

УДК 535.343+533.74

**И. С. ПЕРЕЛЫГИН**, А. А. КЛИМЧУК, Л. В. РАБЧУК**РОЛЬ МОЛЕКУЛ СРЕДЫ В ПРОЦЕССАХ ИОН-МОЛЕКУЛЯРНЫХ И МЕЖИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ**

Методом инфракрасных спектров поглощения по полосам анионов и молекул растворителей, наиболее чувствительным к ион-молекулярным и межионным взаимодействиям, изучено влияние природы растворителя на ассоциацию и сольватацию ионов в растворах солей щелочных и щелочноземельных элементов в широком наборе апротонных растворителей различной физико-химической природы. Исследованы влияние различных по значению диэлектрических проницаемостей и электронодонорных способностей молекул растворителей на многообразие структур, реализующихся в растворах ионных ассоциатов и сольватов, зависимости многообразия и их относительного содержания от концентрации и температуры растворов. Межмолекулярные, ион-молекулярные взаимодействия; ассоциация, сольватация ионов; валентные, деформационные колебания; электронодонорные способности

**ВВЕДЕНИЕ**

Физические и химические свойства растворов определяются строением образующих растворы частиц и природой сил, действующих между ними. Понимание природы и особенностей влияния среды на взаимодействие частиц и конденсированное состояние вещества представляет фундаментальный интерес для многих разделов естествознания (молекулярной физики, биологии, химии, медицины). В исследовании этого влияния спектроскопические методы являются наиболее информативными, поскольку информация о природе влияния апротонного растворителя на ассоциацию и сольватацию ионов может содержаться как в изменениях при растворении солей ИК-спектра растворителя, так и в спектре многоатомного аниона [1–3]. При этом влияние межмолекулярных взаимодействий, как правило, незначительно, что позволяет получать отчетливые проявления в спектрах ион-молекулярных и ион-ионных взаимодействий в исследованных растворах.

В настоящей работе изложены результаты исследования влияния природы растворителя на ассоциацию и сольватацию ионов по ИК-полосам поглощения многоатомных анионов ( $\text{NCS}^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{CF}_3\text{SO}_3^-$ ,  $\text{BF}_4^-$ ,  $\text{AsF}_6^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PF}_6^-$ ) и молекул растворителей, наиболее чувствительным к межионным и ион-молекулярным взаимодействиям в растворах солей щелочных и щелочноземельных эле-

ментов в широком наборе апротонных растворителей различной физико-химической природы. При оценке роли растворителя в процессах ассоциации и сольватации ионов были использованы электронодонорные способности молекул и ионов, оцениваемые донорным числом Гутмана ( $DN_{\text{SbCl}_5}$ ) и полярности апротонных растворителей. Существует универсальная шкала полярностей апротонных растворителей, однако с достаточной долей приближения их можно связать с диэлектрическими проницаемостями ( $\epsilon$ ) растворителей. В исследованном наборе растворителей донорные числа варьировались от 38 до 2,7, диэлектрические проницаемости от 65 до 4,2.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Анионы симметрии  $T_d$  ( $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{BF}_4^-$ ) имеют четыре нормальных колебания, из которых в ИК-спектре активны два — трижды вырожденные валентное  $\nu_3$  и деформационное  $\nu_4$ . Образование анионом направленной ковалентной или координационной связи через один или два атома кислорода искажает его тетраэдрическую симметрию. При монодентатной координации одна из его связей становится неравноценной двум другим и число частот в спектре возрастает до 6 (симметрия  $C_{3V}$ ), а при бидентатной координации две связи неравноценны двум другим и в спектре наблюдаются 9 частот нормальных колебаний (симметрия  $C_{2V}$ ). При координа-



