

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ КАДМИЯ (II) С 2-МЕТИЛИМИДАЗОЛОМ В ВОДНЫХ И ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРАХ

С.М. Сафармамадов, Д.Ч. Мирзохонов, К.С. Мабаткадамзода

Сафармамад Муборакшоевич Сафармамадов *, Диловар Чупонович Мирзохонов, Кимё Сабзикадам Мабаткадамзода

Кафедра неорганической химии, Таджикский национальный университет, просп. Рудаки, 17, Душанбе, Республика Таджикистан, 734025

E-mail: sash65@mail.ru*, dilovarmirzohonov@mail.ru, kimyo84@mail.ru

По данным потенциометрического титрования построены кривые титрования протонированной формы 2-метилимидазола $[H_2-MI]^+$ в воде и водно-спиртовых растворах. Формы кривых образования соответствуют слабым одноосновным кислотам. Величина функции образования (\bar{n}) для изучаемых систем изменяется в пределах 0,45-0,87, что соответствует образованию одной протонированной формы 2-метилимидазола в водных и водно-спиртовых растворах. рН – метрическим методом в водном и водно-метанольных (этанольных) растворах при различном содержании органического растворителя определена константа кислотной диссоциации (рKa) 2-метилимидазола при 298 К. Выявлено, что максимальная доля накопления молекулярной формы приходится при рН 10-10,5. Ниже рН =10 в растворе начинает накапливаться протонированная форма 2-метилимидазола. Начиная от рН=7 2-метилимидазол находится в растворе полностью в протонированной форме. С увеличением концентрации спирта в растворе наблюдается усиление кислотных свойств протонированной формы 2-метилимидазола. Показано, что значение рKa 2-метилимидазола в водно-этанольных растворах выше, чем водно-метанольных. Потенциометрическим методом исследован процесс комплексообразования кадмия (II) с 2-метилимидазолом (2-МИ) при 278-318 К. Установлено влияние природы и состава водно-органического раствора на устойчивость образующихся комплексов. Выявлено, что при взаимодействии кадмия (II) с 2-метилимидазолом в водном и водно-спиртовых растворах ступенчато образуется четыре комплексные формы. Для каждой комплексной формы найдены константы устойчивости в зависимости от температуры и содержания неводного растворителя. При добавлении к воде метанола наблюдается увеличение устойчивости всех комплексных форм. В отличие от водно-метанольных растворов, в водно-этанольных растворах, кроме комплексной частицы $[CdL_4]^{2+}$, устойчивость других комплексных форм проходит через минимум. На основании экспериментальных и литературных данных можно сделать вывод о том, что степень влияния, которое оказывает органический растворитель на устойчивость комплексов кадмия (II), во многом зависит от изменения сольватного состояния молекулы лиганда и центрального атома.

Ключевые слова: кадмий (II), 2-метилимидазол, водно-органический растворитель, комплексообразование, кислотная диссоциация

COMPLEX FORMATION OF CADMIUM (II) WITH 2-METHYLIMIDAZOLE IN AQUEOUS AND AQUEOUS-ALCOHOL SOLUTIONS

S.M. Safarmamadov, D.Ch. Mirzokhonov, K.S. Mabatkadamzoda

Safarmamad M. Safarmamadov, Dilovar Ch. Mirzokhonov, Kimyo S. Mabatkadamzoda

Department of Inorganic Chemistry, Tajik National University, Rudaki ave., 17, Dushanbe, 734025, Republic of Tajikistan

E-mail: sash65@mail.ru, dilovarmirzohonov@mail.ru, kimyo84@mail.ru

Using potentiometric titration data, titration curves of the protonated form of 2-methylimidazole $[H_2MI]^+$ in water and water-alcohol solutions were constructed. Forms of formation curves correspond to weak monobasic acids. The value of the formation function (\bar{n}) for the studied systems varies between 0.45-0.87, which corresponds to the formation of one protonated form of 2-methylimidazole in aqueous and aqueous - alcoholic solutions. The acid dissociation constant (pK_a) of 2-methylimidazole at 298 K was determined by the pH - metric method in aqueous and aqueous - methanol (ethanol) solutions at different contents of the organic solvent. It was revealed that the maximum proportion of molecular form accumulation falls on pH 10-10.5. Below pH 10, the protonated form of 2-methylimidazole begins to accumulate in the solution. Starting from pH = 7.2-methylimidazole exists completely in protonated form in solution. With an increase in the concentration of alcohol in solution, an increase in the acidic properties of the protonated form of 2-methylimidazole is observed. The pK_a value of 2-methylimidazole in aqueous ethanol solutions is higher than that of aqueous methanol. The potentiometric method was used to study the complexation of cadmium (II) with 2-methylimidazole (2-MI) at 278-318 K. The effect of the nature and composition of the aqueous-organic solution on the stability of the complexes formed is established. It was revealed that during the interaction of cadmium (II) with 2-methylimidazole in aqueous and aqueous-alcoholic solutions four complex forms are formed. For each complex form, stability constants are found depending on the temperature and the content of non-aqueous solvent. It is shown that when methanol is added to water, an increase in the stability of all complex forms is observed. In contrast to water-methanol solutions in water-ethanol solutions, in addition to the complex particle $[CdL_4]^{2+}$, the stability of other complex forms pass through a minimum. Based on our own and published data, we conclude that the degree of influence that an organic solvent has on the stability of complexes cadmium (II) largely depends on changes in the solvation condition of the ligand molecule and the central atom.

Key words: cadmium (II), 2-methylimidazole, aqueous-organic solvent, complexation, acid dissociation

Для цитирования:

Сафармамадов С.М., Мирзохонов Д.Ч., Мабаткадамзода К.С. Комплексообразование кадмия (II) с 2-метилимидазолом в водных и водно-спиртовых растворах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 10. С. 36–45

For citation:

Safarmamadov S.M., Mirzokhonov D.Ch., Mabatkadadzoda K.S. Complex formation of cadmium (II) with 2-methylimidazole in aqueous and aqueous-alcohol solutions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 10. P. 36–45

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что кадмий используется для изготовления кадмиевых электродов, применяемых в аккумуляторах (никель-кадмиевых, серебряно-кадмиевых), нормальных элементах Вестона, в резервных батареях (свинцово-кадмиевый элемент, ртутно-кадмиевый элемент и др). В последние годы кадмий стал применяться при создании новых противоопухолевых наномедициментов. Комплексные соединения на основе кадмия с амидами и тиоамидами являются прекурсорами для получения наноразмерных частиц кадмия, его оксидов и сульфидов. Комплексы кадмия с тетрафенилпорфином используются для люминесцентного определения некоторых металлов. В работе [1] обнаружены люминесцентные свойства комплексов кадмия(II) и цинка(II) с 2-(4,5-диметил-1H-имидазол-2-ил)пиридином и 2-(1-гидрокси-4,5-диметил-1H-имидазол-2-ил)пиридином. Авто-

рамы [2] установлено, что комплекс Cd(II) с 1-(8-окси-2-хинолил)-3,5-диметилпиразолом обладает необычным оранжевым свечением ($\lambda_{\text{макс}} = 590$ нм) в водно-щелочном растворе. Вместе с тем в аналогичных условиях свободный 1-(8-окси-2-хинолил)-3,5-диметилпиразол практически не флуоресцирует. В литературе описаны также одноядерные, многоядерные [3] и полимерные [4] люминесцирующие координационные соединения Zn(II) и Cd(II).

