

О ЗАВИСИМОСТИ гидратного числа иона, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНО-ЭЛЕКТРОЛИТНЫХ СМЕСЕЙ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ, РАДИУСА и зарядовых показателей ИОННЫХ КОМПОНЕНТОВ РАСТВОРА

Показано что, гидратное число иона достаточно корректно может быть вычислено на основе удельной поверхностной плотности заряда иона. Установлено, что закономерности влияния концентрации и зарядовых показателей ионных компонентов растворов на вязкостные и плотностные показатели, а также на теплоемкость и теплопроводность водно-электролитных смесей могут быть представлены в виде расчетных аналитических выражений.

Введение

Как на строение, так и на характер изменения всего многообразия физико-химических свойств водно-электролитных смесей самое существенное влияние оказывает водная гидратация [1-3]. Важной характеристикой данного процесса является гидратное число ионов. Традиционно закономерности водной гидратации электролитов изучались с использованием большого набора физико-химических методов и свойств растворов [4]. Следует отметить, что на сегодня ни один из этих методов не получил всеобщего признания, так как практически во всех случаях при определении гидратного числа иона делаются произвольные, зачастую не обоснованные, допущения. Полученные на их основе гидратные числа имеют большой разброс даже относительно одной и той же разновидности иона, и в этой связи они представляют лишь исторический интерес [2, 5-10]. Современные методы оцен-

У.Б. Бестереков*,
доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова

И.А. Петропавловский,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева



ки количества молекул воды в гидратных сферах ионов основываются на числах переноса, сольватации, растворимости неэлектролитов, термохимии растворов и др. Среди них наибольшего внимания заслуживают неэмпирические и плазмохимические методы расчета гидратных чисел [5, 11, 12]. При этом гидратное число, в частности, вполне обоснованно рекомендуется вычислять по соотношению:

$$n_s = \frac{z_i \cdot e \cdot R_s^2}{r_i p} - \frac{5k_B T \epsilon R_s^2}{2pe} \quad (1)$$

где: R_s^2 – радиус молекулы растворителя – воды, Å; k_B – константа Больцмана, $k_B = 1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – температура, К; ϵ – относительная диэлектрическая постоянная

* Адрес для корреспонденции: besterek_80@mail.ru

ная воды; ρ – дипольный момент воды, Кл·м. Как видно из соотношения (1), данное расчетное выражение содержит достаточно большой набор показателей и параметров и тем самым его практическое использование в определенной мере затруднено.

На сегодня достаточно большое количество общеизвестных фактологических сведений [13-16] о влиянии концентрации водно-электролитных систем на их характерные физико-химические и теплофизические показатели аналитически не описаны. Практически не установлены и не проанализированы также зависимости, описывающие характер влияния на последние радиуса ионов и зарядовых показателей ионных компонентов растворов. В этой связи задачи настоящей работы сводились к получению нового, более упрощенного аналитического выражения для вычисления гидратного числа ионов, новых эмпирических зависимостей, описывающих закономерности влияния концентрации растворов, а также радиуса и плотности заряда ионов на характер изменения основных физико-химических и теплофизических свойств водных растворов электролитов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились с учетом наиболее достоверных сведений о вязкости, плотности, теплоемкости, теплопроводности водных растворов бинарных и тернарных электролитов типов 1-1, 1-2, 2-1, 2-2, а также о радиусе и плотности заряда ионных составляющих последних в широком диапазоне изменений концентрации при $T = \text{const.}$ (20 °С и 40 °С). Результаты исследований подвергались графической обработке. В основе получения искоемых эмпирических

Таблица 1

Зависимость гидратного числа ионов от их поверхностной плотности заряда

Наименование ионов	Радиус ионов, Å	Поверхностная плотность заряда ионов, Кл/Å ² , 10 ⁹	Число гидратации ионов	Удельная поверхностная плотность заряда ионов, Кл/Å ² на одну молекулу воды · 10 ⁹
Li ⁺	0,78	0,2096	4,64	0,045172
Na ⁺	0,98	0,1328	3,34	0,03976
K ⁺	1,33	0,0721	1,6	0,045063
Rb ⁺	1,49	0,0574	1,3	0,044154
Cs ⁺	1,65	0,0468	0,98	0,047755
Cl ⁻	1,81	0,0389	1,01	0,038515
F ⁻	1,33	0,0721	2,01	0,035871
Br ⁻	1,96	0,0332	0,75	0,044267
Усредненное значение				0,04257