ции катионом спектры анионов  $\text{ClO}_4^-$  и  $\text{BF}_4^-$  существенно изменяются в зависимости от природы растворителя и катиона растворённой соли. В растворах перхлоратов лития, натрия, магния и тетрафторбората лития в диметилформамиде (ДМФ) [4], диметилсульфоксиде (ДМСО) [5], тетрафторбората лития в пропиленкарбонате (ПК) [6] они содержат только полосы, соответствующие симметрии  $T_d$ , положение и форма которых не меняются при варьировании концентрации растворов и природы катиона, что свидетельствует об их полной диссоциации. К подобным выводам приводят исследования этих растворов другими методами [7–9]. В спектрах растворов  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{NaClO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$  в ацетоне (АЦ), [10, 11], ацетонитриле (АН) [12, 13], трибутилфосфате (ТБФ) [14], ПК [15],  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{NaClO}_4$  в пиридине (ПР) [16], тетраметилсульфоне (ТМС) [17],  $\text{LiBF}_4$  в АН, ПР,  $\gamma$ -бутиролактоне (БЛ) [18], *n*-бутилформиате (БФ) [19], наряду с полосами, наблюдаемыми в спектрах разбавленных растворов, положение которых мало зависит от природы растворителя и которые обусловлены поглощением анионов, симметрично окруженных молекулами растворителя (свободными анионами), появляются новые полосы вследствие расщепления полос вырожденных колебаний  $\nu_3$  и  $\nu_4$  в процессе взаимодействия аниона с катионом с образованием контактной ионной пары. В спектрах анионов в растворах  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{NaClO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$  в этилацетоне (ЭЛ) [20], диэтиловом эфире (ДЭЭ) [21],  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{Na}(\text{ClO}_4)$  в тетрагидрофуране (ТГФ) [22],  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$  в нитрометане (НМ) [23] в разбавленных растворах набор полос отвечает поглощению анионов, входящих в состав контактных ионных пар, а в концентрированных растворах наряду с указанным набором появляются новые полосы, обусловленные поглощением анионов, входящих в состав ионных тройников  $\text{Me}^+ \dots \text{A}^- \dots \text{Me}^+$  и  $\text{A}^- \dots \text{Me}^+ \dots \text{A}^-$  либо квадруполей (двух ассоциированных ионных пар)  $(\text{Me}^+ \dots \text{A}^-)_2$ . В спектрах конденсированных растворов  $\text{LiBF}_4$  в АЦ, ТГФ, БФ, 1,2-диметоксиэтаноле (ДМЭ), 1,3-диоксолане (ДОЛ) [6, 18] наряду с полосами анионов, входящих в ионные пары, появляются полосы ионных тройников.

Плоские четырёхатомные анионы  $D_{3h}(\text{NO}_3^-)$  имеют в ИК-спектре три активных колебания: внеплоскостное деформационное  $\nu_2$  и дважды вырожденные валентное  $\nu_3$  и плоскостное деформационное  $\nu_4$ . При образовании анионом направленной связи с

одним или двумя анионами одна из связей становится неравноценной двум другим, симметрия аниона понижается до  $C_{2v}$  или  $C_s$ , что вызывает снятие вырождения с колебаний  $\nu_3$  и  $\nu_4$  и появление запрещённого полносимметричного колебания  $\nu_1$ , вследствие чего число полос возрастает до шести.

В спектрах разбавленных растворов нитратов лития, натрия, магния и кальция в диметилформамиде [24] и диметилсульфоксиде [25] наблюдаемые в областях колебаний  $\nu_2$  и  $\nu_3$  полосы соответствуют свободному нитрат-иону. В концентрированных растворах наряду с указанными наблюдаются дополнительные полосы, соответствующие поглощению анионов, монодентантно координированных с катионами с образованием контактных ионных пар ( $\text{LiNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ ) либо контактных ионных пар и ионных тройников ( $\text{A}^- \dots \text{Me}^{2+} \dots \text{A}^-$ ) ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ). В растворах  $\text{LiNO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  в АН [25], АЦ [26], ПР [27], ТГФ [28], ТБФ [14], ТМС [17], БЛ [18] ионы полностью ассоциированы, причём  $\text{LiNO}_3$  преимущественно в виде ионных пар, тройников и квадруполей,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  в ПР, ТГФ и ТМС — в виде нейтральных ионных тройников, а  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  — в виде тройников и агрегатов из двух ассоциированных тройников (своеобразных квадруполей).