Изучению смешанных комплексных соединений кадмия (II), цинка (II) и меди (II) с бензимидазолом, определению их ступенчатых и общих констант устойчивости посвящена работа [5]. Установлено влияние метиленовых, спиртовых и углерод-углерод связей на ступенчатые и общие константы устойчивости образующихся бензимидазолкарбоксилатных комплексов. Показано, что увеличение длины углеводородного радикала од-

ноосновной органической кислоты усиливает связь металл-амин, а присутствие во внутренней координационной сфере комплекса карбоксилатного лиганда повышает устойчивость связи металл-бензимидазол.

В работе [6] потенциометрическим методом определены константы протонирования никотинат-иона и константы устойчивости никотинатных комплексов железа (III) в среде водно-этанольного растворителя. Установлено, что изменение содержания этанола в смешанном растворителе оказывает слабое влияние на смещение кислотно-основных равновесий в растворе никотиновой кислоты. Гусевой Г.Б. и др. в [7] методами электронной спектроскопии и калориметрического титрования изучены особенности процессов комплексообразования кадмия (II) и других металлов с 3,3',4,4',5,5'-гексаметил-2,2'-дипирилолметеном в диметилформамиде. При этом установлено, что основными продуктами этих реакций являются хелатные комплексы состава $[MeL_2]$. За счет увеличения радиуса и понижения сродства к электрону иона Cd^{2+} реакция останавливается на стадии образования гетеролигандного комплекса. В работах [8-14] изучено комплексообразование кадмия и других металлов в различных органических растворителях. Установлено, что порфирилаты кадмия преимущественно ионные кинетически неустойчивые комплексы, при этом реакции металлообмена с такими катионами, как Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , или Cu^{2+} , протекают с образованием более прочных соединений. В ряде работ [15-29] приводятся данные об исследовании процесса комплексообразования разных металлов в водных и водно-спиртовых растворах. Работа [26] посвящена изучению комплексообразования серебра (I) с 2-меркаптобензимидазолом в водно-этанольных растворах. В научной литературе имеется ряд работ, посвященных исследованию комплексообразования кадмия (II) с органическими лигандами в водно-органических растворах [27, 28]. Данные, приведенные в этих работах, несколько противоречивы. Авторы работы [27], исследуя комплексообразование серебра и кадмия с пиридином, приходят к выводу, что устойчивость пиридинатов несколько уменьшается в ряду: вода – 25%-ный этиловый спирт – 50%-ный этиловый спирт. Далее при переходе к 75%-ному раствору спирта значения констант устойчивости не изменяются. Авторы [28], исследуя комплексообразование кадмия (II) с тиомочевинной, алиптиомочевинной, моноэтаноламином в водно-спиртовых растворах, установили,

что с увеличением мольной доли спирта в смеси устойчивость всех форм комплексов возрастает. В работе [29] приведены данные о комплексообразовании серебра (I) с 1,2,4 – триазолом в водно-спиртовых растворах. Установлено, что при переходе от водных к водно-спиртовым растворам устойчивость комплексов с возрастанием концентрации органического растворителя в растворе в начале уменьшается, а затем увеличивается. Следует отметить, что в перечисленных работах при интерпретации полученных данных не учитываются кислотно-основные свойства органических лигандов.

Ранее нами в работах [30-32] изучен процесс комплексообразования кадмия (II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом в водном и водно-спиртовых растворах переменного состава при 298 К. Было установлено, что кадмий (II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом последовательно образует четыре комплексные формы. С увеличением температуры устойчивость комплексов уменьшается, а при добавлении неводного компонента устойчивость этих комплексов увеличивается. Показано, что устойчивость комплексов зависит также от природы растворителя. Авторы [33] изучали процесс комплексообразования $Ag(I)$ с N,N-этилен-тиомочевинной в водно-метанольных растворах переменного состава. При этом установлено, что с возрастанием концентрации метанола в растворе общие константы устойчивости комплексов увеличиваются.

Анализ литературных источников показал, что экспериментальных данных по влиянию природы органического растворителя на процесс комплексообразования кадмия недостаточно. В связи с этим существует определенная сложность по установлению закономерностей влияния состава и природы растворителя на устойчивость комплексов кадмия (II).

Целью настоящей работы явилось изучение комплексообразования кадмия (II) с 2-метилимидазолом в водном и водно-спиртовых растворах, установление влияния природы и состава водно-органического раствора на кислотно-основные свойства 2-метилимидазола и устойчивость образующихся комплексов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве исходных соединений использовали 2-метилимидазол и $CdCl_2 \cdot 2H_2O$ марки «ч.д.а». Ионную силу создавали с использованием дважды перекристаллизованной $NaClO_4$. Индикаторными электродами служили стеклянный и

ионселективный кадмиевый, а электродом сравнения хлорсеребряный. Процесс комплексообразования исследовали в водном растворе при 278-318 К, и в водно-спиртовых растворах, переменного состава, содержащих 15, 35, 55, 75 и 96 об.% спирта при 298 К. Титрантом при изучении кислотно-основных свойств 2-метилимидазола являлся раствор HCl, а при исследовании комплексообразования водный, водно-метанольный (этанольный) раствор 2-метилимидазола. pH и потенциал системы при титровании измеряли с помощью pH – meter 150МП. Равновесное значение потенциала на индикаторном электроде устанавливалось в течение 10-15 мин. Температуру в ячейке поддерживали постоянной при помощи водяного термостата. Погрешность в измерении температуры составила $\pm 0,3$ °С. Все расчеты по определению равновесной концентрации $[Cd^{2+}]$, а также определению и уточнению констант устойчивости проводили с использованием компьютерных программ Excel. Для определения равновесной концентрации кадмия (II) по данным потенциометрического титрования использовали уравнение:

$$\lg[Cd^{2+}] = \lg C_{Cd^{2+}} - \Delta E / 1,985 \cdot 10^{-4} \cdot T/n$$

где: $[Cd^{2+}]$ – равновесная концентрация ионов кадмия в каждой точке титрования; $\Delta E = E_1 - E_2$; E_1 – начальный потенциал системы; E_2 – потенциал системы в каждой точке титрования; $C_{Cd^{2+}}$ – концентрация кадмия в каждой точке титрования с учетом разбавления; n – заряд Cd(II), T – температура.

