

УДК 541.11:536.7

ТЕРМОХИМИЯ РАСТВОРЕНИЯ ТЕТРА-4-(4'-КАРБОКСИФЕНИЛОКСИ)-  
И ТЕТРА-4-(4'-КАРБОКСИФЕНИЛТИО) ФТАЛОЦИАНИНОВ МЕДИ  
В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ КОН ПРИ 298.15 К

© 2023 г. О. Н. Крутова<sup>а,\*</sup>, В. Е. Майзлиш<sup>а</sup>, В. В. Черников<sup>а</sup>, Т. В. Тихомирова<sup>а</sup>, П. Д. Крутов<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия

\*e-mail: kdvkonkpd@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.10.2022 г.

После доработки 04.10.2022 г.

Принята к публикации 05.10.2022 г.

Получены комплексы состава:  $\text{SiPc}(4\text{-S-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  и  $\text{SiPc}(4\text{-O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$ , нерастворимые в воде. Значения стандартных энтальпий образования данных соединений рассчитаны аддитивно-групповым методом, основанным на групповой систематике с классификацией фрагментов типа Бенсона, учитывающей влияние первичного окружения атомов. Тепловые эффекты растворения кристаллических фталоцианинов в водных растворах различной концентрации КОН при температуре 298.15 К определяли прямым калориметрическим методом. Значения тепловых эффектов ступенчатой диссоциации  $\text{SiPc}(4\text{-S-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$ ,  $\text{SiPc}(4\text{-O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$ , были рассчитаны с помощью компьютерной программы HEAT. Рассчитаны стандартные энтальпии образования продуктов диссоциации  $\text{SiPc}(4\text{-S-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  и  $\text{SiPc}(4\text{-O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  в водном растворе.

*Ключевые слова:* термодинамика, растворы, калориметр, энтальпия образования, константа диссоциации, фталоцианины

DOI: 10.31857/S0044453723060134, EDN: KCKJBJ

Фталоцианины (Pc) – класс соединений, уникальные физико-химические свойства которых исследуются во многих областях современной науки [1, 2]. Сочетание ценных фотофизических характеристик и высокой (термо)химической устойчивости обуславливает возможность получения на основе фталоцианинов различных оптоэлектронных устройств: зарядовой памяти и активного слоя CD/DVD-дисков, газовых сенсоров, светоизлучающих устройств, оптических ограничителей и фоторефрактивных материалов, сенсориализаторов в препаратах для фотодинамической терапии онкологических заболеваний. Они широко используются в качестве красителей, катализаторов для очистки углеводородов от сернистых соединений [3–8]. Важное место в ряду производных фталоцианинов занимают фенилкси- и фенилтиозамещенные Pc, обладающие растворимостью в органических растворителях, что расширяет возможные области практического применения. Такие комплексы значительно уступали по термической устойчивости незамещенным Pc [8].

В данной работе в качестве объекта исследования были выбраны комплексы:  $\text{CuPc}(4\text{-S-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  (1) и  $\text{CuPc}(4\text{-O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  (2) (рис. 1).

Целью данной работы было определение стандартных энтальпий образования комплексов состава  $\text{CuPc}(4\text{-S-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  и  $\text{CuPc}(4\text{-O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  и продуктов их диссоциации в водном растворе по тепловым эффектам растворения препаратов в водных растворах КОН при 298.15 К.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Получение исследуемых тетракарбоновых кислот фталоцианина меди проводили по несколько измененной методике, представленной в работах [9, 10] (схема 1).

Тщательно растертую смесь 0.25 ммоль замещенного фталонитрила [66 мг 4-(4'-карбоксофенилкси)- или 70 мг 4-(4'-карбоксофенилтио)фталоцианина], 14 мг (0.07 ммоль) моногидрата ацетата меди и 15 мг (0.25 ммоль) мочевины помещали в кварцевую пробирку, нагревали до температуры 453.15–463.15 К и выдерживали при этой температуре до затвердения массы. Плав тщательно растирали, промывали 10%-ным водным раствором соляной кислоты, водой до нейтральной среды и отсутствия в промывных водах ионов хлора, сушили. Синтезированные комплексы очищали переосаждением из концентри-