Линейный анион  $\text{NCS}^-$  обладает симметрией  $C_{\infty v}$  и имеет в ИК-спектре три активных колебания: валентное  $\nu_1$  и  $\nu_3$  и дважды вырожденное деформационное  $\nu_2$ . Исследования показали, что в растворах тиоцианатов щелочных и щелочноземельных металлов в апротонных растворителях частоты колебаний иона  $\text{NCS}^-$ , возмущённого межйонным взаимодействием, отличаются от частот колебаний свободного аниона и зависят от типа образуемых анионами ассоциатов и способа координации, которая может осуществляться либо через атом азота, либо атом серы, либо через оба указанных атома одновременно.

В спектрах поглощения иона  $\text{NCS}^-$  — в спектрах разбавленных растворов  $\text{LiNCS}$ ,  $\text{NaNCS}$ ,  $\text{KNCS}$ ,  $\text{Ca}(\text{NCS})_2$  и  $\text{Ba}(\text{NCS})_2$  — в ДМФ [29] наблюдаются одиночные полосы, обусловленные поглощением свободных тиоцианат-ионов. При увеличении концентрации солей появляется новый набор полос, зависящий от катиона растворённой соли и свидетельствующий об одинаковом возмущении аниона в растворах солей с одно- и двухзарядным катионом. Такое взаимодействие реализуется в контактных парах  $\text{NCS}^- \dots \text{Me}^+$  и нейтральных тройниках



Таблица 1

## Типы ионных ассоциатов, реализующихся в растворах солей лития в апротонных растворителях

Растворитель	$\epsilon$	$\mu, D$	$DN_{SbCl_5}$	Соль						
				LiClO <sub>4</sub>	LiBF <sub>4</sub>	LiNO <sub>3</sub>	LiNCS	LiAsF <sub>6</sub>	LiPF <sub>6</sub>	LiCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>
ПК.....	64,0	5,2	15,1	С,П	С	—	С,П,К	—	—	С,П
ДМСО.....	46,7	3,9	29,8	С	С	С,П	—	—	С,П	—
ТМС.....	43,3	4,81	14,8	С,П	—	П	С,П	—	—	—
$\gamma$ -БЛ.....	40,0	3,97	16,0	С,П	С,П	П	С,П,Т	С,П	—	П
ДМФ.....	36,7	3,82	26,6	С	С	С,П	—	С,П,Т	С,П	С,П
НМ.....	36,7	3,54	2,7	П,Т,К	—	—	П,Т,К	С,П	С,П,Т	—
АН.....	36,0	3,44	14,1	С,П	С,П	—	С,П,К	С,П	С,П	С,П,Т
АЦ.....	20,7	2,88	17,0	С,П	С,П,Т	П,Т	С,П,К	С,П,Т	С,П	С,П,Т
ПР.....	12,3	2,2	33,1	С,П	С,П	П,Т	П,Т,К	—	—	С,П,Т
ТГФ.....	7,4	1,7	20,0	П,Т,К	С,П,Т	П,Т	П,Т,К	С,П	С,П,Т	П,Т
ДМЭ.....	7,0	—	24,0	П	С,П,Т	—	—	С,П	—	С,П
1,3-ДОЛ..	7,0	1,4	14,0	П	С,П,Т	—	П,Т,К	С,П,Т	С,П	П,Т
ТБФ.....	6,8	3,07	23,7	С,П	—	П,Т	П,Т	С,П	—	—
ЭА.....	6,0	1,74	17,1	П,Т	С,П,Т	—	П,Т,К	С,П,Т	—	—
н-БФ.....	8,0	—	9,0	С,П	С,П,Т	—	Т,К,А	С,П,Т	С,П	—
ДЭЭ.....	4,2	1,2	19,2	П,Т	—	—	Т,К,О	С,П,Т	—	—

