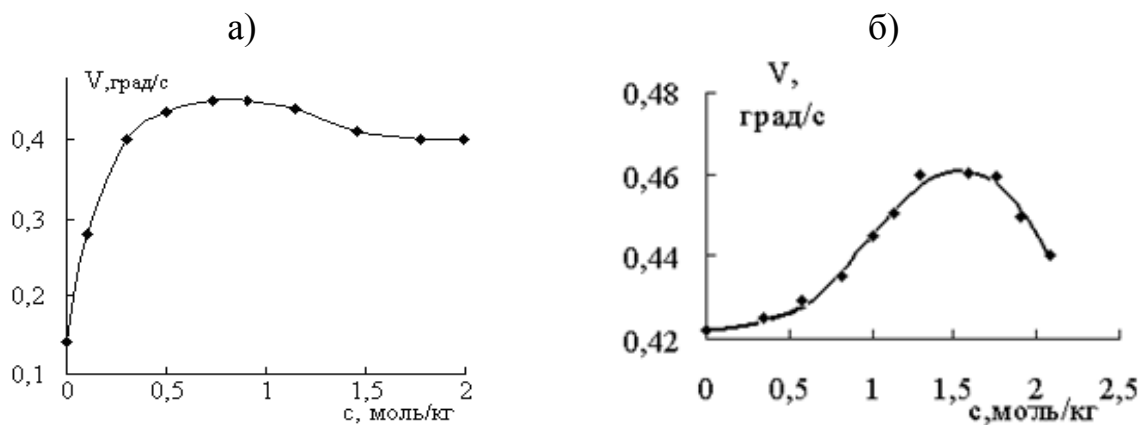


Рис. 6. Зависимость скорости ВЧ нагревания растворов ИЖ-2 в ацетонитриле (а) и ДМСО (б) от концентрации

Такое сравнение было приведено для водных растворов некоторых неэлектролитов (ацетона, АН, ДМСО, ДМФА) и электролитов (NaCl , MgCl_2 , KOH , H_2SO_4). Установлено, что при повышении содержания в этих смесях неэлектролита скорость ВЧ нагрева, как и в растворах ИЖ, проходит через максимум. В концентрированных растворах электролитов скорость ВЧ нагревания уменьшается с ростом концентрации. Максимальная скорость нагревания наблюдается в исследованных водных растворах при концентрациях (об.%) 30 ацетона, 40 ДМФА, 50 АН и 60 ДМСО (рис. 7).

Количество поглощаемой веществом энергии микроволнового излучения определяется не только скоростью ВЧ нагревания, но зависит также и от его теплоемкости. Чем меньше теплоемкость, тем быстрее повышается температура

при ВЧ облучении. Поэтому для оценки эффективности воздействия МВ излучения на процессы, протекающие в растворах, была проведена оценка количества теплоты Q , поглощаемой единицей объема раствора в единицу времени (одним см^3 раствора за одну секунду). В результате установлено, что

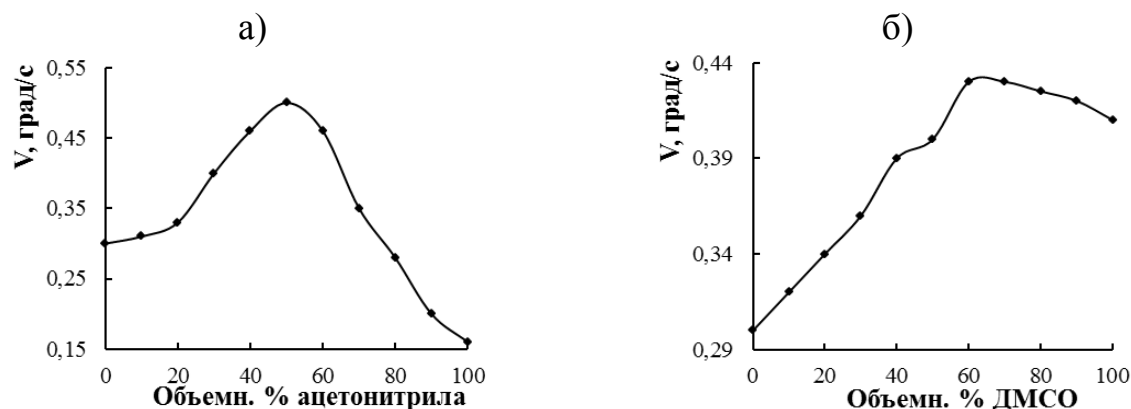


Рис. 7. Зависимость скорости ВЧ нагревания водных растворов АН (а) и ДМСО (б) от состава

зависимость количества теплоты Q от состава растворов неэлектролитов, как и скоростей ВЧ нагревания проходят через максимум, рис. 8а.