А. А. Болысбек,
кандидат технических наук, доцент,
Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова

Г. А. Камбарова,
кандидат технических наук, старший преподаватель,
Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова

С. Р. Ермаков,
магистрант, старший преподаватель,
Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова

зависимостей использован полиномиальный метод компьютерной обработки экспериментальных данных.

Результаты и их обсуждение

Для ряда однозарядовых ионов (табл. 1), гидратные числа которых по известным сведениям имеют вполне достоверные значения, изучена зависимость гидратного числа ионов от их поверхностной плотности зарядов, которая может быть легко вычислена по известной зависимости вида:

$$G = \frac{Z_i \cdot e}{F}, \text{ Кл}/\text{Å}^2 \quad (2)$$

где: Z_i – число элементарных зарядов; $e = 1,6021892 \cdot 10^{-19}$ Кл, заряд электрона; $F = 4\pi r_i^2$ – площадь поверхности иона, Å².

Как следует из данных табл. 1, на единицу гидратированной ионом молекулы воды во всех случаях приходится одного и того же порядка и близкая по значению удельная поверхностная плотность заряда, усредненное значение которой составляет $0,04257 \cdot 10^{-9}$ Кл/Å² на одну гидратную молекулу воды. С использованием найденного усредненного значения удельной поверхностной плотности заряда вычислены гидратные числа ионных компонентов изученных водно-электролитных смесей (табл. 2). Анализ данных табл. 2 показывает, что расчетные значения гидратных чисел ионов, установленные по соотношению вида

$$n_S = \frac{G}{q} = \frac{Z_i \cdot e}{Fq}, \quad (3)$$

близки к наиболее вероятным известным сведениям о гидратных числах ионов и в рамках допустимых ошибок достаточно удовлетворительны.

Здесь: q – удельная поверхностная плотность заряда иона, Кл/Å² на одну гидратированную молекулу воды;

Таблица 2

Зависимость гидратного числа ионов от их удельной поверхностной плотности заряда

Наименование ионов	Радиус ионов, Å	Поверхностная плотность заряда ионов, Кл/Å ² , 10 ⁹	Усредненное значение удельной поверхностной плотности заряда ионов, Кл/Å ² , 10 ⁹ на молекулу	Расчетные значения гидратных чисел ионов
Li ⁺	0,78	0,2096	0,04257	4,92366
Na ⁺	0,98	0,1328	0,04257	3,11957
K ⁺	1,33	0,0721	0,04257	1,69368
Rb ⁺	1,49	0,0574	0,04257	1,34837
Cs ⁺	1,65	0,0468	0,04257	1,09937
Co ⁺²	0,72	0,4921	0,04257	11,5598
Ni ⁺²	0,736	0,4709	0,04257	11,0618
Mg ⁺²	0,74	0,4659	0,04257	10,9443
Mn ⁺²	0,8	0,3986	0,04257	9,3634
Fe ⁺²	0,815	0,3841	0,04257	9,02279
Zn ⁺²	0,83	0,3703	0,04257	8,69861
Cd ⁺²	0,997	0,2566	0,04257	6,02772
Cu ⁺²	1,01	0,2501	0,04257	5,87503
Ca ⁺²	1,03	0,2405	0,04257	5,64952
Sr ⁺²	1,2	0,1772	0,04257	4,16256
Pb ⁺²	1,32	0,1464	0,04257	3,43904
Ba ⁺²	1,387	0,1326	0,04257	3,11487
I ⁻¹	2,20	0,0263	0,04257	0,61781
Cl ⁻¹	1,81	0,0389	0,04257	0,91379
NO ₃ ⁻¹	1,89	0,0357	0,04257	0,83862
SO ₄ ⁻²	2,3	0,0482	0,04257	1,13225
F ⁻¹	1,33	0,0721	0,04257	1,69368
Br ⁻¹	1,96	0,0332	0,04257	0,77989