С — свободные ионы; П — контактные ионные пары; Т — ионные тройники

SCN<sup>-</sup>...Me<sup>2+</sup>...NCS<sup>-</sup>. В растворах тиоцианатов щелочных и щелочноземельных металлов в ПК [15], ТМС [17], АН, АЦ [28] наряду со свободными ионами NCS<sup>-</sup> присутствуют контактные ионные пары, а в концентрированных растворах — и квадруполь. В спектрах указанных солей в ПР [30], ТБФ [14], ЭА [20], ДОЛ [31], БФ [19], ДЭЭ [21], НМ [23] реализуются преимущественно контактные ионные пары, в случае Ca(NCS<sup>-</sup>)<sub>2</sub> — нейтральные тройники; с повышением концен-

трации солей в НМ, ЭА, ДЭЭ доля квадруполей преобладает над долей ионных пар, а в растворах LiNCS в ДЭЭ появляются ионные ассоциаты в виде двух ассоциированных квадруполь-октуполи.

Свободный ион CF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub><sup>-</sup> обладает симметрией C<sub>3v</sub>. В его ИК-спектре активны симметричное и антисимметричное валентные S—O, C—F, C—S, деформационные O—S—O и F—C—F колебания [32]. Под влиянием взаимодействия с катионом понижается симметрия ани-

Таблица 2

## Константы образования ионных пар в растворах солей лития в апротонных растворителях

Растворитель	$\epsilon$	$DN_{SbCl_5}$	$K_a, \text{моль}^{-1}$					
			LiClO <sub>4</sub>	LiNCS	LiBF <sub>4</sub>	LiAsF <sub>6</sub>	LiPF <sub>6</sub>	LiCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>
ПК.....	65	15,1	—	—	—	—	—	2,5
ДМСО	46,7	29,8	—	—	—	—	0,35	—
ГМС.....	43,3	14,8	2,7	6,9	—	—	—	—
НМ.....	36,7	2,7	—	—	—	1,37	1,66	—
АН.....	36,7	14,1	0,7	—	0,29	0,27	0,41	14,4
АЦ.....	20,7	17,0	0,31	—	—	—	0,18	12,6
ПР.....	12,3	33,1	1,72	—	0,98	—	—	23,6
ТГФ.....	7,4	20,0	—	—	—	0,84	0,90	—
ТБФ.....	6,8	23,7	—	7,2	—	0,55	—	—
ДОЛ.....	7,0	14,0	—	—	—	—	2,26	—



она, вследствие чего происходит расщепление полос вырожденных колебаний и смещение полос невырожденных колебаний вследствие изменения силовых постоянных связей. В разбавленных растворах  $\text{LiCF}_3\text{SO}_3$  в ДМФ и ДМСО [33, 34] ионы неассоциированы, однако с увеличением концентрации раствора появляются контактные ионные пары, а в концентрированных растворах — и ионные тройники.  $\text{LiCF}_3\text{SO}_3$  в растворах в ТГФ и ДОЛ [33–35] полностью ассоциированы в виде ионных пар и тройников.

