

УДК 544.6

*А.П. Гердт, И.Е. Стась, Н.В. Аксенова***Влияние высокочастотного электромагнитного поля на свойства растворов хлоридов щелочных металлов***A.P. Gerdt, I.E. Stas, N.V. Aksenova***The Influence of High Frequency Electromagnetic Field on the Properties of Alkaline Metal Chloride Solutions**

В результате исследований показано, что свойства растворов электролитов изменяются под действием электромагнитного поля. Выявлено, что изменение свойств зависит от частоты поля, природы электролита и времени экспозиции.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, растворы электролитов, частота, электропроводность, гидратация.

Большинство химических реакций, используемых в химической, фармацевтической, пищевой, металлургической и других отраслях промышленности, проходит в растворах. Оптимизация существующих технологий и создание новых требуют в каждом случае сведений о механизмах элементарных процессов, их проявлений в макроскопических неравновесных условиях и т.д. С 80-х гг. прошлого века большое внимание уделяется изучению свойств растворов электролитов, подвергшихся различного рода воздействиям, например, ультразвука, магнитного и электромагнитного полей [1, с. 5; 2, с. 15].

Цель работы – изучение влияния высокочастотного электромагнитного (ВЧЭМ) поля на удельную электропроводность разбавленных растворов солей щелочных металлов, а также расчет на основании экспериментальных данных таких свойств ионов, как предельная подвижность, коэффициент диффузии, числа переноса.

Источником высокочастотного поля являлся генератор высокочастотного сигнала ГЗ-19А, его выходная мощность – 1 Вт, диапазон частот – 30–200 МГц. Облучение растворов солей проводили в ячейке емкостного типа объемом 20 мл, изготовленной из тефлона. Внешним высокочастотным электродом служил алюминиевый стаканчик, плотно прилегающий к наружной поверхности ячейки. Внутренний медный электрод, помещенный в полый тефлоновый стержень, располагался в центре ячейки. Вывод электродов осуществлялся через дно ячейки. Измерения электропроводности проводили на кондуктометре ОК-102/1 с электродами из платинированной платины.

В качестве объектов исследования выбраны растворы хлоридов лития, натрия, калия и цезия. Согласно представлениям О.Я. Самойлова, первые два

As a result of our researches it was shown, that properties of the electrolyte solutions change under influence of the electromagnetic field. It was shown, that the degree of change of properties depends on the field frequency, electrolyte nature and exposition time.

**Key words:** electromagnetic field, electrolyte solutions, frequency, conductivity, hydration.

катиона обладают положительной гидратацией, а  $K^+$ ,  $Cs^+$  – отрицательной. Ионы хлора, по этой же теории, гидратированы отрицательно [3, с. 83]. Таким образом, можно было оценить эффективность облучения растворов с различным типом гидратации. В работе использовали главным образом растворы с концентрацией  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  моль/л, чтобы можно было пренебречь ион-ионным взаимодействием. На рисунке 1 представлены экспериментальные значения проводимости миллимолярных растворов указанных солей. Видно, что соли, содержащие положительно гидратированные ионы, имеют существенно более низкую электропроводность. Исходя из предположения о том, что в результате электромагнитного воздействия возможно ослабление ион-дипольного взаимодействия, что должно сказаться на подвижности ионов, следовало ожидать наибольшего влияния поля на растворы солей лития и натрия. Действительно, максимальное увеличение электропроводности миллимолярных растворов наблюдается в случае хлоридов лития и натрия (на 11 и 27% соответственно). Для солей калия и цезия изменение проводимости выражено незначительно. Что касается характера зависимости электропроводности от частоты, то для солей лития и натрия наблюдаются четко выраженные максимумы, в то время как для солей калия и цезия отмечены лишь незначительные колебания измеряемой величины (рис. 2).

На растворы электролитов воздействовали полем в диапазоне 70–200 МГц, так как ранее было установлено, что при более низких частотах влияние поля на воду выражено в меньшей степени [4, с. 305]. Максимальное увеличение электропроводности воды (в 5–10 раз) наблюдалось в результате воздействия поля частотой 110, 150 и 170 МГц. Как видно из таблицы 1, частоты, соответствующие максимальному увеличению электропроводности растворов солей,