Равновесную концентрацию 2-МИ рассчитывали по уравнению:

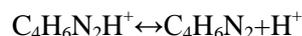
$$[2-МИ] = C_{2-МИ} - \nu (C_{Cd^{2+}} - [Cd^{2+}])$$

где: $[2-МИ]$ – равновесная концентрация 2-метилимидазола, $C_{2-МИ}$ – начальная концентрация 2-МИ (2-метилимидазол) в каждой точке титрования с учетом разбавления; ν – среднее число лигандов, присоединенных ионом Cd^{2+} ; $C_{Cd^{2+}}$ – концентрация ионов кадмия в каждой точке титрования с учетом разбавления; $[Cd^{2+}]$ – равновесная концентрация ионов кадмия в каждой точке титрования. Функцию F^0 рассчитывали по уравнению:

$$F^0 = \frac{C_{Cd^{2+}} - [Cd^{2+}]}{[2-МИ] \cdot [Cd^{2+}]}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Константу кислотной диссоциации (pK_a) 2-метилимидазола определяли pH-метрическим методом в водном и водно-метанольных (этанольных) растворах, содержащих 15, 35, 55, 75, 96 об.% спирта при $25 \pm 0,5$ °С. Для каждого исследуемого раствора проводилось не менее двух-трех измерений pH. Ионную силу растворов создавали хлоридом калия ($I = 0,1$). Диссоциация протонированной формы 2-метилимидазола протекает по уравнению:



В табл. 1 в качестве примера приведены результаты pH-метрического титрования протонированной формы 2-метилимидазола.

Таблица 1

Результаты pH-метрического титрования протонированной формы 2-метилимидазола в водном растворе при 298 К, $C_{2-МИ} = 0,01$ моль/л

Table 1. The results of pH-metric titration of the protonated form of 2-methylimidazole in an aqueous solution at 298 K, $C_{2-МИ} = 0.01$ mol/l

Титрант 0,1 моль/л HCl, мл	pH	$C_{2-МИ}$, моль/л	$[H_2MI]^+$, моль/л	$[H^+] \cdot 10^{-10}$ моль/л	pK_a	\bar{n}
1	2	3	4	5	6	7
-	10,48	0,01	-	-	-	-
0,10	10,15	0,0096	0,0004	0,7	8,77	0,45
0,20	9,90	0,0092	0,0008	1,3	8,84	0,602
0,30	9,76	0,0088	0,0012	1,7	8,89	0,678
0,40	9,64	0,0084	0,0016	2,3	8,91	0,723
0,50	9,53	0,0080	0,0020	3,0	8,92	0,753
0,60	9,44	0,0077	0,0023	3,6	8,93	0,774
0,70	9,34	0,0073	0,0027	4,6	8,91	0,791
0,80	9,28	0,0069	0,0031	5,2	8,93	0,803
0,90	9,19	0,0065	0,0035	6,5	8,92	0,813
1,00	9,12	0,0062	0,0038	7,6	8,92	0,821
1,10	9,03	0,0058	0,0042	9,3	8,89	0,828
1,20	8,97	0,0054	0,0046	10,7	8,90	0,834
1,30	8,88	0,0051	0,0049	13,2	8,87	0,839
1,40	8,83	0,0047	0,0053	14,8	8,88	0,843
1,50	8,75	0,0043	0,0057	17,8	8,87	0,847

1	2	3	4	5	6	7
1,60	8,69	0,0040	0,0060	20,4	8,87	0,850
1,70	8,61	0,0036	0,0064	24,5	8,85	0,853
1,80	8,50	0,0033	0,0067	31,6	8,81	0,856
1,90	8,41	0,0029	0,0071	38,9	8,79	0,858
2,00	8,27	0,0026	0,0074	53,7	8,73	0,860
2,10	8,16	0,0023	0,0077	69,2	8,70	0,862
2,20	8,01	0,0019	0,0081	97,7	8,64	0,864
2,30	7,84	0,0016	0,0084	144,5	8,57	0,866
2,40	7,67	0,0012	0,0088	213,8	8,52	0,867

На рис. 1 в качестве примера приведены кривые титрования протонированной формы 2-метилимидазола $[H_2MI]^+$ в водном и водно-метанольном растворе. Формы кривых образования соответствуют слабым одноосновным кислотам. Величина \bar{n} для изучаемых систем изменяется в пределах 0,45-0,87, что соответствует образованию одной протонированной формы 2-метилимидазола в водных и водно-спиртовых растворах.

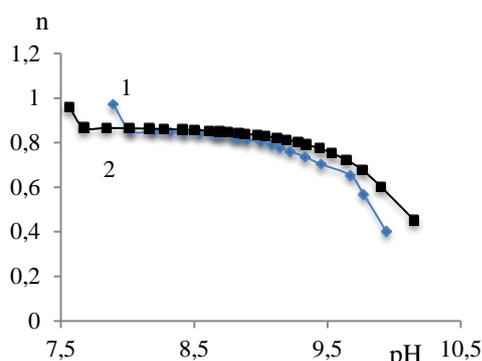


Рис. 1. Зависимость функции Бьеррума от pH для системы: (1) 2-метилимидазол – вода; (2) 2-метилимидазол – вода – 15 объемн.% CH_3OH

Fig. 1. pH dependence of the Berrum function for the system: (1) 2-methylimidazole - water; (2) 2-methylimidazole - water - 15 vol.% CH_3OH

Рис. 2 отражает долевое распределение протонированных, молекулярных и депротонированных форм 2-метилимидазола от pH в водном растворе. Максимальная доля накопления молекулярной формы приходится на pH = 10-10,5. Ниже pH = 10 в растворе начинает накапливаться протонированная форма 2-метилимидазола. Начиная от pH = 7 2-метилимидазол находится в растворе полностью в протонированной форме.

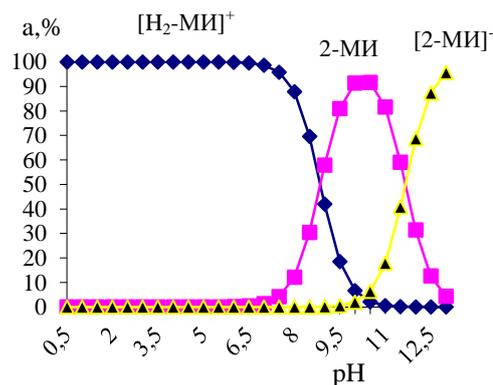


Рис. 2. Долевое распределение протонированных, молекулярных и депротонированных форм 2-метилимидазола в водном растворе

Fig. 2. The fractional distribution of protonated, molecular and deprotonated forms of 2-methylimidazole in an aqueous solution

В табл. 2 приведены значения pK_a протонированной формы 2-МИ в воде и водно-спиртовых растворах. С увеличением концентрации спирта в растворе наблюдается усиление кислотных свойств протонированной формы 2-метилимидазола (т.е., устойчивость протонированной формы 2-метилимидазола уменьшается). Вместе с тем значение pK_a в водно-этанольных растворах выше, чем в водно-метанольных.

