

## ЭНТАЛЬПИЙНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРЕНИЯ N-МЕТИЛГЛИЦИНА В НЕКОТОРЫХ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ СМЕСЯХ ПРИ 298.15 К

© 2019 г. В. И. Смирнов<sup>а,\*</sup>, В. Г. Баделин<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Российская академия наук, Институт химии растворов им. Г.А. Крестова, 153045, Иваново, Россия

\* e-mail: vis@isc-ras.ru

Поступила в редакцию 21.10.2018 г.

После доработки 20.11.2018 г.

Принята к публикации 17.12.2018 г.

Методом калориметрии определены энтальпии растворения N-метилглицина в водных растворах ацетонитрила (AN), 1,4-диоксана (DO), ацетона (AC) и диметилсульфоксида (DMSO) при концентрации органического растворителя  $x_2 = 0 - 0.25$  мол. доли и  $T = 298.15$  К. Результаты эксперимента использованы для расчета стандартных значений энтальпий растворения ( $\Delta_{\text{sol}}H^\circ$ ) и переноса ( $\Delta_{\text{tr}}H^\circ$ ) N-метилглицина из воды в смешанный растворитель, а также энтальпийных коэффициентов парных взаимодействий, ( $h_{xy}$ ) N-метилглицина с молекулами органических растворителей. Рассмотрено влияние состава водно-органической смеси и структуры органических растворителей на энтальпийные характеристики растворения и переноса N-метилглицина. Оценено влияние энергетики межмолекулярных взаимодействий между компонентами смешанного растворителя на межмолекулярные взаимодействия N-метилглицина с молекулами соразтворителя. Выявлены основные свойства соразтворителя, существенно влияющие на энергетику взаимодействия с молекулами N-метилглицина в водном растворе – полярность/полярность и электронодонорная способность соразтворителя.

**Ключевые слова:** аминокислоты, энтальпии растворения и переноса, водно-органические смеси, энтальпийные коэффициенты парных взаимодействий

DOI: 10.1134/S0044453719080296

В продолжение предыдущих термохимических исследований процессов растворения и сольватации N-метилглицина в смешанных растворителях ( $\text{H}_2\text{O} + \text{спирты}$ ) и ( $\text{H}_2\text{O} + \text{формамиды}$ ) [1, 2] в настоящей работе изучено влияние N-метилзамещения в молекуле глицина на его энтальпийные характеристики растворения в водных растворах ацетонитрила (AN), 1,4-диоксана (DO), ацетона (AC) и диметилсульфоксида (DMSO) при  $T = 298.15$  К. Цель проведенных исследований состояла в следующем: а) получение новых экспериментальных данных для оценки влияния N-метилзамещения в  $\text{NH}_2$ -группе молекулы глицина на его термохимические характеристики растворения в смешанных растворителях различной природы; б) оценка энергии межмолекулярных взаимодействий молекул N-метилглицина с молекулами AN, AC, DO и DMSO в водных растворах в зависимости от их концентрации ( $x_2 = 0 - 0.25$  мол. доли); в) оценка влияния энергии взаимодействия между компонентами водно-органической смеси и различных физико-химических свойств органических растворителей на энталь-

пийные характеристики растворения N-метилглицина в смешанных растворителях при  $T = 298.15$  К. Представленные экспериментальные данные получены впервые. Результаты данной работы использованы для сравнения и совместного обсуждения с ранее полученными данными для глицина [3–5] и DL- $\alpha$ -аланина [6, 7] в аналогичных смесях.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В табл. 1 представлены характеристики веществ, использованных в экспериментах (их молекулярная масса, формула, марка, чистота и содержание  $\text{H}_2\text{O}$ ). Молярная концентрация ( $m$ ) N-метилглицина в смешанном растворителе изменялась в области  $5 \times 10^{-3} - 1.5 \times 10^{-2}$  моль  $\text{кг}^{-1}$ . Органические растворители использовали без дальнейшей очистки. Концентрацию органических растворителей изменяли в диапазоне от 0 до 0.25 мол. доли. Воду очищали путем двойной дистилляции с последующей дегазацией (удельная электропроводность  $\sim 1 \times 10^{-5}$  Ом  $\text{см}^{-1}$ ). Все рас-