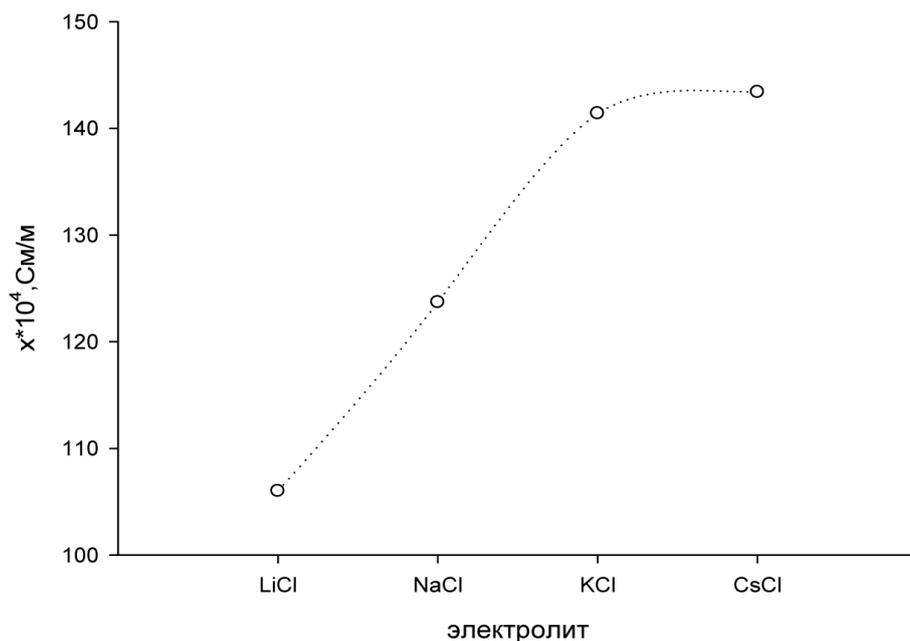


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности от природы электролита ( $c = 10^{-3}$  моль/л;  $T = 295\text{K}$ )

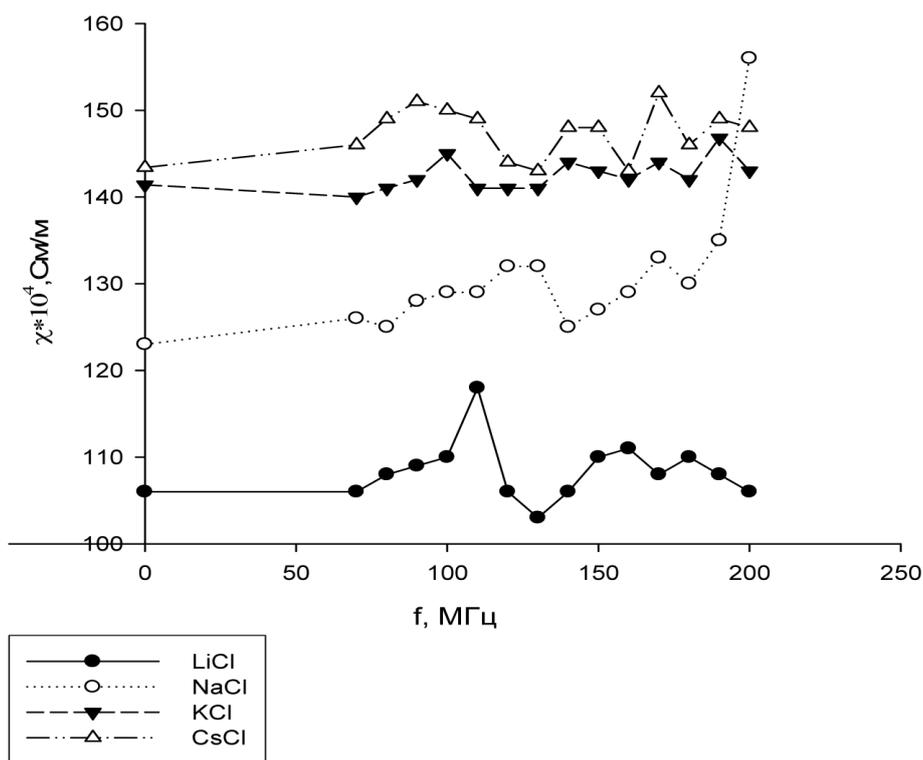


Рис. 2. Зависимость удельной электропроводности от частоты электромагнитного поля для электролитов с концентрацией  $10^{-3}$  моль/л ( $T = 295\text{--}297\text{K}$ )

близки к частотам 110 и 170 МГц (либо совпадают с указанными значениями), однако они индивидуальны для каждого электролита. В качестве примера на рисунках 3, 4 представлены концентрационные зависимости эффективности электромагнитного воз-

действия для растворов NaCl и KCl. Электропроводность деци- и сантимольярных растворов в результате воздействия поля практически не изменялась, а максимальное ее увеличение наблюдалось при концентрации  $10^{-4}$  моль/л.