Установлено, что при титровании как водного, так и водно-спиртового раствора кадмия (II) раствором 2-метилимидазола при 278-318 К потенциал гальванической цепи уменьшается. В табл. 3 в качестве примера приведены экспериментальные данные потенциометрического титрования кадмия(II) 2-метилимидазолом при 298 К в водном растворе.

Таблица 2

Константа диссоциации протонированной формы 2-МИ при различном содержании органического растворителя в растворе

Table 2. Dissociation constant of the protonated form of 2-MI with different organic solvent content in the solution

pK_a	CH_3OH	0%	15%	35%	55%	75%	96%
		C_2H_5OH	$8,80 \pm 0,1$	$8,36 \pm 0,05$	$8,14 \pm 0,05$	$7,99 \pm 0,04$	$7,76 \pm 0,06$
			$8,56 \pm 0,1$	$8,31 \pm 0,04$	$8,27 \pm 0,07$	$8,22 \pm 0,04$	$8,13 \pm 0,06$

Таблица 3

Результаты потенциометрического титрования кадмия (II) 2-метилимидазолом в водном растворе при 298 К
 $C_{Cd^{2+}} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{2-МИ} = 1 \cdot 10^{-1}$ моль/л, $I = 0,1$ моль/л ($NaClO_4$)

Table 3. The results of potentiometric titration of cadmium (II) 2-methylimidazole in an aqueous solution at 298 K

$C_{Cd^{2+}} = 1 \cdot 10^{-3}$ mol/l, $C_{2-МИ} = 1 \cdot 10^{-1}$ mol/l, $I = 0.1$ mol/l ($NaClO_4$)

E, mV	ΔE , mV	$C_{2-МИ}$, моль/л	[2-МИ], моль/л	Cd^{2+} , моль/л	[Cd^{2+}], моль/л
-137,1	-	-	-	0,001	-
-156,4	19,3	0,0035	0,00049	0,00096	0,00021
-160,3	23,2	0,0053	0,0021	0,00095	0,00015
-164,2	27,1	0,0070	0,0038	0,00093	0,00011
-167,4	30,3	0,0088	0,0054	0,00091	0,000087
-170,5	33,4	0,0102	0,0071	0,00089	0,000068
-174,3	37,2	0,0120	0,0086	0,00088	0,000049
-177,2	40,1	0,0135	0,0102	0,00086	0,000038
-179,0	41,9	0,0149	0,0116	0,00085	0,000032
-184,1	47,0	0,0169	0,0137	0,00083	0,000021
-187,0	49,9	0,0188	0,0156	0,00081	0,000016
-189,3	52,2	0,0206	0,0175	0,00079	0,000013
-192,4	55,3	0,0231	0,0200	0,00076	0,000010
-193,7	56,6	0,0250	0,0224	0,00074	0,0000094
-195,4	58,3	0,0285	0,02574	0,00071	0,0000077
-198,2	61,1	0,0315	0,0287	0,00068	0,0000058
-199,5	62,4	0,0342	0,0316	0,00066	0,0000052
-201,6	64,5	0,0375	0,0350	0,00062	0,0000043
-204,7	67,6	0,0411	0,0388	0,00059	0,0000032
-207,3	70,2	0,0444	0,0422	0,00055	0,0000023
-209,1	72,0	0,0473	0,0453	0,00052	0,0000019
-211,2	74,1	0,0504	0,0485	0,00049	0,0000015
-212,4	75,3	0,0532	0,0514	0,00046	0,0000013
-215,3	78,2	0,0572	0,0555	0,00042	0,00000097
-217,4	80,3	0,0606	0,0591	0,00039	0,00000076
-220,2	83,3	0,0659	0,0646	0,00034	0,00000052
-224,5	87,0	0,0701	0,0690	0,00029	0,00000033
-227,7	90,6	0,0732	0,0721	0,00026	0,00000023

На основании данных потенциометрического титрования строили график зависимости ΔE от $-\lg[2-МИ]$. В качестве примера приведены такие зависимости для двух температур (рис. 3).

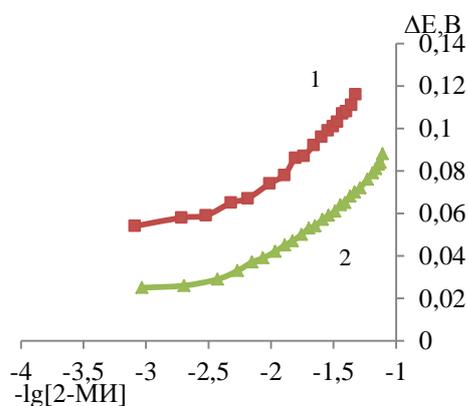


Рис 3. Зависимость ΔE от $-\lg[2-МИ]$ для 2-метилимидазольных комплексов кадмия (II) в водном растворе при 288 (1) и 298 К (2)

Fig. 3. Dependence of ΔE on $-\lg [2-МИ]$ for 2-methylimidazole cadmium (II) complexes in aqueous solution at 288 (1) and 298 K (2)

Установлено, что при всех изученных температурах зависимость ΔE от $-\lg[2-МИ]$ имеет нелинейный характер, что свидетельствует о протекании ступенчатого комплексобразования между $Cd(II)$ и 2-метилимидазолом. Вместе с тем на зависимостях ΔE от $-\lg[2-МИ]$ найдены четыре прямолинейных участка. Углы прямых зависимости ΔE от $-\lg[2-МИ]$ при избытке 2-метилимидазола в растворе были равными: 278 К – 0,111; 288 К – 0,114; 298 К – 0,118 и 308 К – 0,121 В·моль·л⁻¹, что соответствует образованию насыщенного комплекса состава $[CdL_4]^{2+}$. При температуре 318 К угол наклона был равен 0,095 В·моль·л⁻¹, что соответствует образованию комплекса состава $[CdL_3]^{2+}$. При более низких концентрациях 2 – МИ углы наклонов меняются (точнее уменьшаются), что соответствует образованию комплексных частиц с меньшим числом лигандов.

Проведенные исследования показали, что водный раствор 2-метилимидазола имеет pH = 10,5.

Долевое распределение протонированных и молекулярных форм 2-метилимидазола от pH (рис. 2) показывает, что при pH = 10-11 2-метилимидазол в основном находится в молекулярной форме. В этой форме, по-нашему мнению, он и участвует в реакции комплексообразования с кадмием (II). Составы и величины общих констант устойчивости комплексов Cd(II) с 2-метилимидазолом при разных температурах определяли по методике, предложенной Фридманом, и нелинейным методом наименьших квадратов [34]. В табл. 4 приведены величины общих констант устойчивости 2-метил-имидазольных комплексов кадмия (II), найденные методом Фридмана.