**Таблица 1.** Список реактивов, их марка и чистота

Вещество	Формула	$M$ , г моль <sup>-1</sup>	CAS No.	Марка	Чистота	$C^*$ , мас. %
N-метилглицин	$C_3H_7NO_2$	89.09	107-97-1	Fluka	$\geq 0.990$	–
Ацетонитрил	$C_2H_3N$	41.05	75-05-8	Sigma-Aldrich	$\geq 0.998$ , (anhydrous)	<0.001
1,4-Диоксан	$C_4H_8O_2$	88.11	123-91-1	Fluka	$\geq 0.998$ (anhydrous)	<0.003
Ацетон	$C_3H_6O$	58.08	67-64-1	Fluka	$\geq 0.998$ (GC)	<0.10
Диметилсульфоксид	$C_2H_6SO$	78.13	67-68-5	Sigma	$\geq 0.995$ (GC)	<0.10
Вода	$H_2O$	18.02	7732-18-5	–	$H_2O^*$	–

Обозначения: CAS No. – сервисный номер; чистота – массовая фракция (заявлено поставщиком);  $H_2O^*$  – бидистиллят,  $p \approx 1 \times 10^{-6}$  Ом см<sup>-1</sup>,  $n^{20}/D = 1.34$ ;  $C^*$  – содержание воды, титрование по Фишеру.

творы готовили непосредственно перед экспериментом. Навески N-метилглицина и водно-органические смеси взвешивали на весах ВЛР-200 (“Госметр”, Санкт-Петербург, Россия) с точностью  $5 \times 10^{-4}$  г. Экспериментальная калориметрическая установка, описана в работе [8]. Эксперименты проводили при  $T = 298.15 \pm 0.01$  К. Калибровочные данные калориметра, расчет погрешностей измерений представлены в [9]. Относительная ошибка измерений не превышала 0.5%. Надежность полученных результатов подтверждена сравнением с аналогичными результатами других авторов. Полученные нами значения  $\Delta_{sol}H^\circ$  (глицина) =  $14.25 \pm 0.06$  кДж моль<sup>-1</sup> [11],  $\Delta_{sol}H^\circ$  (глицилглицина) =  $17.62 \pm 0.05$  кДж моль<sup>-1</sup> [11] и  $\Delta_{sol}H^\circ$  (L-метионина) =  $11.21 \pm 0.08$  кДж моль<sup>-1</sup> [12] хорошо согласуются со значениями

других авторов:  $14.23 \pm 0.02$  [10],  $17.69 \pm 0.02$  [11] и  $11.30 \pm 0.06$  кДж моль<sup>-1</sup> [12] соответственно.

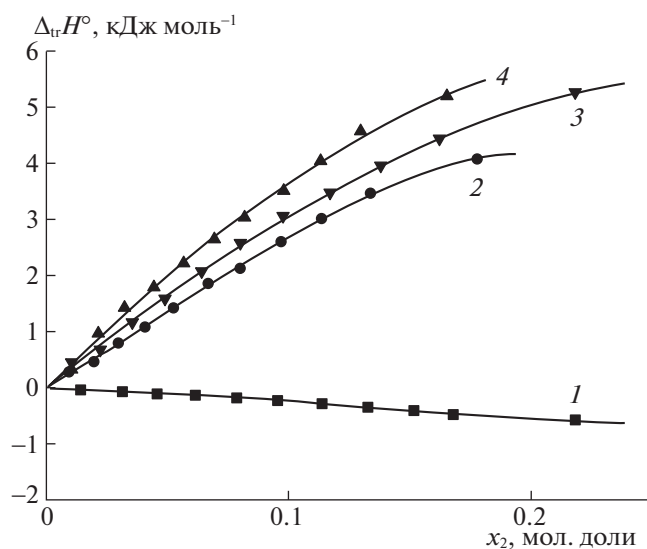
Поскольку зависимости энтальпии растворения N-метилглицина от его концентрации в изученных водно-органических смесях не наблюдалось, за стандартные значения энтальпий растворения,  $\Delta_{sol}H^\circ$ , принято среднее значение  $\Delta_{sol}H^m$  из пяти измерений для каждого состава смешанного растворителя. Стандартные значения энтальпий растворения ( $\Delta_{sol}H^\circ$ ) N-метилглицина и стандартные отклонения этих значений в исследованных смесях представлены в табл. 2. Энтальпии переноса N-метилглицина ( $\Delta_{tr}H^\circ$ ) из воды в водно-органические смеси, графически представленные на рис. 1, вычислены из стандартных значений энтальпий растворения в воде ( $\Delta_{sol}H^\circ(w)$ ) и в водном растворе органического растворителя ( $\Delta_{sol}H^\circ(w+y)$ ) по уравнению:

$$\Delta_{tr}H^\circ = \Delta_{sol}H^\circ(w+y) - \Delta_{sol}H^\circ(w). \quad (1)$$

Энтальпия растворения N-метилглицина в воде составляет:  $\Delta_{sol}H^\circ(w) = 3.96 \pm 0.04$  кДж моль<sup>-1</sup> [1].

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ зависимостей энтальпий переноса  $\Delta_{tr}H^\circ$  N-метилглицина из воды в водные растворы AN, DO, AC и DMSO (рис. 1) показывает, что энергетика взаимодействия молекул N-метилглицина с молекулами соразтворителей зависит как от их концентрации, так и от структуры. Если перенос в смесях ( $H_2O + DO$ ), ( $H_2O + AC$ ) и ( $H_2O + DMSO$ ) эндотермичен в исследованном диапазоне концентраций соразтворителей, то в смеси ( $H_2O + AN$ ) – экзотермичен. Увеличение концентрации DO, AC и DMSO в воде вызывает увеличение эндотермичности растворения N-метилглицина в указанных смесях. Это связано с ростом энергетических затрат на дегидратацию молекул соразтворителя в общем энтальпийном эффекте растворения N-метилглицина и с увеличением вклада от гидрофобно-гидрофобных ти-



**Рис. 1.** Зависимости энтальпий переноса ( $\Delta_{tr}H^\circ$ ) N-метилглицина из  $H_2O$  в ее смеси с AN (1), DO (2), DMSO (3) и AC (4) от концентрации органических растворителей ( $x_2$ ) при  $T = 298.15$  К.

**Таблица 2.** Стандартные значения энтальпий растворения N-метилглицина ( $\Delta_{\text{sol}}H^\circ$ , кДж моль<sup>-1</sup>) и стандартные отклонения ( $u(\Delta_{\text{sol}}H^\circ)$ , кДж моль<sup>-1</sup>) в водных растворах ацетонитрила (AN), 1,4-диоксана (DO), ацетона (AC) и диметилсульфоксида (DMSO) при их различной моляльной концентрации ( $m_2$ ) и  $T = 298.15$  К

AN			1,4-DO			AC			DMSO		
$m_2$	$\Delta_{\text{sol}}H^\circ$	$u(\Delta_{\text{sol}}H^\circ)$	$m_2$	$\Delta_{\text{sol}}H^\circ$	$u(\Delta_{\text{sol}}H^\circ)$	$m_2$	$\Delta_{\text{sol}}H^\circ$	$u(\Delta_{\text{sol}}H^\circ)$	$m_2$	$\Delta_{\text{sol}}H^\circ$	$u(\Delta_{\text{sol}}H^\circ)$
0.787	3.95	0.01	0.518	4.24	0.01	0.569	4.31	0.01	0.591	4.41	0.01
1.810	3.89	0.01	1.111	4.43	0.01	1.219	4.92	0.01	1.255	4.64	0.01
2.661	3.86	0.02	1.698	4.76	0.02	1.828	5.39	0.02	2.034	5.12	0.02
3.634	3.83	0.01	2.352	5.04	0.02	2.572	5.75	0.02	2.854	5.55	0.02
4.737	3.78	0.02	3.074	5.38	0.02	3.324	6.18	0.02	3.812	6.03	0.02
5.856	3.74	0.01	3.970	5.81	0.02	4.113	6.59	0.02	4.831	6.54	0.02
7.112	3.68	0.02	4.817	6.09	0.02	4.927	6.98	0.02	6.023	7.01	0.02
8.499	3.62	0.02	5.938	6.56	0.02	6.028	7.49	0.03	7.367	7.42	0.02
9.941	3.56	0.02	7.109	6.97	0.02	7.072	7.99	0.03	8.888	7.91	0.03
11.210	3.48	0.02	8.579	7.41	0.02	8.283	8.51	0.03	10.764	8.39	0.03
15.519	3.37	0.01	11.995	8.03	0.02	11.023	9.44	0.03	15.496	9.21	0.03