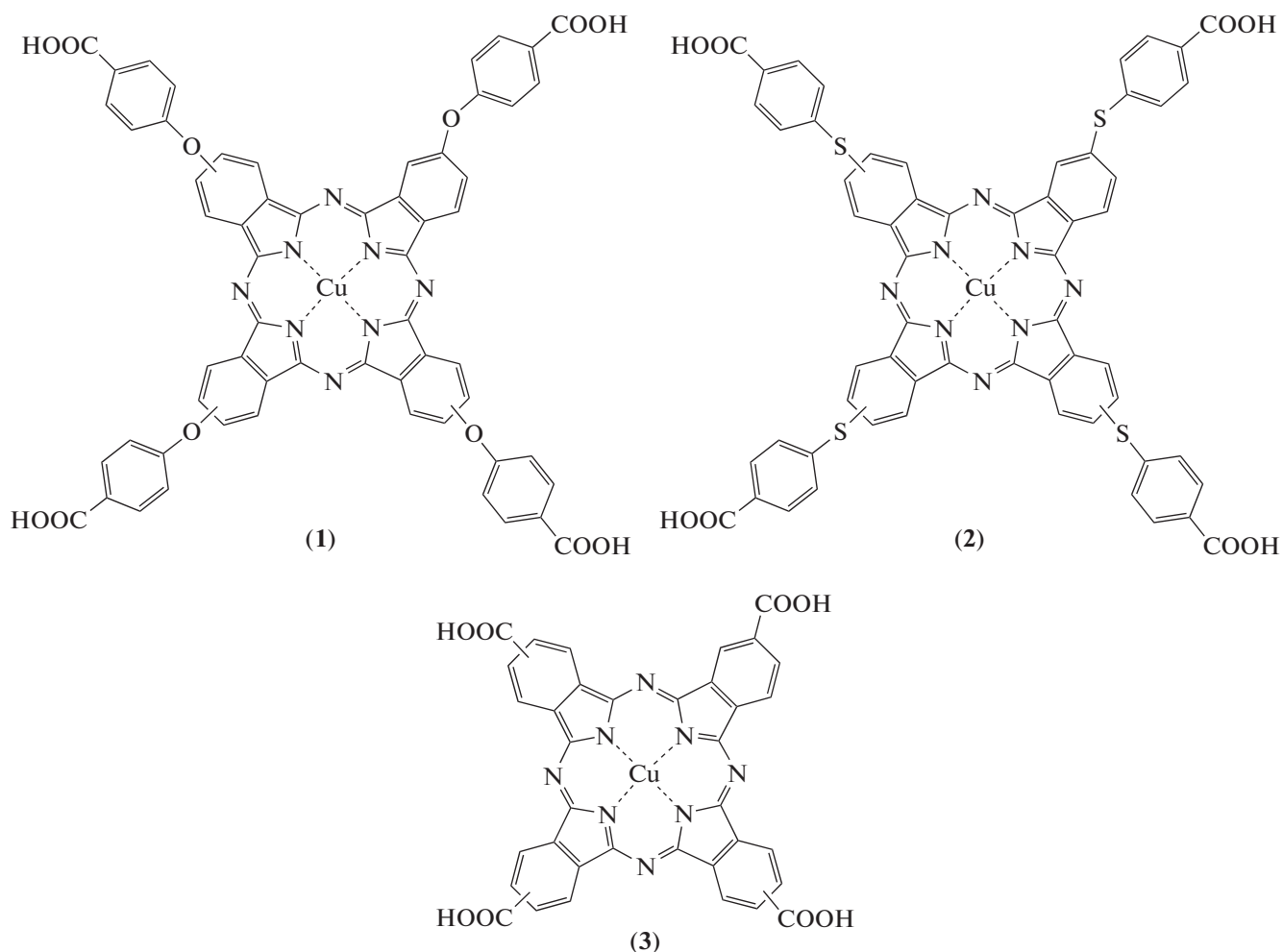


Рис. 1. Структурные формулы соединений:  $\text{CuPc}(4\text{-O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  (1);  $\text{CuPc}(4\text{-S-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  (2),  $\text{CuPc}(\text{-COOH})_4$  (3).