Отсюда следует, что новое расчетное выражение (3) позволяет достаточно надежно определить гидратные числа ионов в зависимости от их поверхностной плотности заряда. Нетрудно заметить, что выражение (3) от расчетного выражения (2) существенно отличается простотой, меньшим числом параметров, задействованных в нем, и позволяет получить вполне удовлетворительные результаты по числу координации ионов. В этой связи выражение (3) вполне обоснованно может быть рекомендовано в качестве новой эмпирической расчетной зависимости, позволяющей достаточно корректно вычислить число координации ионов в водных растворах электролитов.

Результаты обработки вязкостных и плотностных показателей, а также данных по теплоемкости и теплопроводности исследованных водно-электролитных смесей показали следующее.

1. При T=const с ростом концентрации (C, в мольных процентах) вязкость (η, в Па·с) и плотность (ρ, в кг/м³) водно-электролитных систем возрастают, а теплоемкость (C_p, в Дж/кг·К) и теплопроводность (λ, в Вт/м·К) их уменьшаются и могут быть описаны полиномиальными зависимостями видов:

$$\begin{aligned} \eta &= 0,003C^2 + 0,096C + 0,989 \text{ (для LiCl)} \\ \eta &= 0,005C^2 + 0,039C + 1,006 \text{ (для NaCl)} \\ \eta &= 0,001C^2 - 0,009C + 0,996 \text{ (для KCl)} \\ \eta &= 0,002C^2 - 0,028C + 0,993 \text{ (для CsCl)} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \rho &= -7,493C^2 + 130,4C + 996,3 \text{ (для CsI)} \\ \rho &= -1,752C^2 + 70,01C + 1003 \text{ (для KI)} \\ \rho &= -1,437C^2 + 65,21C + 1006 \text{ (для NaI)} \\ \rho &= -1,139C^2 + 59,69C + 1002 \text{ (для LiI)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} C_p &= 1,521C^2 - 108,3C + 4160 \text{ (для LiCl)} \\ C_p &= 5,708C^2 - 147,6C + 4168 \text{ (для NaCl)} \\ C_p &= 7,687C^2 - 212,0C + 4173 \text{ (для KCl)} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,0003C^2 - 0,0077C + 0,6025 \text{ (для CaCl}_2\text{)} \\ \lambda &= 0,0002C^2 - 0,0071C + 0,5978 \text{ (для MnCl}_2\text{)} \\ \lambda &= 0,0006C^2 - 0,0130C + 0,5985 \text{ (для NiCl}_2\text{)} \\ \lambda &= 0,0007C^2 - 0,0164C + 0,5981 \text{ (для CoCl}_2\text{)} \end{aligned} \quad (7)$$

Вязкостные, плотностные показатели, а также теплоемкость и теплопроводность растворов других типов солей дают аналогичные зависимости. Для всех типов изученных водно-электролитных смесей характерно то, что при наличии в составе растворенных солей одинаковых анионов и при одной и той же концентрации раствора, чем меньше радиус катиона, тем больше вязкость, теплоемкость и тем меньше плотность, теплопроводность раствора.

2. На вязкостные и плотностные характеристики, а также теплоемкость и теплопроводность водно-электролитных систем при T=const влияет радиус ионов (r, в Å). Установлено, что между вязкостными и плотностными характеристиками, а также теплоемкостью и теплопроводностью водно-электролитных систем и радиусом ионов также имеют место вполне корректные математические зависимости видов:

Для растворов LiCl, NaCl, KCl, CsCl:

$$\begin{aligned} \eta &= 0,127r^3 - 0,341r^2 + 0,103r + 1,156 \text{ (1 \%)} \\ \eta &= 0,123r^3 - 0,185r^2 - 0,410r + 1,574 \text{ (2 \%)} \\ \eta &= 0,172r^3 - 0,195r^2 - 0,758r + 1,938 \text{ (3 \%)} \\ \eta &= 0,328r^3 - 0,620r^2 - 0,594r + 2,115 \text{ (4 \%)} \\ \eta &= 0,806r^3 - 2,206r^2 + 0,901r + 1,816 \text{ (5 \%)} \\ \eta &= 1,367r^3 - 4,042r^2 + 2,625r + 1,463 \text{ (6 \%)} \\ \eta &= 2,168r^3 - 6,791r^2 + 5,443r + 0,696 \text{ (7 \%)} \\ \eta &= 2,841r^3 - 8,961r^2 + 7,442r + 0,298 \text{ (8 \%)} \end{aligned} \quad (8)$$

Для растворов (Li_2SO_4 , Na_2SO_4 , K_2SO_4)
 $\eta = -0,121r^2 + 0,066r + 1,186$ (0,5 %)
 $\eta = -0,441r^2 + 0,557r + 1,164$ (1 %)
 $\eta = -0,792r^2 + 1,044r + 1,197$ (1,5 %)
 $\eta = -0,616r^2 + 0,310r + 1,918$ (2 %) (9)

Для растворов CsI, KI, NaI, LiI
 $\rho = 925,1r^3 - 3008r^2 + 3249r + 109,0$ (4,5 %)
 $\rho = 889,0r^3 - 2899r^2 + 3139r + 120,6$ (4 %)
 $\rho = 829,6r^3 - 2704r^2 + 2923r + 173,3$ (3,5 %)
 $\rho = 779,8r^3 - 2549r^2 + 2762r + 201,5$ (3 %)
 $\rho = 714,4r^3 - 2350r^2 + 2559r + 242,5$ (2,5 %)
 $\rho = 584,7r^3 - 1931r^2 + 2115r + 366,8$ (2 %)
 $\rho = 461,3r^3 - 1528r^2 + 1678r + 491,8$ (1,5 %)
 $\rho = 329,3r^3 - 1098r^2 + 1214r + 624,6$ (1 %) (10)

Для растворов Li_2SO_4 , Na_2SO_4 , K_2SO_4
 $\rho = -293,5r^2 + 716,5r + 709,1$ (2 %)
 $\rho = -225,9r^2 + 547,7r + 778,2$ (1,5 %)
 $\rho = -156,7r^2 + 378,3r + 845,7$ (1 %)
 $\rho = -79,87r^2 + 193,0r + 920$ (0,5 %) (11)

Для растворов LiCl, NaCl, KCl:
 $\rho_p = -33,76r^2 - 10,57r + 4143$ (0,5 %)
 $\rho_p = -33,76r^2 - 90,57r + 4151$ (1 %)
 $\rho_p = -81,81r^2 - 71r + 4111$ (1,5 %)
 $\rho_p = -89,61r^2 - 127,2r + 4106$ (2 %)
 $\rho_p = -100r^2 - 169r + 4091$ (2,5 %)
 $\rho_p = -150,6r^2 - 114,8r + 4025$ (3 %)
 $\rho_p = -258,4r^2 + 59,85r + 3903$ (3,5 %)
 $\rho_p = -393,5r^2 + 297,5r + 3749$ (4 %) (12)

Для растворов CaCl_2 , MnCl_2 , NiCl_2 , CoCl_2 :
 $\lambda = -0,279r^2 + 0,528r + 0,347$ (1 %)
 $\lambda = -0,587r^2 + 1,091r + 0,088$ (2 %)
 $\lambda = -0,855r^2 + 1,576r - 0,134$ (3 %)
 $\lambda = -1,080r^2 + 1,983r - 0,320$ (4 %)
 $\lambda = -1,268r^2 + 2,324r - 0,478$ (5 %) (13)

Вязкостные и плотностные показатели, теплоемкость и теплопроводность растворов других типов солей дают аналогичные зависимости. Для всех типов изученных водно-электролитных смесей характерно то, что с ростом радиуса ионов (в данном случае катионов), во всех случаях, когда концентрация водно-электролитных смесей постоянна, и в случаях, когда в них присутствуют одни и те же анионные компоненты, вязкость и теплоемкость растворов снижаются, а плотность и теплопроводность растворов возрастают.