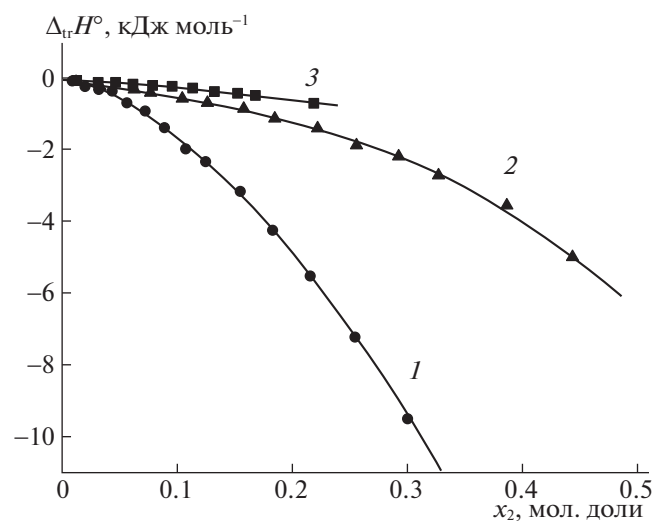
Примечание. Стандартное отклонение ( $u$ ) моляльной концентрации спирта  $u(m_2) = 0.001$  моль г<sup>-1</sup>, температуры  $u(T) = 0.01$  К и атмосферного давления  $u(p) = 0.7$  кПа.

пов взаимодействия между  $-\text{N}(\text{CH}_3)\text{H}-$ ,  $(-\text{CH}_2)- \leftrightarrow -\text{CH}_3-$ ,  $(-\text{CH}_2)$ -группами N-метилглицина и соразтворителя. Следует отметить, что эндотермичность переноса N-метилглицина увеличивается в ряду:  $(\text{H}_2\text{O} + \text{AN}) < (\text{H}_2\text{O} + \text{DO}) < (\text{H}_2\text{O} + \text{AC})$ , в той же последовательности, что и электронодонорная способность (DN) указанных растворителей  $\text{AN} (14.1) < \text{DO} (14.5) < \text{AC} (17.0)$  [13], т.е. усиление электронодонорных свойств соразтворителя приводит к ослаблению его взаимодействия с молекулами N-метилглицина. Увеличение концентрации AN в водном растворе, напротив, приводит к усилению экзотермичности переноса N-метилглицина, что обусловлено низкими значениями энергии взаимодействия между компонентами смеси  $(\text{H}_2\text{O} + \text{AN})$ . Значения энтальпийных коэффициентов парных взаимодействий между ними следующие:  $h_{(C+W)} = -29 \pm 3$  (AN),  $-225 \pm 30$  (AC),  $-455 \pm 14$  (DO) и  $-995 \pm 125$  (DMSO) [14]. Поэтому эндотермический вклад от дегидратации молекул AN небольшой, и энергия прямых взаимодействий между молекулами N-метилглицина и AN перекрывает энергетические затраты на их дегидратацию.