рованной серной кислоты с последующей экстракцией примесей ацетоном и этанолом в аппарате Сокслета. Полученные соединения сушили под вакуумом при температуре 373.15–383.15 К.

Выход продуктов, результаты элементного анализа, данные масс-спектрометрии (MALDI-NOF-MS), колебательной и электронной спектроскопии представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты элементного анализа, данные масс-спектрометрии (MALDI-NOF-MS), колебательной и электронной спектроскопии

| Параметр                                | Комплекс 1<br>$\text{CuPc}(4\text{-OC}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$ |         |          | Комплекс 2<br>$\text{CuPc}(4\text{-SC}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$ |         |         |
|---|--|---------|----------|--|---------|---------|
|   | C  | H       | N        | C  | H       | N       |
| Выход, мг (%)                           | 32(45)   |         |          | 56(75)   |         |         |
| Элементный анализ, %                    | 64.3/63.9  | 2.9/3.1 | 10.0/9.4 | 60.8/60.2  | 2.7/3.0 | 9.5/9.0 |
| MALDI-NOF-MS, $m/z$                     | 1120.45  |         |          | 1184.75  |         |         |
| ИК-спектр, $\nu$ , $\text{см}^{-1}$     | 1751 (–COOH); 1170 (Ar–O–Ar)                                       |         |          | 1772 (–COOH); 1137 (Ar–S–Ar)                                       |         |         |
| ЭСП (ДМФА), $\lambda_{\text{max}}$ , нм | 621; 667   |         |          | 635; 685   |         |         |