Проведенные исследования показали, что при взаимодействии кадмия (II) с 2-метилимидазолом в водном растворе в интервале температур 278-308 К образуются четыре комплексные формы, устойчивость которых с возрастанием температуры уменьшается. Устойчивость четвертой комплексной формы при 318 К определить нам не удалось. Сравнение комплексообразования кадмия(II) с 2-метилимидазолом и 1-метил-2-меркаптоимидазолом показало, что по устойчивости 2-метилимидазольные комплексы кадмия(II) пре-

восходят 1-метил-2-меркаптоимидазольные (при 298 К величина $\lg\beta_1$ для монозамещенного комплекса Cd(II) с 2-метилимидазолом составляет 3,52 лог.ед, а для 1-метил-2-меркаптоимидазольного комплекса 2,9 лог.ед.).

Таблица 4

Величины общих констант устойчивости 2-метилимидазольных комплексов кадмия (II) при разных температурах

Table 4. Values of the total stability constants of cadmium (II) 2-methylimidazole complexes at different temperatures

T, K	$\lg\beta_1$ [CdL] ²⁺	$\lg\beta_2$ [CdL ₂] ²⁺	$\lg\beta_3$ [CdL ₃] ²⁺	$\lg\beta_4$ [CdL ₄] ²⁺
278	4,32±0,04	6,25±0,03	7,68±0,03	9,11±0,02
288	3,92±0,09	5,76±0,12	7,06±0,14	8,35±0,02
298	3,52±0,02	5,23±0,09	6,54±0,08	7,66±0,16
308	3,22±0,13	4,86±0,12	6,22±0,01	7,05±0,01
318	2,90±0,24	4,46±0,05	5,85±0,02	-

В табл. 5 (а, б) приведены величины общих констант устойчивости 2-метилимидазольных комплексов кадмия (II) в водных и водно-спиртовых растворах при 298 К.

Таблица 5

Величины общих констант устойчивости 2-метилимидазольных комплексов кадмия (II) в водных и водно-спиртовых растворах

Table 5. Values of the total stability constants of cadmium (II) 2-methylimidazole complexes in aqueous and aqueous-alcoholic solutions

а)

Общая константа устойчивости	H ₂ O	CH ₃ OH 15%	CH ₃ OH 35%	CH ₃ OH 55%	CH ₃ OH 75%	CH ₃ OH 96%
$\lg\beta_1$ ([CdL] ²⁺)	3,52±0,02	3,74±0,08	3,79±0,03	4,12±0,08	4,35±0,23	4,56±0,2
$\lg\beta_2$ ([CdL ₂] ²⁺)	5,23±0,09	5,84±0,02	5,88±0,06	6,48±0,24	6,77±0,04	6,97±0,02
$\lg\beta_3$ ([CdL ₃] ²⁺)	6,54±0,08	7,25±0,05	7,49±0,06	8,01±0,30	8,28±0,13	8,43±0,05
$\lg\beta_4$ ([CdL ₄] ²⁺)	7,66±0,16	7,87±0,09	8,56±0,01	9,09±0,45	9,33±0,07	9,45±0,09

б)

Общая константа устойчивости	H ₂ O	C ₂ H ₅ OH-15%	C ₂ H ₅ OH-35%	C ₂ H ₅ OH-55%	C ₂ H ₅ OH-75%	C ₂ H ₅ OH-96%
$\lg\beta_1$ ([CdL] ²⁺)	3,52±0,02	2,89±0,09	2,99±0,08	3,10±0,02	3,14±0,09	3,60±0,03
$\lg\beta_2$ ([CdL ₂] ²⁺)	5,23±0,09	4,64±0,12	4,87±0,11	4,90±0,09	4,99±0,02	5,85±0,16
$\lg\beta_3$ ([CdL ₃] ²⁺)	6,54±0,08	6,41±0,15	6,59±0,12	6,66±0,01	6,73±0,18	7,53±0,10
$\lg\beta_4$ ([CdL ₄] ²⁺)	7,66±0,16	7,84±0,13	8,10±0,19	8,13±0,07	8,32±0,12	9,01±0,02

Как видно из табл. 5(а), при добавлении к воде метанола наблюдается увеличение устойчивости всех комплексных форм. Устойчивость протонированной формы 2-метилимидазола в тех же условиях понижается (табл. 2). В отличие от водно-метанольных растворов, в водно-этанольных растворах (табл. 5 (б)) кроме комплексной частицы [CdL₄]²⁺ устойчивость других комплексных форм проходит через минимум. Полученный экс-

периментальный факт соответствует литературным данным по комплексообразованию серебра с некоторыми гетероциклическими аминами в водно-этанольных растворах.

ВЫВОДЫ

Определены константы кислотной диссоциации (pK_a) протонированной формы 2-метилимидазола в водном и водно-спиртовых растворах, содержащих 15, 35, 55, 75, 96 об.% органиче-

ского растворителя при температуре $25 \pm 0,05$ °С. Показано, что с увеличением концентрации спирта в растворе наблюдается незначительное усиление кислотных свойств протонированной формы 2-метилимидазола.

Анализ экспериментальных и литературных данных позволяет сделать вывод о том, что степень влияния, которую оказывает органиче-