Сравнение зависимостей  $\Delta_{\text{tr}}H^\circ = f(x_2)$  для N-метилглицина, глицина [3, 5] и DL- $\alpha$ -аланина [6, 7] в смесях  $(\text{H}_2\text{O} + \text{AN})$  и  $(\text{H}_2\text{O} + \text{DO})$  (рис. 2, 3) показывает, что замена протона в  $\text{NH}_2$ -группе на гидрофобную  $\text{CH}_3$ -группу в молекуле глицина (N-метилглицин) ослабляет его взаимодействие с молекулами AN и DO сильнее, чем аналогичная замена протона в  $\text{CH}_2$ -группе глицина (DL- $\alpha$ -аланин). Это связано со снижением протонодо-

норной способности N-метилглицина по сравнению с DL- $\alpha$ -аланином. Аналогичная картина наблюдается и в смешанных растворителях  $(\text{H}_2\text{O} + \text{AC})$  и  $(\text{H}_2\text{O} + \text{DMSO})$ , т.е. ослабление межмолекулярных взаимодействий между молекулами соразтворителей и аминокислот происходит в следующем ряду: глицин  $<$  DL- $\alpha$ -аланин  $<$  N-метилглицин.

Для оценки энергетики межчастичных взаимодействий между молекулами аминокислоты и



**Рис. 2.** Зависимости энтальпий переноса ( $\Delta_{\text{tr}}H^\circ$ ) глицина (1), DL- $\alpha$ -аланина (2) и N-метилглицина (3) из  $\text{H}_2\text{O}$  в ее смеси с AN от его концентрации ( $x_2$ ) при  $T = 298.15$  К.

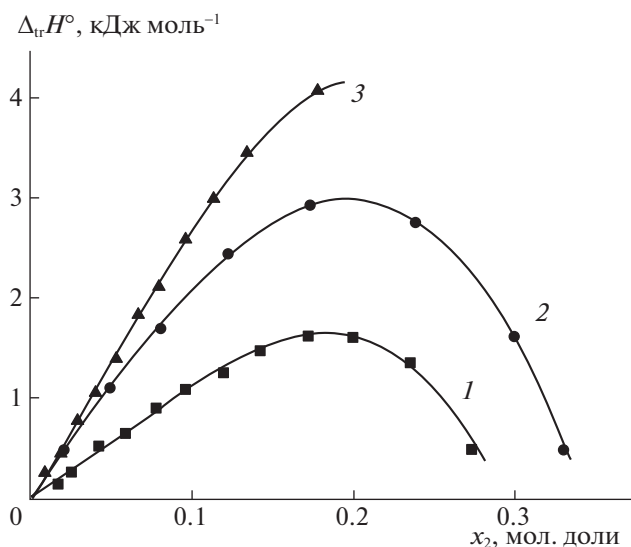


Рис. 3. Зависимости энтальпий переноса ( $\Delta_{tr}H^\circ$ ) глицина (1), DL- $\alpha$ -аланина (2) и N-метилглицина (3) из  $H_2O$  в ее смеси с DO от его концентрации ( $x_2$ ) при  $T = 298.15$  K.

молекулами соразтворителя в водном растворе, согласно методу Каузмана [15], основанному на теории Макмиллана–Майера [16], использовано уравнение:

$$\Delta_{sol}H^\circ = a_0 + a_1m_2 + a_2m_2^2 + a_3m_2^3, \quad (2)$$

где  $m_2$  – моляльная концентрация органического растворителя,  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты аппроксимации, рассчитанные методом наименьших квадратов. Решение уравнения (2) и соотношение  $h_{xy} = \alpha_1/2$  [17] позволили рассчитать значения энтальпийных коэффициентов парных взаимодействий  $h_{xy}$  (Дж кг моль<sup>-2</sup>), которые характеризуют межчастичные взаимодействия N-метилглицина с молекулами AN, DO, AC и DMSO в водном растворе. Численные значения  $h_{xy}$  и расчетные параметры уравнения (2) для всех сме-

Таблица 3. Расчетные параметры уравнения (2) для N-метилглицина в водных растворах ацетонитрила (AN), 1,4-диоксана (DO), ацетона (AC) и диметилсульфоксида (DMSO) при  $T = 298.15$  K

Растворитель	$a_0$	$a_1$	$R$	$SD$
AN	$3.961 \pm 0.014$	$-0.028 \pm 0.008$	0.997	0.011
DO	$3.962 \pm 0.035$	$0.467 \pm 0.026$	0.999	0.031
AC	$3.960 \pm 0.081$	$0.795 \pm 0.064$	0.998	0.066
DMSO	$3.960 \pm 0.055$	$0.625 \pm 0.034$	0.999	0.052

Обозначения:  $a_0, a_1$  – коэффициенты аппроксимации уравнения (2),  $R$  – коэффициент корреляции,  $SD$  – значения критерия Стьюдента,  $N = 11$  – число экспериментальных точек.