Таблица 1

Частоты электромагнитного поля, соответствующие максимальному увеличению электропроводности

Электролит ( $c = 10^{-3}$ моль/л)	f, МГц	
LiCl	110	160
NaCl	–	200
KCl	100	190
CsCl	90	170

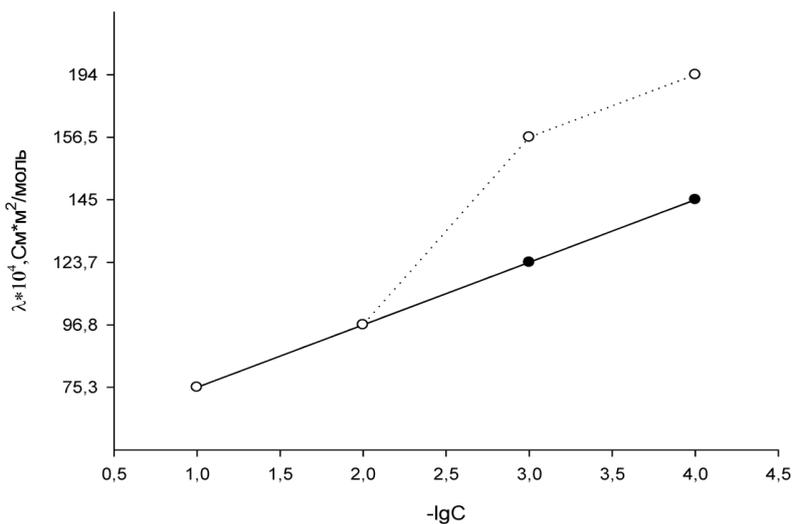


Рис. 3. Зависимость эквивалентной электропроводности NaCl от концентрации ( $T = 297 \text{ K}$ ;  $f = 200 \text{ МГц}$ )

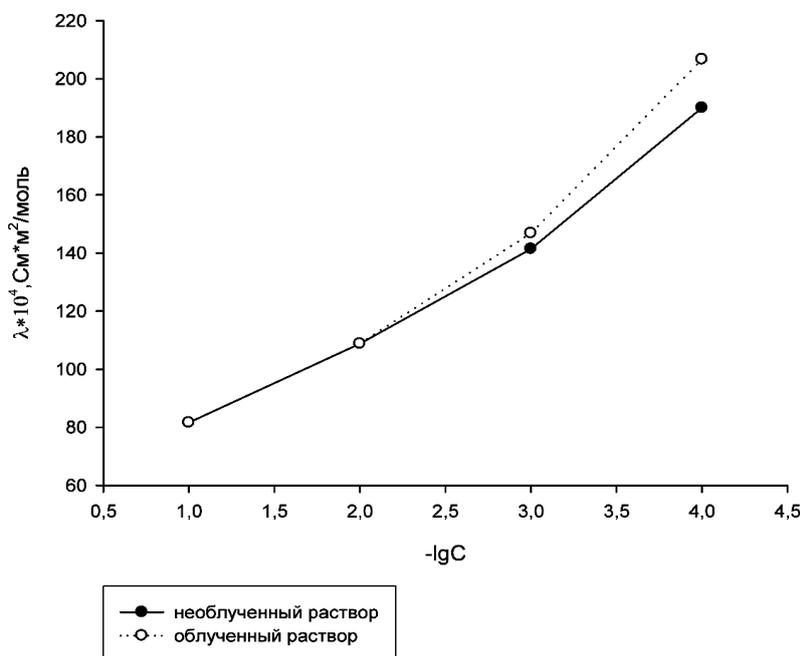


Рис. 4. Зависимость эквивалентной электропроводности KCl от концентрации ( $T = 297 \text{ K}$ ;  $f = 190 \text{ МГц}$ )

По данным электропроводности облученных растворов в диапазоне концентраций  $10^{-4}$ – $10^{-3}$  моль/л по уравнению Кольрауша были рассчитаны значения предельной эквивалентной электропроводности. Дан-

ные представлены в таблице 2. Для растворов хлоридов лития, натрия и цезия они оказались существенно выше соответствующих значений для необлученных растворов. Для хлорида калия значение предельной

Таблица 2

Уравнения зависимости эквивалентной электропроводности необлученных и облученных полей заданной частоты (f, МГц) растворов электролитов от концентрации раствора (T = 297K)

Электролит	$\lambda_0 \cdot 10^4$ $\frac{см \cdot М^2}{моль}$	Уравнение Кольрауша ( $\lambda = \lambda_0 - h\sqrt{C}$ ) · 10 <sup>4</sup>		$\lambda_0 \cdot 10^4$ , $\frac{см \cdot М^2}{моль}$	Коэффициент корреляции, r
		f	$\lambda$		
LiCl	114,9	f = 0	$\lambda = 113 - 227\sqrt{C}$	113±5,7	0,9999
		f = 110	$\lambda = 153 - 617\sqrt{C}$	153±7,7	0,9812
NaCl	124,4	f = 0	$\lambda = 128 - 314\sqrt{C}$	128±5,1	0,9544
		f = 200	$\lambda = 195 - 107\sqrt{C}$	195±7,8	0,9434
KCl	149,9	f = 0	$\lambda = 151 - 300\sqrt{C}$	151±3,0	0,9786
		f = 190	$\lambda = 150 - 300\sqrt{C}$	150±3,0	0,9655
CsCl	153,5	f = 0	$\lambda = 158 - 258\sqrt{C}$	158±4,7	0,9809
		f = 170	$\lambda = 247 - 161\sqrt{C}$	247±7,4	0,9765