3. На вязкостные и плотностные характеристики, теплоемкость и теплопроводность водно-электролитных систем влияет плотность заряда катионов (Pe , в Кл/Å). Также установлено, что между вязкостными, плотностными характеристиками, теплоемкостью, теплопроводностью водно-электролитных

систем и плотностью заряда катионов имеют место аналитические зависимости видов:

Для растворов LiCl, NaCl, KCl, CsCl:
 $\eta = -35,02\text{Pe}^3 + 11,11\text{Pe}^2 - 0,154\text{Pe} + 0,956$ (1 %)
 $\eta = -50,12\text{Pe}^3 + 14,92\text{Pe}^2 + 0,543\text{Pe} + 0,892$ (2 %)
 $\eta = -93,45\text{Pe}^3 + 30,42\text{Pe}^2 - 0,240\text{Pe} + 0,884$ (3 %)
 $\eta = -140,4\text{Pe}^3 + 46,16\text{Pe}^2 - 0,855\text{Pe} + 0,874$ (4 %)
 $\eta = -249,1\text{Pe}^3 + 84,55\text{Pe}^2 - 3,815\text{Pe} + 0,938$ (5 %)
 $\eta = -397,9\text{Pe}^3 + 139,2\text{Pe}^2 - 8,718\text{Pe} + 1,073$ (6 %)
 $\eta = -567,2\text{Pe}^3 + 199,6\text{Pe}^2 - 13,88\text{Pe} + 1,200$ (7 %)
 $\eta = -767,2\text{Pe}^3 + 274,7\text{Pe}^2 - 21,04\text{Pe} + 1,407$ (8 %) (14)

Для растворов (MnSO_4 , ZnSO_4 , CdSO_4 , CuSO_4)
 $\eta = 178,9\text{Pe}^2 - 110,8\text{Pe} + 22,27$ (0,5 %)
 $\eta = 102,9\text{Pe}^2 - 64,32\text{Pe} + 14,43$ (1 %)
 $\eta = 3,129\text{Pe}^2 - 1,346\text{Pe} + 3,929$ (1,5 %)
 $\eta = 10,89\text{Pe}^2 - 6,609\text{Pe} + 4,033$ (2 %)
 $\eta = -3,782\text{Pe}^2 + 3,334\text{Pe} + 1,788$ (2,5 %)
 $\eta = 0,841\text{Pe}^2 + 0,004\text{Pe} + 1,896$ (3 %)
 $\eta = -0,795\text{Pe}^2 + 0,921\text{Pe} + 1,420$ (3,5 %)
 $\eta = -4,918\text{Pe}^2 + 3,783\text{Pe} + 0,706$ (4 %)
 $\eta = -0,818\text{Pe}^2 + 0,769\text{Pe} + 1,031$ (4,5 %) (15)

Для растворов CsI, KI, NaI, LiI
 $\rho = -38788\text{Pe}^3 + 38640\text{Pe}^2 - 12607\text{Pe} + 2533$ (2,5 %)
 $\rho = -36463\text{Pe}^3 + 35735\text{Pe}^2 - 11335\text{Pe} + 2314$ (2 %)
 $\rho = -28431\text{Pe}^3 + 27905\text{Pe}^2 - 8867\text{Pe} + 2027$ (1,5 %)
 $\rho = -19950\text{Pe}^3 + 19601\text{Pe}^2 - 6232\text{Pe} + 1718$ (1 %)
 $\rho = -10294\text{Pe}^3 + 10115\text{Pe}^2 - 3216\text{Pe} + 1369$ (0,5%) (16)