ский растворитель на устойчивость комплексов, во многом зависит от изменения сольватного состояния молекулы 2-МИ и центрального атома. Возрастание устойчивости комплексов в результате пересольватации, скорее всего, связано с тем, что связь металла со спиртом несколько меньше, чем энергия связи с водой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушуев М.Б., Селиванов Б.А., Первухина Н.В., Наумов Д.Ю., Рахманова М.И., Шелудякова Л.А., Тихонов А.Я., Ларионов С.В. Люминесцирующие комплексы цинка(II) и кадмия(II) на основе 2-(4,5-диметил-1H-имидазол-2-ил)пиридина и 2-(1-гидрокси-4,5-диметил-1H-имидазол-2-ил)пиридина. *Журн. общей химии*. 2012. Т. 82. № 11. С. 1870-1879. DOI: 10.1134/S1070363212110230.
2. Bushuev M.B., Vinogradova K.A., Krivopalov V.P., Nikolaenkova E.B., Pervukhina, N.V., Naumov D.Yu., Rakhmanova M.I., Uskov E.M., Sheludyakova L.A., Alekseev A.V., Larionov S.V. Zinc(II) and cadmium(II) complexes based on 4-(3,5-diphenyl-1H-pyrazol-1-yl)-6-(piperidin-1-yl)pyrimidine (L): Synthesis, structure, luminescence. Double lone pair- π interactions in the structure of ZnL_2Cl_2 . *Inorg. Chim. Acta*. 2011. V. 371. P. 88-94. DOI: 10.1016/j.ica.2011.03.007.
3. Zheng S.L., Chen X.M. Recent advances in luminescent monomeric, multinuclear, and polymeric Zn(II) and Cd(II) coordination complexes. *Aust. J. Chem.* 2004. V. 57. N 8. P. 703-712. DOI: 10.1071/ch04008.
4. Erxleben A. Structures and properties of Zn(II) coordination polymers. *Coord. Chem. Rev.* 2003. V. 246. N 1-2. P. 203-228. DOI: 10.1016/s0010-8545(03)00117-6.
5. Харитонов Г.В., Болотов В.М., Харитонova P.И. Об устойчивости бензимидазолкарбоксилатных комплексов некоторых d-металлов. *Журн. неорган. химии*. 1979. Т. XXIV. Вып. 12. С. 3337-3339.
6. Куранова Н.Н., Граждан К.В., Шарнин В.А., Душина С.В., Черников В.В. Константы кислотно-основных равновесий и комплексообразования в водно-этанольных растворах никотиновой кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2006. Т. 49. Вып. 12. С. 37-39.
7. Гусева Г.Б., Антина Е.В., Вьюгин А.И., Логинова А.Е. Процессы координации ацетатов меди(II), никеля(II), цинка(II), кобальта(II), и кадмия(II) с 3,3',4,4',5,5'-гексаметилдипирролилметаном. *Коорд. химия*. 2008. Т. 34. № 8. С. 606-612. DOI: 10.1134/s1070328408080071.
8. Куранова Н.Н., Гушина А.С., Граждан К.В., Шарнин В.А., Душина С.В., Шарнин В.А. Устойчивость координационных соединений меди(II) с никотинат-ионом в водных растворах этанола и диметилсульфоксида. *Журн. неорган. химии*. 2016. Т. 61. № 12. С. 1679-1682. DOI: 10.1134/S003602361612010X.
9. Макарова С.П., Румянцев Е.В., Антина Е.В. Термодинамические характеристики образования моно- и биядерных билединовых хелатов Ni(II), Cu(II), Zn(II), Cd(II) и Hg(II) в диметилформамидных растворах. *Журн. физ. химии*. 2008. Т. 82. № 12. С. 2255-2259. DOI: 10.1134/s0036024408120108.

REFERENCES

1. Bushuev M.B., Selivanov B.A., Pervukhina N.V., Naumov D.Y., Rakhmanova M.I., Sheludyakova L.A., Tikhonov A.Ya., Larionov S.V. Luminescent complexes of zinc (II) and cadmium (II) based on 2-(4, 5-dimethyl-1H-imidazol-2-yl) pyridine and 2-(1-hydroxy-4,5-dimethyl-1H-imidazol-2-yl) pyridine. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2012. V. 82. N 11. P. 1870-1879 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070363212110230.
2. Bushuev M.B., Vinogradova K.A., Krivopalov V.P., Nikolaenkova E.B., Pervukhina, N.V., Naumov D.Yu., Rakhmanova M.I., Uskov E.M., Sheludyakova L.A., Alekseev A.V., Larionov S.V. Zinc(II) and cadmium(II) complexes based on 4-(3,5-diphenyl-1H-pyrazol-1-yl)-6-(piperidin-1-yl)pyrimidine (L): Synthesis, structure, luminescence. Double lone pair- π interactions in the structure of ZnL_2Cl_2 . *Inorg. Chim. Acta*. 2011. V. 371. P. 88-94. DOI: 10.1016/j.ica.2011.03.007.
3. Zheng S.L., Chen X.M. Recent advances in luminescent monomeric, multinuclear, and polymeric Zn(II) and Cd(II) coordination complexes. *Aust. J. Chem.* 2004. V. 57. N 8. P. 703-712. DOI: 10.1071/ch04008.
4. Erxleben A. Structures and properties of Zn(II) coordination polymers. *Coord. Chem. Rev.* 2003. V. 246. N 1-2. P. 203-228. DOI: 10.1016/s0010-8545(03)00117-6.
5. Kharitonov G.V., Bolotov V.M., Kharitonova R.I. On the stability of benzimidazole carboxylate complexes of certain d-metals. *Zhurn. Neorg. Khim.* 1979. V. XXIV. N 12. P. 3337-3339 (in Russian).
6. Kuranova N.N., Grazhdan K.V., Sharnin V.A., Dushina S.V., Chernikov V.V. Constants of acid-base equilibria and formation of complexes in water-ethanol solution of nicotinic acid. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2006. V. 49. N 12. P. 37-39 (in Russian).
7. Guseva G.B., Antina E.V., Vyugin A.I., Loginova A.E. Complex formation of copper (II), nickel (II), zinc (II), cobalt (II), and cadmium (II) acetates with 3,3', 4,4', 5,5'-hexamethyldipyrrolylmethene. *Koord. Khim.* 2008. V. 34. N 8. P. 606-612 (in Russian). DOI: 10.1134/s1070328408080071.
8. Kuranova N.N., Gushchina A.S., Citizens K.V., Sharnin V.A., Dushina S.V., Sharnin V.A. Stability of coordination compounds of copper (II) with nicotinate ion in aqueous solutions of ethanol and dimethyl sulfoxide. *Zhurn. Neorg. Khim.* 2016. V. 61. N 12. P. 1679-1682 (in Russian). DOI: 10.1134/S003602361612010X.
9. Makarova S.P., Rumyantsev E.V., Antina E.V. Thermodynamic characteristics of the formation of mono- and binuclear biladiene chelates Ni (II), Cu (II), Zn (II), Cd (II) and Hg (II) in dimethylformamide solutions. *Zhurn. Fiz. Khim.* 2008. V. 82. N 12. P. 2255-2259 (in Russian). DOI: 10.1134/s0036024408120108.