Анионы октаэдрической симметрии ( $\text{PF}_6^-$ ,  $\text{AsF}_6^-$ ) имеют в ИК-спектре два активных колебания: трижды вырожденные валентное  $\nu_3$  и деформационное  $\nu_2$ . При взаимодействии с катионом симметрия аниона понижается, что приводит к снятию вырождения и появлению в спектре большего числа полос, особенно в области валентного колебания  $\nu_3$  аниона, чем можно наблюдать для свободного (окруженного только молекулами растворителя) иона. В разбавленных растворах  $\text{LiAsF}_6$  в АЦ, АН, БЛ [36],  $\text{LiPF}_6$  и  $\text{NaPF}_6$  в ДМСО, ДМФ, АЦ, АН [37] ионы ассоциированы в незначительной степени. В разбавленных растворах указанных солей в НМ, ТГФ, ДОЛ,  $\text{LiAsF}_6$  в ДМЭ, ТБФ, ЭА наряду со свободными ионами появляются контактные ионные пары, а в случае разбавленных растворов  $\text{LiAsF}_6$  в ДЭЭ ионы полностью ассоциированы в виде ионных пар. В растворах  $\text{LiPF}_6$  и  $\text{NaPF}_6$  в АН и АЦ контактные ионные пары присутствуют только в наиболее концентрированных растворах. В концентрированных растворах же  $\text{LiAsF}_6$ ,  $\text{NaPF}_6$ ,  $\text{LiPF}_6$  в ТГФ, НМ,  $\text{LiAsF}_6$  в АЦ, ТБФ, ЭА, ДМЭ наряду с контактными ионными парами присутствуют и ионные тройники.

Варьирование температуры растворов, как правило, приводит к изменению соотношения ионных ассоциатов в растворах: с повышением температуры доля либо ионных пар, либо более сложных ионных ассоциатов возрастает, с понижением температуры — уменьшается.

Ион-молекулярные взаимодействия в ИК-спектрах молекул апротонных растворителей в растворах солей щелочных и щелочноземельных металлов проявляются, как правило, на полосах поглощения колебаний с участием атомов функциональных групп, наиболее чувствительных к этому типу взаимодействия, в виде появления новых, смещенных относительно первоначального положения, полос. Положение полос не меняется при

варьировании концентрации и температуры раствора, но зависит от природы катиона, точнее, от его координирующей способности [4–16, 13, 14–20, 31]. Влияние природы многоатомного аниона на положение смещенных полос невелико [4, 5, 15, 25]. Изменение температуры растворов солей в апротонных растворителях приводит лишь к изменению соотношения интенсивностей полос поглощения молекул, взаимодействующих и не взаимодействующих с катионами. При повышении температуры интенсивности смещенных полос, пропорциональные количеству взаимодействующих молекул, растут, при понижении — уменьшаются [16], что обусловлено изменением ассоциации ионов, а именно, увеличением доли ионных пар или более сложных ионных ассоциатов при увеличении температуры раствора по сравнению с долей свободных ионов или ионных пар. Величины смещения полос поглощения растворителей под влиянием взаимодействия с катионами растворенных солей коррелируют с электронодонорными способностями молекул апротонных растворителей [30] и практически не зависят от структуры ионного ассоциата, с которым взаимодействует молекула. Характер изменений, наблюдаемых в спектрах апротонных растворителей под влиянием ион-молекулярного взаимодействия, позволяет заключить, что состояние молекул, сольватирующих катионы, существенно отличается от их состояния в чистом растворителе, состояние же молекул, сольватирующих катионы, входящие в состав различных ионных ассоциатов, мало отличается от состояния молекул, сольватирующих свободные катионы.

Влияние природы растворителя на рассматриваемые взаимодействия на основе сравнительной характеристики можно оценить как по многообразию образующихся в растворах солей ионных ассоциатов (табл. 1), так и количественно по константам ассоциации. Как было отмечено выше, в спектрах исследованных растворов образование межионных ассоциатов приводит к расщеплению ИК-полос валентных и деформационных колебаний многоатомных анионов. Поэтому количественный анализ вновь появившихся полос в ряде случаев позволяет определить концентрации ионных ассоциатов и определить спектроскопические константы ассоциации. Для сравнения в табл. 2 приведены константы образования ионных пар