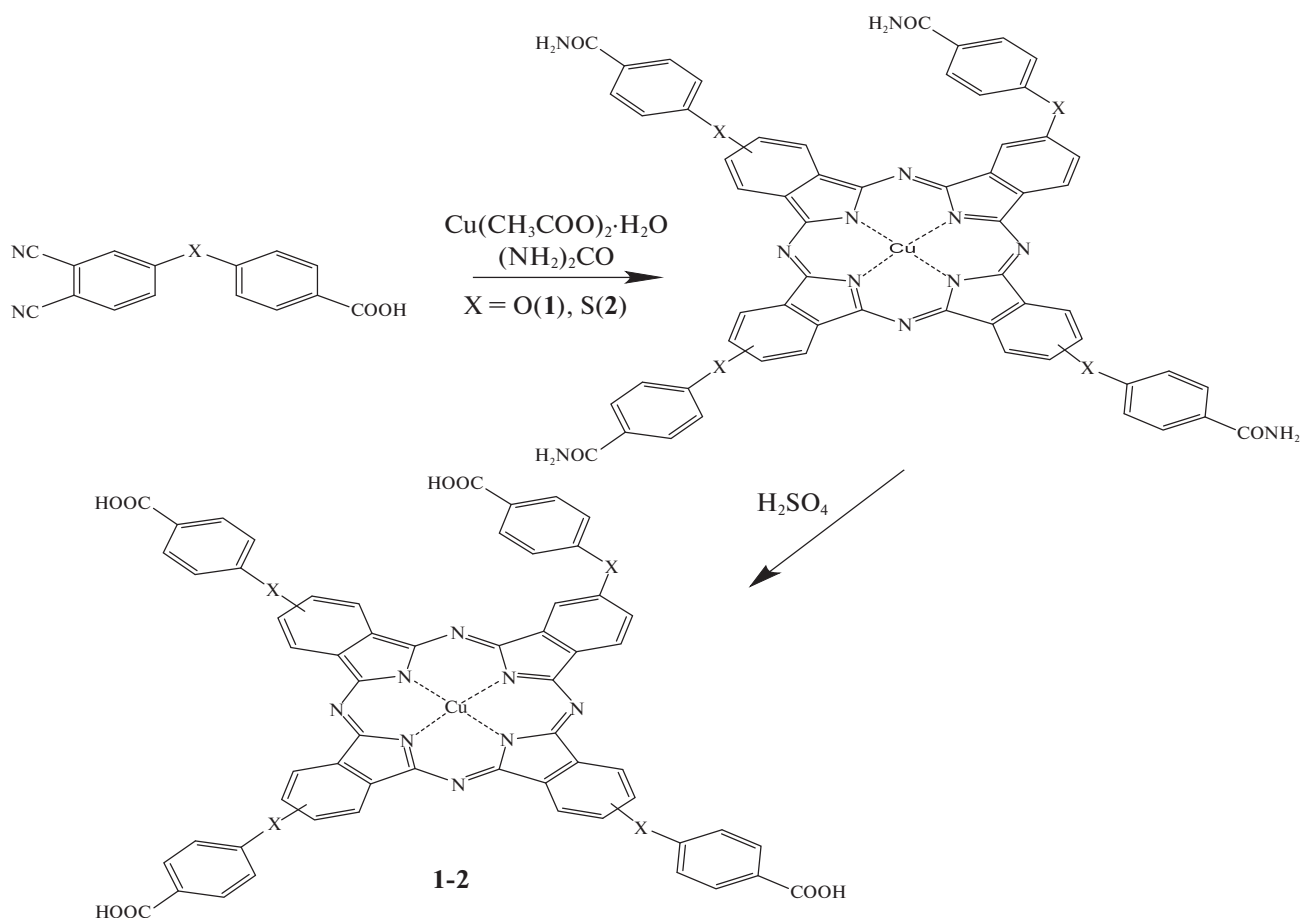


Схема 1. Полученные тетра-4-карбоксиметаллофталоцианины.

Известно, что в результате темплатного синтеза образуется смесь рандомеров, разделение которых представляет собой сложную задачу. В нашем случае разделение и выделение индивидуальных рандомеров не проводилось.

Измерения проводились в калориметре с изо-термической оболочкой, снабженном реакци-онным сосудом объемом 60 см<sup>3</sup>, электрической гра-дуировкой при  $T = (293.15\text{--}308.15) \pm 0.01$  К и  $P = 100.5 \pm 0.7$  кПа и автоматической регистрацией температуры [11]. В качестве датчика температу-ры использовался термистор КМТ-14. Темпера-турный контроль калориметрической ячейки осуществлялся в термостате, снабженном ПИД-регулятором с точностью 0.002 К. Датчиком тем-пературы термостата служил платиновый термо-метр сопротивления. Калориметр калибровали по току. Объем калориметрической жидкости 42.83 мл. Рабочий объем ампулы 1–1.6 см<sup>3</sup>, мак-симальная термометрическая чувствительность калориметрической установки составила  $(0.5\text{--}2) \times 10^{-2}$  Дж мм<sup>-1</sup> шкалы самописца. Работу уста-новки проверяли по интегральной энтальпии растворения кристаллического хлорида калия в

воде и считали годной для измерения, если опре-деляемое в ней значение  $\Delta_{\text{sol}}H(\infty\text{H}_2\text{O}) = 17.25 \pm 0.06$  кДж/моль отличалось от нормативного  $\Delta_{\text{sol}}H(\infty\text{H}_2\text{O}) = 17.22 \pm 0.04$  кДж/моль на 0.3% [12]. Доверительный интервал среднего значения  $\Delta H$  рассчитывали с вероятностью 0.95.

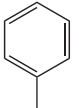
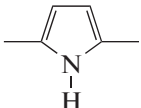
## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Значения стандартных энтальпий образова-ния  $\text{CuPc}(4\text{-S-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$ , и  $\text{CuPc}(4\text{-O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH})_4$  рассчитаны с использованием аддитив-ного группового метода, основанного на групп-овой систематике с классификацией фрагментов типа Бенсона, учитывающей влияние первичного окружения атомов [13–15]. Расчет энтальпии сгор-ания и образования испытуемого соединения проводили по формуле:

$$\Delta_{\text{c(f)}}H_{(\text{кр})}^{\circ} = \sum_i^n A_i \Delta_{\text{c(f)}}H_i^{\circ}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (1)$$

где  $\Delta_{\text{c(f)}}H_{(\text{кр})}$  – энергетический вклад в энтальпию сгорания определенной атомной группы,  $A_i$  –