сей представлены в табл. 3, 4. Положительные знаки коэффициентов  $h_{xy}$  для ( $H_2O + DO$ ), ( $H_2O + AC$ ) и ( $H_2O + DMSO$ ) свидетельствуют о том, что молекулы N-метилглицина и указанных соразтворителей хорошо гидратированы, а эндотермические эффекты дегидратации, гидрофобно-гидрофобные и гидрофобно-гидрофильные типы взаимодействий преобладают над экзотермическими эффектами прямых взаимодействий между ними. Отрицательный знак  $h_{xy}$  в случае взаимодействий N-метилглицина с молекулами AN свидетельствует о доминировании экзотермических эффектов. Эндотермичность межчастичных взаимодействий между молекулами N-метилглицина и соразтворителя увеличивается в ряду смешанных растворителей: ( $H_2O + AN$ ) < ( $H_2O + DO$ ) < ( $H_2O + DMSO$ ) < ( $H_2O + AC$ ) и зависит от природы соразтворителя.

Отметим, что такой же порядок изменения энергии межчастичных взаимодействий в указанных смесях наблюдается и для глицина, и для DL- $\alpha$ -аланина (табл. 4). Ранее нами были установлены линейные зависимости величины энтальпийных коэффициентов парных взаимодействий различных аминокислот с молекулами спиртов [18–20], амидов [21–23] и апротонных органических растворителей [14] от энтальпийных коэффициентов парных взаимодействий  $h_{(C+W)}$  ( $H_2O +$  спирты (амиды)), которые свидетельствуют о том, что сильные межчастичные взаимодействия между компонентами в самой водно-органической смеси ослабляют энтальпийный эффект от межчастичных взаимодействий между молекулами аминокислоты и соразтворителя. Используя рассчитанные значения  $h_{(C+W)}$  для указанных выше смесей [14], мы установили линейную взаимосвязь  $h_{xy} = f(h_{(C+W)})$  для N-метилглицина, а также для глицина и DL- $\alpha$ -аланина в серии водно-органических смесей: ( $H_2O + AN$ ), ( $H_2O + AC$ ) и ( $H_2O + DO$ ) соответственно:

$$h_{xy} = (-20.845 \pm 46.400) - (0.959 \pm 0.158)h_{(C+W)}, \quad (3)$$

$$R = 0.986,$$

$$h_{xy} = (-105.502 \pm 57.426) - (1.224 \pm 0.195)h_{(C+W)}, \quad (4)$$

$$R = 0.987,$$

$$h_{xy} = (-76.454 \pm 0.372) - (1.263 \pm 0.001)h_{(C+W)}, \quad (5)$$

$$R = 0.999.$$

Увеличение эндотермического значения  $h_{xy}$  N-метилглицина в ряду: ( $H_2O + AN$ ) < ( $H_2O + DO$ ) < ( $H_2O + DMSO$ ), может быть связано с усилением электронодонорных свойств соразтворителей в той же последовательности ( $DN = 14.1 < 14.3 < 29.9$ ) [13]. Это приводит к усилению взаимодействия молекул соразтворителя с молекулами воды, часть которых будет удалена из гидратной оболочки соразтворителя при взаимодействии с

**Таблица 4.** Энтальпийные коэффициенты парных взаимодействий ( $h_{xy}$ , Дж кг моль<sup>-2</sup>) *N*-метилглицина, глицина и DL- $\alpha$ -аланина с молекулами ацетонитрила (AN), 1,4-диоксана (DO), ацетона (AC) и диметилсульфоксида (DMSO) в водных растворах и их стандартные отклонения  $u(h_{xy})$ , Дж кг моль<sup>-2</sup>)