электропроводности облученного и необлученного растворов практически не отличается. Следовательно, можно предположить, что подвижность хлорид-ионов при облучении раствора ВЧЭМ полем не изменяется, а увеличение электропроводности исследуемых растворов обусловлено увеличением подвижности катионов, что позволило рассчитать предельные подвижности катионов ( $\lambda_+^0 = \lambda^0 - \lambda_{Cl^-}^0$ ), абсолютные скорости их движения ( $U_+^0 = \frac{\lambda_+^0}{F}$ ), а также предельные коэффициенты диффузии ( $D_+^0 = \frac{RT}{nF} U_+^0$ ) и числа переноса ( $D_+^0 = \frac{\lambda_+^0}{\lambda_0} U_+^0$ ) (данные представлены в таблице 3). Из расчетов следует, что в результате воздействия электромагнитного поля значительно возрастают подвижность и коэффициенты диффузии

ионов лития, натрия и цезия, в то время как соответствующие величины для ионов калия изменяются незначительно. Числа переноса, характеризующие долю электричества, переносимого ионами данного сорта, также заметно изменяются. Найденные значения коэффициентов диффузии позволяют оценить величину стоковских радиусов ионов, т.е. величину радиусов гидратированных ионов, результаты представлены в таблице 4. Расчеты показали, что результатом электромагнитного воздействия является снижение степени гидратации ионов, что и приводит к увеличению их подвижности. Для ионов калия и цезия рассчитанные значения стоковских радиусов оказались меньше их кристаллографических радиусов, что свидетельствует о приближенном характере уравнения Стокса для описания движения ионов.

Таким образом, степень увеличения электропроводности и других свойств раствора электролита зависит от природы катиона, характера его гидратации,

Таблица 3

Свойства необлученных и облученных полей заданной частоты (f, МГц) растворов электролитов (T = 297K)

Ион	$\lambda_+^0 \cdot 10^4$ , $\frac{см \cdot М^2}{моль}$	$U_+^0 \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с, В	$D_+^0 \cdot 10^9$ , м <sup>2</sup> /с	$t_+^0$	
Li <sup>+</sup>	f = 0	36,8±1,8	3,8±0,2	0,97±0,05	0,32±0,02
	f = 110	76,6±3,8	7,8±0,4	2,0±0,10	0,50±0,03
	Δ, %	52	51	51	36
Na <sup>+</sup>	f = 0	51,7±2,1	5,3±0,2	1,3±0,05	0,40±0,02
	f = 200	118,6±4,7	12,3±0,5	3,1±0,12	0,61±0,02
	Δ, %	56	57	58	34
K <sup>+</sup>	f = 0	77,7±1,6	8,9±0,2	2,2±0,04	0,53±0,01
	f = 190	75,7±1,5	7,8±0,2	2,0±0,04	0,53±0,01
	Δ, %	2	14	0,1	0
Cs <sup>+</sup>	f = 0	81,7±2,5	7,4±0,2	1,9±0,06	0,48±0,01
	f = 170	170,6±5,1	17,7±0,5	4,5±0,14	0,69±0,02
	Δ, %	52	58	58	30

Радиусы ионов щелочных металлов и числа их гидратации ( $T = 297\text{K}$ )

Ион	Кристаллографический радиус, Å	Стоксовский радиус, Å	
		f	Радиус
Li <sup>+</sup>	0,78	f = 0	2,25±0,11
		f = 110	1,09±0,05
Na <sup>+</sup>	0,98	f = 0	1,67±0,07
		f = 200	0,94±0,04
K <sup>+</sup>	1,33	f = 0	1,16±0,02
		f = 190	1,18±0,02
Cs <sup>+</sup>	1,65	f = 0	1,15±0,03
		f = 170	1,04±0,03

частоты электромагнитного поля и времени воздействия. В наибольшей степени возрастает подвижность и коэффициенты диффузии положительно гидрати-

рованных ионов щелочных металлов (Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), тогда как свойства отрицательно гидратированных ионов (K<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>) изменяются в меньшей степени.

### Библиографический список

1. Мокроусов Г.М., Горленко Н.П. Физико-химические процессы в магнитном поле. – Томск, 1988.
2. Классен В.И. Вода и магнит. – М., 1973.
3. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. – М., 1957.
4. Бессонова А.П., Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики // Ползуновский вестник. – 2008. – №3.