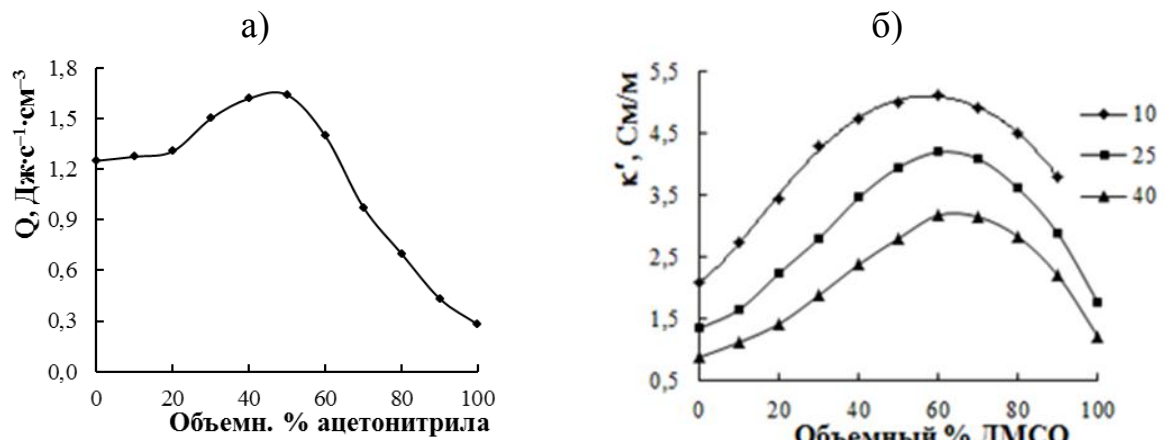


Рис. 8. Зависимости количества поглощенной теплоты Q водными растворами АН от состава (а) и зависимость ВЧ ЭП на частоте 2455 МГц водных растворов ДМСО от состава при температурах 10, 25 и 40 °С (б)

Для всех исследованных растворов с использованием литературных данных по диэлектрическим характеристикам при температурах 10, 25 и 40 °С была рассчитана высокочастотная (ВЧ) проводимость k' , рис. 8б. Сопоставив зависимости ВЧ ЭП k' на частоте 2455 МГц исследованных водных растворов и

скорости поглощения микроволнового излучения этими растворами (рис. 7, 8), можно сделать вывод о том, что экстремумы на рассматриваемых зависимостях по оси концентраций совпадают для всех растворов. Таким образом, максимальное поглощение энергии микроволнового излучения имеет место в растворах с наибольшей ВЧ проводимостью. Оптимальные условия микроволнового облучения будут реализованы при использовании растворов с наибольшей на данной частоте ВЧ электропроводностью.

ВЫВОДЫ

1. Впервые в широком интервале концентраций и температур определена электропроводность и термодинамические характеристики ассоциации растворов тригексилтетрадецилфосфоний бис{(трифторметил)}сульфонил}имида и 1-бутил-3-метилпиридиний хлорида в ацетонитриле и диметилсульфоксиде. Установлено, что ионные жидкости являются слабоассоциированными электролитами в растворах. Показано, что при повышении температуры удельная и молярная электропроводность разбавленных растворов исследованных ионных жидкостей возрастает прямо пропорционально предельной высокочастотной электропроводности растворителя.

2. Обобщены концентрационная и температурная зависимости удельной электропроводности концентрированных растворов исследованных ионных жидкостей в ацетонитриле и диметилсульфоксиде. Показано, что во всем исследованном интервале температур на единую кривую в координатах $\kappa/\kappa_{\max} - c/c_{\max}$ укладываются значения приведенной электропроводности рассматриваемых растворов ионных жидкостей. Получены аналитические зависимости, позволяющие с погрешностью, не превышающей 5 %, оценивать проводимость этих растворов.