Аминокислота	AN		DO		AC		DMSO	
	$h_{xy}$	$u(h_{xy})$	$h_{xy}$	$u(h_{xy})$	$h_{xy}$	$u(h_{xy})$	$h_{xy}$	$u(h_{xy})$
<i>N</i> -метилглицин	-14	5	233	15	398	30	312	15
Глицин	-44 [5]	7	122 [3]	—	474 [3]	—	249 [4]	—
DL- $\alpha$ -Аланин	-40 [7]	5	208 [6]	—	498 [6]	—	365 [7]	—

молекулами *N*-метилглицина, т.е. затраты энергии на частичную дегидратацию молекул соразтворителя возрастут, а значение  $h_{xy}$  *N*-метилглицина увеличится. Если сравнить значения  $h_{xy}$  *N*-метилглицина, глицина и DL- $\alpha$ -аланина (табл. 4), то можно увидеть, что ослабление межчастичных взаимодействий с молекулами AN и DO происходит в следующем порядке: глицин > DL- $\alpha$ -аланин > *N*-метилглицин. Это может быть связано с уменьшением дипольного момента аминокислот в том же порядке:  $\mu = 2.151, 2.020, 1.697$ . При взаимодействии указанных аминокислот с молекулами AC и DMSO такой зависимости не наблюдается, поскольку существенно возрастает роль как донорно-акцепторных взаимодействий ( $DN_{(AC)} = 17.0$ ;  $DN_{(DMSO)} = 29.9$ ), так и гидрофобно-гидрофобных взаимодействий (молекулы AC и DMSO содержат по две  $CH_3$ -группы). Величина же  $h_{xy}$  определяется соотношением энтальпийных вкладов от перечисленных типов межмолекулярных взаимодействий.

Поскольку в настоящей работе мы расширили круг органических растворителей, использованных в качестве соразтворителя, то представлялась возможность выяснить, какие свойства органических растворителей оказывают существенное влияние на их межчастичные взаимодействия с молекулами *N*-метилглицина. Для этого было использовано модифицированное уравнение Камлета–Тафта [24]:

$$h_{xy} = A_0 + A_1(\pi_1^* \pi_2^*) + A_2(\alpha_1 \beta_2) + A_3(\beta_1 \alpha_2) \quad (6)$$

(число параметров в уравнении уменьшено до трех, поскольку основными типами взаимодействия между взаимодействующими веществами являются донорно-акцепторные и диполь-дипольные взаимодействия) и данные работ [1, 2]. В уравнении (6)  $\pi_1^*$  и  $\pi_2^*$  — параметры, характеризующие полярность/поляризуемость  $H_2O$  и органического растворителя соответственно;  $\alpha_1, \alpha_2$  — параметры, характеризующие кислотность растворителя;  $\beta_1, \beta_2$  — параметры, характеризующие основность растворителя. Параметры растворителей взяты из [25, 26]. В результате расчета системы линейных уравнений получено уравнение:

$$h_{xy} = (629.33 \pm 168.76) - (1331.27 \pm 157.76) \times (\pi_1^* \pi_2^*) - 1335.07 \pm 582.55 (\alpha_1 \beta_2) + (1202.13 \pm 156.84) (\beta_1 \alpha_2), \quad (7)$$

$$R = 0.953, \quad N = 11, \quad SD = 98.25.$$

Анализ уравнения (7) показывает, что увеличение полярности/поляризуемости и кислотности органического растворителя усиливает энергию парных взаимодействий *N*-метилглицин — органический растворитель. Напротив, увеличение основности органического растворителя уменьшает энергию парных взаимодействий *N*-метилглицин — органический растворитель. Аналогичное влияние указанных свойств органических растворителей на их межчастичные взаимодействия с другими аминокислотами наблюдалось в работах [23, 27, 28].