10. **Звездина С.В., Мамардашвили Н.Ж.** Реакция металлообмена 5-моноаза-2,3,7,8,12,13,17,18-октаметилпорфирината кадмия с хлоридами Zn(II) и Cu(II) в диметилсульфоксиде. *Коорд. химия*. 2012. Т. 38. № 5. С. 333-338. DOI: 10.1134/s1070328412050120.
11. **Мальцева О.В., Звездина С.В., Чижова Н.В., Мамардашвили Н.Ж.** Комплексообразование β-бромзамещенных тетрафенилпорфиринов и металлообмен их кадмиевых комплексов с солями d-металлов в диметилформамиде. *Журн. общей химии*. 2016. Т. 86. Вып. 1. С. 110-117. DOI: 10.1134/s1070363216010187.
12. **Исаева В.А. Гессе Ж.Ф., Наумов В.В., Шарнин В.А.** Изменение устойчивости глицинатных комплексов серебра (I) в водно-ацетоновых и водно-изопропанольных растворах. *Журн. неорганической химии*. 2007. Т. 52. № 7. С. 1243-1246. DOI: 10.1134/s0036023607070315.
13. **Гамов Г.А., Душина С.В., Шарнин В.А.** Константы устойчивости комплексов Ni(II)-никотинамид в водно-этанольных растворах. *Журн. физ. химии*. 2014. Т. 88. № 5. С. 787-790. DOI: 10.1134/s0036024414050094.
14. **Березин М.Б., Березин Б.Д., Сырбу С.А.** Комплексообразование тетра (3,5-ди-tert-бутилфенил)порфина с ацетатами меди (II) и цинка (II) в органических растворителях. *Коорд. химия*. 2009. Т. 35. № 5. С. 341-346. DOI: 10.1134/s1070328409050042.
15. **Шилова С.В., Третьякова А.Я., Безруков А.Н., Барабанов В.П.** Объемные и поверхностные смеси водно-изопропанольных растворов катионного полиэлектролита и анионного ПАВ. *Ползунов. вестн.* 2006. № 2. С. 36-40.
16. **Сальников Ю.И., Боос Г.А., Рыжкина И.С., Лукашенко С.С., Мингалеева Г.Р.** Комплексообразование меди (II) с 2,6-бис(диметиламинометил)-4-метилфенолом в присутствии поверхностно-активных веществ. *Коллоид. журн.* 2007. Т. 69. № 5. С. 673-679. DOI: 10.1134/s1061933x07050146.
17. **Бобоев Ш.А.** Использование метода LS-SVM для изучения процесса комплексообразования переходных металлов с производными тиомочевины в водных и водно-органических растворах. *Сб. научн. тр. Новосибирск. гос. техн. ун-та*. 2019. № 1 (94). С. 71-84. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-71-84.
18. **Молчанов А.С., Леденков С.Ф., Шарнин В.А.** Кислотная диссоциация дофамина и устойчивость его комплексов с ионами Cu(II) в смесях вода-этанол. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2010. Т. 53. Вып. 12. С. 32-36.
19. **Амерханова Ш.К., Нуркенов О.А., Фазылов С.Д., Шляпов Р.М.** Синтез и комплексообразующая способность N-[2-(морфолиноацетил) гидразинокарботиоил]бензамида. *Журн. общей химии*. 2012. Т. 82. Вып. 11. С. 1825-1828. DOI: 10.1134/s1070363212110138.
20. **Мударисова Р.Х., Исламова Р.М.** Изучение комплексообразования арабиногалактана лиственницы сибирской и его окисленных фракций с йодом. *Химия растит. сырья*. 2014. № 4. С. 85-90.
21. **Шилова С.В., Третьякова А.Я., Барабанов В.П.** Комплексообразование алкилсульфатов натрия с хитозаном в водно-этанольных средах. *Журн. прикл. химии*. 2014. Т. 87. Вып. 12. С. 1851-1858. DOI: 10.1134/s1070427214120210.
22. **Сивандаева Т.С., Аль Ансари С.В.** Комплексообразование меди (II) с этилендиамином в водно-спиртовом растворе. Сб. ст. Всеросс. науч. конф. «Современные проблемы медицины и естественных наук». 2018. Вып. 7. С. 316-319. DOI: 10.32363/978-5-6041443-5-0-2018.
10. **Zvezdina S.V., Mamardashvili N.Zh.** Metal exchange reaction of 5-monoase-2,3,7,8,12,13,17,18-cadmium octamethylporphyrinate with Zn (II) and Cu (II) chlorides in dimethyl sulfoxide. *Koord. Khim.* 2012. V. 38. N 5. P. 333-338 (in Russian). DOI: 10.1134/s1070328412050120.
11. **Maltseva O.V., Zvezdina S.V., Chizhova N.V., Mamardashvili N.Zh.** Complexation of β-brominated tetraphenylporphyrins and metal exchange of their cadmium complexes with d-metal salts in dimethylformamide. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2016. V. 86. Iss. 1. P. 110-117 (in Russian). DOI: 10.1134/s1070363216010187.
12. **Isaeva V.A., Gesse J.F., Naumov V.V., Sharnin V.A.** Stability of silver (I) glycinato complexes in water-acetone and water-isopropanol solutions. *Zhurn. Neorg. Khim.* 2007. V. 52. N 7. P. 1243-1246 (in Russian). DOI: 10.1134/s0036023607070315.
13. **Gamov G.A., Dushina S.V., Sharnin V.A.** Stability constants of Ni (II) -nicotinamide complexes in aqueous ethanol solutions. *Zhurn. Fiz. Khim.* 2014. V. 88. N 5. P. 787-790 (in Russian). DOI: 10.1134/s0036024414050094.
14. **Berezin M.B., Berezin B.D., Syrbu S.A.** Complex formation of tetra (3,5-di-tert-butylphenyl) porphin with copper (II) and zinc (II) acetates in organic solvents. *Koord. Khim.* 2009. V. 35. N 5. P. 341-346 (in Russian). DOI: 10.1134/s1070328409050042.
15. **Shilova S.V., Tretyakova A.Ya., Bezrukov A.N., Barabanov V.P.** Volumetric and surface mixtures of water-isopropanol solutions of cationic polyelectrolyte and anionic surfactant. *Polzunov. Vestn.* 2006. N 2. P. 36-40 (in Russian).
16. **Salnikov Yu.I., Boos G.A., Ryzhkina I.S., Lukashenko S.S., Mingaleeva G.R.** Complexation of copper (II) with 2,6-bis (dimethylaminomethyl) -4-methylphenol in the presence of surfactants. *Kolloid. Zhurn.* 2007. V. 69. N 5. P. 673-679 (in Russian). DOI: 10.1134/s1061933x07050146.
17. **Boboev Sh.A.** Using the LS-SVM method to study of the process of complexation of transition metals with thiourea derivatives in aqueous and aqueous - organic solutions. *Sb. Nauch. tr. Novosibirsk. Gos. Tekhn. Un-ta*. 2019. N 1 (94). P. 71-84 (in Russian). DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-71-84.
18. **Molchanov A.S., Ledenkov S.F., Sharnin V.A.** Acid dissociation dopamine and stability of its complexes with Cu (II) ions in water-ethanol mixtures. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2010. V. 53. N 12. P. 32-36 (in Russian).
19. **Amerkhanova Sh.K., Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Shlyapov R.M.** Synthesis and complexing ability of N- [2-(morpholinoacetyl) hydrazinocarbothioyl] benzamide. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2012. V. 82. N 11. P. 1825-1828 (in Russian). DOI: 10.1134/s1070363212110138.
20. **Mударисова Р.Х., Исламова Р.М.** Study of the complexation of arabinogalactan of Siberian larch and its oxidized fractions with iodine. *Khimiya Rastit. Syr'ya*. 2014. N 4. P. 85-90 (in Russian).
21. **Shilova S.V., Tretyakova A.Ya., Barabanov V.P.** Complexation of sodium alkyl sulfates with chitosan in aqueous - ethanol media. *Zhurn. Prikl. Khim.* 2014. V. 87. N 12. P. 1851-1858 (in Russian). DOI: 10.1134/s1070427214120210.
22. **Sivandaeva T.S., Al Ansari S.V.** Complexation of copper (II) with ethylenediamine in a water-alcohol solution. *Sb. St. Vseross. nauchn. konf. "Modern problems of medicine and natural sciences."* 2018. N 7. P. 316-319 (in Russian). DOI: 10.32363/978-5-6041443-5-0-2018.