3. На основе диэлектрических характеристик водных растворов электролитов и неэлектролитов определена их предельная высокочастотная электропроводность и высокочастотная электропроводность на частоте 2455

МГц. Показано, что добавление к воде электролитов и неэлектролитов приводит к снижению предельной высокочастотной электропроводности раствора. Высокочастотная электропроводность концентрированных водных растворов электролитов на частоте 2455 МГц уменьшается с ростом концентрации, а неэлектролитов проходит через максимум.

4. Впервые исследовано поглощение микроволнового излучения растворами исследованных ионных жидкостей в ацетонитриле и диметилсульфоксиде и рассчитаны скорости высокочастотного нагревания данных растворов, а также некоторых водных растворов электролитов и неэлектролитов на частоте 2455 МГц.

5. Установлено, что при увеличении концентрации 1-бутил-3-метилпиридиний хлорида и неэлектролитов в растворе скорость высокочастотного нагревания на частоте 2455 МГц проходит через максимум, положение которого совпадает с концентрационным максимумом электропроводности, а концентрированных растворов электролитов — уменьшается.

6. Показано, что скорость микроволнового нагрева исследованных растворов электролитов и неэлектролитов максимальна в растворах, обладающих наибольшей высокочастотной электропроводностью. Определены оптимальные условия высокочастотного облучения растворов.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях

а) Статьи, рекомендованные ВАК РФ

1. Щербаков В.В., Артёмкина Ю.М., Короткова Е.Н. Высокочастотная электропроводность смесей воды с ацетоном, диметилсульфоксидом и карбамидом. //Электрохимия. 2014. Т. 50. № 3. С. 322-325.
2. Щербаков В.В., Артемкина Ю.М., Короткова Е.Н. Диэлектрические свойства и высокочастотная проводимость системы хлорид натрия — вода. //Журнал неорганической химии. 2014. Т.59. № 9. С. 1153-1157.

3. Артемкина Ю.М., Ермаков В.И., Коваленко Л.В., **Короткова Е.Н.**, Поливанова А.Г., Щербаков В.В. Особенности поглощения электромагнитной энергии водными растворами на частоте 2455 МГц. I. Растворы электролитов. //Известия вузов. Химия и химическая технология. 2014. Т. 57. Вып. 6. С. 86-89.
4. **Короткова Е.Н.**, Поливанова А.Г., Коваленко Л.В., Артемкина Ю.М., Щербаков В.В. Особенности поглощения электромагнитной энергии водными растворами на частоте 2455 МГц. II. Растворы неэлектролитов. //Известия вузов. Химия и химическая технология. 2014. Т. 57. Вып. 7. С. 66-69.
5. Артёмкина Ю.М., Щербаков В.В., **Короткова Е.Н.** Высокочастотная электропроводность смесей воды с метанолом, этанолом и пропанолом. //Электрохимия. 2015. Т. 51. № 2. С. 211-216.
6. Артемкина Ю.М., Коваленко Л.В., **Короткова Е.Н.**, Поливанова А.Г., Щербаков В.В. Особенности поглощения микроволновой энергии некоторыми полярными растворителями на частоте 2455 МГц. //Известия вузов. Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. Вып. 3. С. 35-38.

б) Статьи в других изданиях

1. Артемкина Ю.М., **Короткова Е.Н.**, Загоскин Ю.Д. Электропроводность концентрированных растворов тригексилтетрадецилфосфоний бис{(трифторметил)}сульфонил}амида в ацетонитриле. // В сб. научн. трудов «Успехи в химии и химической технологии». М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2012. Т. 26. № 2. С. 17-21.
2. Артемкина Ю.М., **Короткова Е.Н.**, Плешкова Н.В., Седдон К.Р., Чумак В.Л., Щербаков В.В. Ассоциация три-гексилтетрадецилфосфоний бис{(трифторметил) сульфонил} амида в ацетонитриле по данным кондуктометрических измерений. //В сб. научн. трудов «Успехи в химии и химической технологии». М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2014. Т. 28. № 2 (151). С. 100-102.