В заключение отметим, что термохимические характеристики растворения и сольватации *N*-метилглицина в бинарных смесях воды с апротонными электронодонорными органическими растворителями, будут определяться электронодонорной способностью соразтворителя (увеличение  $DN$  уменьшает энтальпийный эффект растворения *N*-метилглицина), гидрофобными свойствами соразтворителя (увеличение числа гидрофобных групп в молекуле соразтворителя также уменьшает энтальпийный эффект растворения *N*-метилглицина) и концентрацией соразтворителя в водном растворе. Замена протона в  $NH_2$ -группе молекулы глицина на  $CH_3$ -группу (*N*-метилглицин) ослабляет межмолекулярные взаимодействия аминокислоты с молекулами электронодонорных растворителей в водных растворах. Это связано с усилением гидрофобных свойств *N*-метилглицина и ослаблением донорно-акцепторных взаимодействий с молекулами соразтворителя. Усиление полярности, поляризуемости и кислотности соразтворителя увеличивает энергию его взаимодействия с молекулами *N*-метилглицина, а усиление основности соразтворителя — уменьшает. Ослабление межмолекулярных взаимодействий между молекулами изученных соразтворителей и производными глици-

на происходит в следующем порядке: глицин < DL- $\alpha$ -аланин < N-метилглицин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баделин В.Г., Смирнов В.И.* // Журн. физ. химии. 2018. Т. 92. № 7. С. 1062.
2. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // J. Mol. Liquid. 2018. V. 255. P. 471.
3. *Смирнов В.И., Баделин В.Г., Межевой И.Н.* // Изв. вузов. Химия и хим. технол. 2003. Т. 46. № 1. С. 91.
4. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Biophysics. 2004. V. 49. № 3. P. 375.
5. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Russ. J. Phys. Chem. A. 2005. V. 79. № 4. P. 583.
6. *Смирнов В.И., Межевой И.Н., Баделин В.Г.* // Изв. вузов. Химия и хим. технол. 2004. Т. 47. С. 38.
7. *Smirnov V.I., Badelin V.G., Межевой И.Н.* // Russ. J. Phys. Chem. A. 2006. V. 80. № 5. P. 672.
8. *Badelin V.G., Tyunina E.Yu., Mezhevoi I.N.* // Russ. J. Appl. Chem. 2007. V. 80. P. 711.
9. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Thermochim. Acta. 2015. V. 606. P. 41.
10. *Palecz B.* // J. Therm. Anal. Calorim. 1998. V. 54. P. 257.
11. *Piekarski H., Nowicka B.* // J. Therm. Anal. Calorim. 2010. V. 102. P. 31.
12. *Palecz B., Piekarski H., Romanowski W.* // J. Mol. Liquid. 2000. V. 84. № 3. P. 279.
13. *Gutman V.* The Donor–Acceptor Approach to Molecular Interactions. New York: Plenum Press, 1978.
14. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Russ. J. Phys. Chem. A. 2018. V. 92. № 1. P. 93.
15. *Kozak J.J., Knight W.S., Kauzmann W.* // J. Chem. Phys. 1968. V. 48. P. 675.
16. *McMillan W.G., Mayer J.E.* // J. Chem. Phys. 1945. V. 13. P. 276.
17. *Piekarski H., Tkaczyk M.* // J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1991. V. 87. P. 3661.
18. *Badelin V.G., Smirnov V.I.* // Russ. J. Phys. Chem. A. 2010. V. 84. P. 1163.
19. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Thermochim. Acta. 2009. V. 495. P. 90.
20. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Ibid. 2011. V. 526. P. 46.
21. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Ibid. 2010. 503–504. P. 97.
22. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Ibid. 2013. V. 551. P. 145.
23. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // J. Chem. Ing. Data. 2014. V. 56. P. 1774.
24. *Kamlet M.J., Abraham M.H., Doherty R.M., Taft R.W.* // J. Am. Chem. Soc. 1984. V. 106. P. 464.
25. *Kamlet M.J., Taft R.W.* // Ibid. 1976. V. 98. P. 377.
26. *Kamlet M.J., Abboud J.L.M., Taft R.W.* // Ibid. 1977. V. 99. P. 6027.
27. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // J. Mol. Liquids. 2017. V. 229. P. 198.
28. *Smirnov V.I., Badelin V.G.* // Thermochim. Acta. 2015. V. 616. P. 20.