23. **Осипова Г.В., Петров О.А.** Каталитическое влияние азотсодержащего основания на комплексообразование окта(м-трифторметилфенил)порфиразина и гекса(м-трифторметилфенил)-бензопорфиразина с ацетатом цинка в бензоле. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 6. С. 4-11. DOI: 10.6060/ivkkt.20206306.6186.
24. **Бычкова С.А., Гоболетова Г.Г., Фролова К.О.** Исследование комплексообразования Co(II) с триглицином в водном растворе. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 2. С. 21-25. DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6020.
25. **Исаева В.А., Молчанов А.С., Шишкин М.В., Кипятков К.А., Шарнин В.А.** Влияние компонентного состава раствора EtOH:H₂O на устойчивость глицилглицинатных комплексов кобальта(II). *Журн. неорг. химии.* 2020. Т. 65. № 4. С. 517-521. DOI: 10.31857/S0044457X20040078.
26. **Safarmamadov S.M., Karimova Z.I., Bakhodurov Yu.F., Mabatkadadzoda K.S.** Formation of complexes of silver(I) and 2-mercaptobenzimidazole in water-ethanol solutions. *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2020. V. 94. N 6. P. 1119-1124.
27. **Буду Г.В., Назарова Л.В.** Влияние природы растворителя на устойчивость комплексных соединений серебра с производными пиридина. *Журн. неорганической химии.* 1973. Т. XVIII. Вып. 6. С. 1531-1535.
28. **Циплякова В.А.** Изучение комплексообразования кадмия с аллилтиомочевинной в водно-метанольных растворах. *Журн. неорганической химии.* 1973. Т. XVIII. Вып. 5. С. 1191-1193.
29. **Мудинов Х.Г., Сафармамадов С.М.** Комплексообразование серебра (I) с 1,2,4-триазолом в водно-спиртовых растворах. *Вестн. Таджик. нац. ун-та.* 2015. № 1/6(191). С. 103-108.
30. **Мирзохонов Д.Ч., Мабаткадамзода К.С., Сафармамадов С.М.** Комплексообразование кадмия(II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом в водно-спиртовых растворах. *Изв. СПб. гос. технол. ин-та (ТУ).* 2018. № 44. С. 3-6.
31. **Мирзохонов Д.Ч., Мабаткадамзадова К.С., Сафармамадов С.М.** Комплексообразование кадмия(II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом в интервале 283-323K. *Вестн. Таджик. нац. ун-та.* 2016. 1/3(200). С. 138-143.
32. **Мирзохонов Д.Ч., Сафармамадов С.М., Мабаткадамзадова К.С.** Комплексообразование кадмия (II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом в водных и водно-спиртовых растворах. XXVII Междунар. Чугаев. конф. по коорд. химии. Нижний Новгород. 2017. С. 280.
33. **Сафармамадов С.М., Содатдинова А.С.** Влияние природы растворителя на процесс комплексообразования серебра (I) с N,N-этилентиомочевинной. *Матер. республ. науч.-теорет. конф. проф.-препод. сост. и сотр. ТНУ. Душанбе.* 2015. С. 29-30.
34. **Хартли Ф.** Равновесия в растворах. М.: Мир. 1983. 365 с.
23. **Osipova G.V., Petrov O.A.** Catalytic effect of a nitrogen-containing base on the complexation of oct (m-trifluoromethylphenyl) porphyrzine and hex (m-trifluoromethylphenyl) benzoporphyrzine with zinc acetate in benzene. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2020. V. 63. N 6. P. 4-11 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206306.6186.
24. **Bychkova S.A. Goboletova G.G., Frolova K.O.** Study of the complexation of Co (II) with triglycine in an aqueous solution. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2020. V. 63. N 2. P. 21-25 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6020.
25. **Isaeva V.A., Molchanov A.S., Shishkin M.V., Kipyatkov K.A., Sharnin V.A.** Effect of the component composition of a solution of EtOH: H₂O on the stability of cobalt (II) glycylic complexes. *Zhurn. Neorg. Khim.* 2020. V. 65. N 4. P. 517-521 (in Russian). DOI: 10.31857/S0044457X20040078.
26. **Safarmamadov S.M., Karimova Z.I., Bakhodurov Yu.F., Mabatkadadzoda K.S.** Formation of complexes of silver(I) and 2-mercaptobenzimidazole in water-ethanol solutions. *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2020. V. 94. N 6. P. 1119-1124.
27. **Budu G.V., Nazarova L.V.** The effect of the nature of the solvent on the stability of silver complex compounds with pyridine derivatives. *Zhurn. Neorg. Khim.* 1973. V. XVIII. N 6. P. 1531-1535 (in Russian).
28. **Tsipliyakova V.A.** The study of the complexation of cadmium with allylthiourea in water-methanol solutions. *Zhurn. Neorg. Khim.* 1973. V. XVIII. N 5. P. 1191-1193 (in Russian).
29. **Mudinov Kh.G., Safarmamadov S.M.** Complexation of silver (I) with 1,2,4-triazole in water - alcohol solutions. *Vestn. Tadjik. Nats. Un-ta.* 2015. N 1/6 (191). P. 103-108 (in Russian).
30. **Mirzokhonov D.Ch., Mabatkadadzoda K.S., Safarmamadov S.M.** Complexation of cadmium (II) with 1-methyl-2-mercaptoimidazole in aqueous-alcoholic solutions. *Izv. SPb. Gos. Tekhnol. In-t (TU).* 2018. N 44. P. 3-6 (in Russian).
31. **Mirzokhonov D.Ch., Mabatkadadzoda K.S., Safarmamadov S.M.** Complexation of cadmium (II) with 1-methyl-2-mercaptoimidazole in the range of 283-323K. *Vestn. Tadjik. Nats. Un-ta.* 2016. 1/3 (200). P. 138-143 (in Russian).
32. **Mirzokhonov D.Ch., Safarmamadov S.M., Mabatkadadzoda K.S.** Complexation of cadmium (II) with 1-methyl-2-mercaptoimidazole in aqueous and aqueous-alcoholic solutions. XXVII Mezhdunar. Chugaev. Konf. po Koord. Khimii. Nizhniy Novgorod. 2017. P. 280 (in Russian).
33. **Safarmamadov S.M., Sodatdinova A.S.** The effect of the nature of the solvent on the complexation of silver (I) with N, N-ethylene thiourea. *Mater. respubl. nauch. i teoretich. konf. prof.-prepod. sost. i sotr. TNU. Dushanbe.* 2015. P. 29-30 (in Russian).
34. **Hartley F.** Equilibrium in solutions. M.: Mir. 1983. 365 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 23.01.2020
Принята к опубликованию 13.07.2020

Received 23.01.2020
Accepted 13.07.2020