Для растворов Li_2SO_4 , Na_2SO_4 , K_2SO_4
 $\rho = -2170\text{Pe}^2 + 222,3\text{Pe} + 1138$ (2 %)
 $\rho = -1762\text{Pe}^2 + 212,8\text{Pe} + 1100$ (1,5 %)
 $\rho = -1258\text{Pe}^2 + 163,9\text{Pe} + 1066$ (1 %)
 $\rho = -634,8\text{Pe}^2 + 80,66\text{Pe} + 1033$ (0,5 %) (17)

Для растворов LiCl, NaCl, KCl:
 $\rho_p = -2388\text{Pe}^2 + 1000\text{Pe} + 4009$ (0,5 %)
 $\rho_p = -4228\text{Pe}^2 + 1838\text{Pe} + 3861$ (1 %)
 $\rho_p = -6831\text{Pe}^2 + 2898\text{Pe} + 3699$ (1,5 %)
 $\rho_p = -8620\text{Pe}^2 + 3693\text{Pe} + 3557$ (2 %)
 $\rho_p = -10240\text{Pe}^2 + 4404\text{Pe} + 3425$ (2,5 %)
 $\rho_p = -12213\text{Pe}^2 + 5171\text{Pe} + 3297$ (3 %)
 $\rho_p = -15044\text{Pe}^2 + 6179\text{Pe} + 3158$ (3,5 %)
 $\rho_p = -18159\text{Pe}^2 + 7246\text{Pe} + 3021$ (4 %) (18)

Для растворов CaCl_2 , MnCl_2 , NiCl_2 , CoCl_2 :
 $\lambda = -0,265\text{Pe}^2 + 0,145\text{Pe} + 0,575$ (1 %)
 $\lambda = -0,601\text{Pe}^2 + 0,361\text{Pe} + 0,536$ (2 %)
 $\lambda = -0,903\text{Pe}^2 + 0,562\text{Pe} + 0,498$ (3 %)
 $\lambda = -1,159\text{Pe}^2 + 0,733\text{Pe} + 0,466$ (4 %)
 $\lambda = -1,367\text{Pe}^2 + 0,869\text{Pe} + 0,440$ (5 %) (19)

Вязкостные и плотностные показатели, теплоемкость и теплопроводность растворов других типов солей дают аналогичные зависимости. Для всех типов изученных водно-электролитных смесей характерно то, что с ростом плотности заряда катионов (при наличии в растворах одинаковых анионных составляющих) вязкость и теплоемкость растворов возрастают, а плотность и теплопроводность растворов снижаются;

Заключение

На основе вышеприведенных результатов и анализа характеров изменений вязкостных, плотностных показателей, теплоемкости и теплопроводности изученных водно-электролитных смесей можно заключить, что водно-электролитная среда представляет собой некую молекулярно-кинетическую систему, состоящую из гидратированных ионов, так называемых водно-ионных комплексов определенной конечной степени координации. Поверхностная плотность заряда иона определяющим образом влияет на его гидратирующую способность. Гидратное число иона достаточно корректно может быть вычислено на основе нового унифицированного параметра – удельной поверхностной плотности заряда иона, приходящейся на одну гидратированную молекулу воды. На все параметры и показатели водно-электролитных смесей гидратированные ионы оказывают определяющее влия-

Ключевые слова:

гидратное число,
поверхностная
плотность заряда,
гидратная сфера

ние. Концентрация, радиус и плотность заряда ионов результирующе сказываются на характере изменений всех физико-химических и теплофизических свойств электролитов [17-21].