$$K_a^c = \frac{C_n}{(C_o - C_n)^2},$$

где  $C_o$  — исходная концентрация соли в растворе, в растворах ряда солей лития в интервалах концентраций, при которых в растворе существует равновесие между свободными сольватированными ионами и ионными парами.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов, приведенных в табл. 1 и 2, показывает, что ассоциация ионов увеличивается с уменьшением  $\epsilon$  растворителя при условии, что электронодонорные способности молекул растворителей соизмеримы. Эта закономерность прослеживается, например, в растворах  $\text{LiCF}_3\text{SO}_3$  в ПК и АЦ, ДМСО и ПР,  $\text{LiPF}_6$  в АН и ДОЛ. Однако в растворах  $\text{LiClO}_4$  в АН и ТМС, электронодонорные способности молекул которых близки, а  $\epsilon^{\text{ТМС}}$  выше, чем  $\epsilon^{\text{АН}}$ , ассоциация ионов сильнее в растворах ТМС ( $K_a^{\text{ТМС}} > K_a^{\text{АН}}$ ), что можно объяснить предпочтительной сольватацией ионов лития молекулами АН, поскольку в силу различия дипольных моментов молекул ( $\mu^{\text{ТМС}} > \mu^{\text{АН}}$ ) межмолекулярное взаимодействие в ТМС сильнее, чем в АН. В растворах же  $\text{LiClO}_4$  в АН и НМ, ЭА и ТБФ,  $\text{LiNCS}$  в АН и НМ, ТГФ и БФ,  $\text{LiAsF}_6$  в ТГФ и н-БФ при соизмеримых в парах растворителей  $\epsilon$ , но различающихся электронодонорными способностями их молекул, ассоциация ионов тем сильнее, чем ниже электронодонорная способность растворителя, что проявляется в появлении в растворе более сложных ионных ассоциатов и увеличении их доли (табл. 1). В растворах  $\text{LiPF}_6$  в НМ и АН, ТГФ и ДОЛ указанная закономерность проявляется в увеличении константы ассоциации при переходе к раствору с меньшей электронодонорной способностью (табл. 2).

Из приведенных сопоставлений можно заключить, что  $\epsilon$  растворителя оказывает относительно слабое влияние на ассоциацию ионов по сравнению с электронодонорной способностью его молекул. Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что в пределах одного и того же растворителя (АН, ПР) константы ассоциации растут



т.е. симбатно увеличению электронодонорной способности аниона. Можно заключить,

что анионы с высокой электронодонорной способностью конкурируют с молекулами растворителя за место в координационной сфере катионов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельгин И. С. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1976. Т. 19, № 6. С. 828.
2. Крестов Г. А., Новосёлов Н. П., Перельгин И. С. и др. Ионная сольватация. М.: Наука. 1987. 320 с.
3. Krestov G. A., Novoselov N. P., Perelygin J. S. et al. *Jonic Solvation*. New York, London, Toronto, Tokyo: Ellis Horwood, 1994. 347 p.
4. Перельгин И. С., Осипов В. С. // ЖФХ. 1979. Т. 53, № 7. С. 1827.
5. Перельгин И. С., Ямиданов С. Я. // ЖФХ. 1979. № 9. С. 2371.
6. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖПС. 1989. Т. 50. С. 280.
7. Maxey V. W., Popov A. J. // Amer. Chem. Soc. 1969. V. 91, No 1. P. 20.
8. Cahen I. M., Handy P. R., Roach E. T., Popov A. I. // J. Phys. Chem. 1975. V. 79, No 1. P. 80.
9. Greeberg M. S., Bonder H. L. J. // Phys. Chem. 1973. V. 77, No 20. P. 2449.
10. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖФХ. 1974. Т. 48, № 10. С. 2481.
11. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖФХ. 1975. Т. 49, № 10. С. 138.
12. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖФХ. 1989. Т. 63, № 1. С. 259.
13. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖФХ. 1973. Т. 47, № 8. С. 2025; № 10. С. 2486.
14. Перельгин И. С., Климчук М. А., Селезнева О. А. // ЖПС. 1984. Т. 41, № 5. С. 790.
15. Перельгин И. С., Климчук М. А., Смольская Е. Л. // ЖФХ. 1987. Т. 61, № 1. С. 101.
16. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖФХ. 1976. Т. 50, № 12. С. 3126.
17. Перельгин И. С., Климчук М. А., Валеева А. А. // ЖФХ. 1987. Т. 61, № 3. С. 671–677.
18. Перельгин И. С., Климчук М. А., Плахотник В. М., Товмаш Н. Ф. // ЖНЗ. 1989. Т. 34, № 9. С. 2296.
19. Перельгин И. С., Климчук М. А., Рабчук Л. В. // Коорд. химия. 1992. Т. 18, № 9. С. 917.
20. Перельгин И. С., Климчук М. А., Валеева А. А. // ЖФХ. 1984. Т. 58, № 9. С. 2208.
21. Перельгин И. С., Климчук М. А., Валеева А. А. Современные проблемы термодинамики растворов. М.: МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1985. Вып. 136.
22. Перельгин И. С., Ямиданов С. Я. // ЖФХ. 1978. Т. 52, № 5. С. 1297.



23. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖПС. 1982. Т. 36, № 57. С. 761.
24. Перельгин И. С., Осипов В. С. // ЖФХ. 1983. Т. 57, № 1. С. 106.
25. Перельгин И. С., Белобородова Н. Н. // ЖФХ. 1980. Т. 54, № 11. С. 2068.
26. Перельгин И. С., Климчук М. А., Белобородова Н. Н. // ЖНХ. 1981. Т. 26, № 1. С. 53.
27. Перельгин И. С., Климчук М. А., Белобородова Н. Н. // ЖСХ. 1985. Т. 26, № 3.
28. Перельгин И. С., Климчук М. А., Белобородова Н. Н. // ЖПС. 1980. Т. 32, № 4. С. 635–640.
29. Перельгин И. С., Осипов В. С., Грязнов С. И. // ЖФХ. 1985. Т. 59, № 10. С. 2455.
30. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖСХ. 1983. Т. 24, № 5. С. 67.
31. Перельгин И. С., Климчук М. А., Рабчук Л. В. // Коорд. химия. 1990. Т. 16, № 10. С. 1322.
32. Varetti E. L. // Spectrochim. Acta. 1988. V. 44, No 7. P. 773.
33. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖПС. 1991. Т. 55, № 3. С. 382.
34. Перельгин И. С., Климчук М. А. // ЖНС. 1991. Т. 36, № 9. С. 2425.
35. Перельгин И. С., Климчук М. А., Рабчук Л. В. // Коорд. химия. 1990. Т. 16, № 10. С. 1322.
36. Перельгин И. С., Климчук М. А. // Коорд. химия. 1990. Т. 16, № 8. С. 1044.
37. Перельгин И. С., Климчук М. А., Рабчук Л. В., Чаукина Л. В. // ЖФХ. 1994. Т. 68, № 1. С. 52.

## ОБ АВТОРАХ



**Перельгин Игорь Сергеевич (1937–2002)**, профессор, акад. РАЕН, засл. деятель науки РФ. Дипл. физик (КГУ, 1962). Д-р хим. наук (защ. в Ин-те химии растворов РАН, 1974). Исследования в области взаимодействия и динамики молекул и ионов в жидкостях и растворах.



**Климчук Маргарита Алексеевна**, доцент кафедры общей физики УГАТУ. Дипл. химик (БГУ, 1968). Канд. хим. наук по физической химии (БашФАН, 1974). Исследования в области спектроскопии межмолекулярных, ион-молекулярных и межионных взаимодействий.



**Рабчук Людмила Васильевна**, доцент той же кафедры. Дипл. химик (МГУ, 1983). Канд. хим. наук по физической химии (РХГУ им. Д. И. Менделеева, 1996). Исследования в области сольватации и ассоциации ионов в апротонных растворителях.