Литература

1. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. – М.: Изд. АН СССР, 1957. 182 с.
2. Мищенко К.П. Термодинамика и строение водных и неводных растворов электролитов / К.П. Мищенко, Г.М. Полторацкий. Л.: Химия, 1976. 320 с.
3. Крестов Г.А. Ионная сольватация. М.: Наука, 1987. 320 с.
4. Танганов Б.Б. Взаимодействия в растворах электролитов: моделирование сольватационных процессов, равновесий в растворах полиэлектролитов и математическое прогнозирование свойств химических систем. М.: Академия естествознания, 2009. 141 с.
5. Балданов М.М. Дисперсионное уравнение Власова и радиусы сольватированных ионов в метаноле / М.М. Балданов, Б.Б. Танганов // Журнал общей химии. 1994. Т. 64. № 1. С. 32-34.
6. Робинсон Р., Стокс Р. Растворы электролитов. Пер. с англ. / Под ред. А.Н. Фрумкина. М.: Издательство, 1963. 646 с.
7. Крестов Г.А. Термодинамика ионных процессов в растворах. Л.: Химия, 1984. 272 с.
8. Крешков А.П. Основы аналитической химии. М.: Химия, 1976. Т. 2. 456 с.
9. Скуг Д., Уэст Д. Основы аналитической химии. Т. 1. / Пер. с англ. Под ред. чл.-корр. АН СССР Ю.А. Золотова. М.: Мир, 1979. 480 с.
10. Аноорганикум. Т.2. Ред. Кольдиц Л. /Пер. с нем. под ред. проф. О.М. Петрухина М.: Мир, 1984. 632 с.



11. Балданов М.М. Неэмперический расчет сольватных чисел ионов в растворах / М.М. Балданов, М.В. Мохосоев, Б.Б. Танганов // ДАН СССР. 1989. Т. 308. № 1. С. 106-110.
12. Балданов М.М. К проблеме сольватных чисел и масс сольватированных в спиртовых растворах / М.М. Балданов, М.В. Мохосоев, Б.Б. Танганов // Журнал физической химии. 1992. Т. 66. № 4. С. 1084-1088.
13. Краткий справочник физико-химических величин. Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой, Ленинград: Химия, 1983. 232 с.
14. Зайцев И.Д. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ / И.Д. Зайцев, Г.Г. Асеев. Справочник. М.: Химия. 1988. 416 с.
15. Коган В.В. Справочник по растворимости. Л.: АН СССР кн. 1, 2, 3; 1969-1970 гг.
16. Краткий справочник химика. Под ред. В.И. Перельман, М.-Л.: Химия, 1964. 624 с.
17. Камбарова Г.А. О влиянии собственных и структурных особенностей ионов на вязкостные показатели водно-электролитных систем / Г.А. Камбарова, В.К. Бишимбаев, У.Б. Бестереков // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «М.О. Ауезов – гений нового времени». Шымкент. 2007. С. 119-122.
18. Камбарова Г.А. О влиянии концентрации и характерных показателей ионных компонентов на вязкость и плотность водно-электролитных систем / Г.А. Камбарова, У.Б. Бестереков, Е.У. Бестереков // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. 2008. № 4. С. 102-107.
19. Камбарова Г.А. Анализ физико-химических свойств водных смесей / Г.А. Камбарова, В.К. Бишимбаев, У.Б. Бестереков, А.А. Болысбек // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Химия строительных материалов и материаловедение в XXI веке», Шымкент. 2008. С. 205-210
20. Камбарова Г.А. О влиянии концентрации и характерных показателей ионных компонентов на теплопроводность водно-электролитных систем / Г.А. Камбарова, В.К. Бишимбаев, У.Б. Бестереков // Известия НАН РК. 2008. № 6. С. 89-93.
21. Камбарова Г.А. Анализ концентрационного характера изменений физико-химических и тепловых свойств водно-электролитных смесей // Вестник НАН РК. 2008. № 6. С. 125-130.



U. B. Besterekov, I. A. Petropavlovskiy, A. A. Bolysbek, G. A. Kambarova, S. R. Ermekov

DEPENDENCE BETWEEN HYDRATE IONS, PHYSICAL, CHEMICAL AND THERMAL PROPERTIES OF AQUEOUS ELECTROLYTE MIXTURES AND CONCENTRATION, RADIUS AND CHARGE PARAMETERS OF IONIC COMPONENTS OF SOLUTION

It was shown that the hydrated number of ion could be easily calculated from the specific surface charge density of the ion. Ion concentration influence on viscosity

and density parameters and on heat capacity and heat conductivity of water could be represented in the form of calculated analytical equations.

Key words: hydrate number, surface charge density, hydration sphere