**Таблица 2.** Численные значения энергетических вкладов в значения энтальпии образования в соответствии с классификацией Бенсона [13–15]

| Группа  | Количество групп ( <i>n</i> ) | $-\Delta_f H_{(тв)}^{\circ} i$ , кДж/моль |
|---|-------------------------------|---|
|  | 4                             | $-41.13 \pm 33.70$                        |
| (C)–COOH  | 4                             | $453.30 \pm 2.30$                         |
| (C) <sub>2</sub> O  | 4                             | 92.47**                                   |
| (C) <sub>2</sub> S  | 4                             | 48.2**                                    |
|  | 4                             | $-329.95 \pm 41.14^{***}$                 |
| (Пиррол)  |                               |   |
| (C) <sub>2</sub> (O)–CH   | 4                             | $-0.10 \pm 4.60$                          |
| (C) <sub>3</sub> –CH  | 12                            | $-19.90 \pm 29.30$                        |
| (C) <sub>3</sub> –N   | 4                             | $-102.00 \pm 64.30$                       |
| (C) <sub>4</sub> –Cu*   | 1                             | $-3048.2 \pm 43.4$                        |

\* Величина энергетического вклада рассчитывается по формуле  $E_{\text{compl.}} = \Delta_f H_{(\text{Me-EP-1})}^{\circ} - \Delta_f H_{(\text{H}_2\text{EP-1})}^{\circ}$ , где  $\Delta_f H_{(\text{Me-EP-1})}^{\circ}$  – стандартная энтальпия образования комплекса 2,7,12,17-тетраметил-3,8,13,18-тетраэтилпорфина, кДж/моль;  $\Delta_f H_{(\text{H}_2\text{EP-1})}^{\circ}$  – стандартная энтальпия образования 2,7,12,17-тетраметил-3,8,13,18-тетраэтилпорфина, кДж/моль.

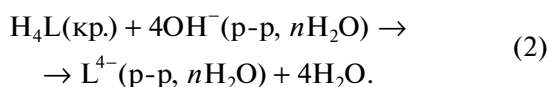
\*\* Величина погрешности авторами не указана.

\*\*\* Величина вклада и погрешность рассчитана исходя из погрешности экспериментальных величин энтальпий образования 2,4-диметил-3-этил-5-карбэтоксипиррола [(Me)<sub>2</sub>EtCEOP] и 5,5-дикарбэтокси-4,4-диметил-3,3-диэтилдипирролилметана-2,2-[(CEO)<sub>2</sub>(Me)<sub>2</sub>(Et)<sub>2</sub>DPM].

число таких атомных групп в молекуле, *n* – число типов атомных групп в молекуле.

В табл. 2 представлены исходные данные для расчета  $\Delta_f H_{(\text{кр})}^{\circ} = 2996.6 \pm 1.9$  кДж/моль (соединение 1) и  $\Delta_f H_{(\text{кр})}^{\circ} = 2819.2 \pm 1.9$  кДж/моль (соединение 2) исследуемых соединений.

Процесс растворения в растворе КОН можно представить следующей схемой:



Графическая экстраполяция энтальпий растворения исследуемых соединений в растворах гидроксида калия к нулевой ионной силе представлена на рис. 2. Экспериментальные данные приведены в табл. 3.

Тепловые эффекты растворения кислоты в растворе КОН при нулевой ионной силе рассчитывали по уравнению [16]:

$$\Delta_f H_i - \Delta Z^2 \psi(I) = \Delta_f H_i^{\circ} + bI, \quad (3)$$

где  $\Delta_f H_i$  и  $\Delta_f H_i^{\circ}$  – тепловые эффекты процесса (2) при конечных и нулевых значениях ионной силы.

Используя значения стандартных энтальпий образования гидроксид-иона  $\Delta_f H^{\circ}(\text{OH}^-, \text{p-p, H}_2\text{O, ст. с., } 298.15 \text{ K}) = -230.04 \pm 0.08$  кДж/моль и воды в водном растворе  $\Delta_f H^{\circ}(\text{H}_2\text{O, ж, } 298.15 \text{ K}) = -285.83 \pm 0.04$  кДж/моль, рекомендованные справочником [17], была рассчитана стандартная энтальпия образования депротонированного L<sup>4-</sup> аниона:

$$\begin{aligned} \Delta_f H^{\circ}(\text{L}^{4-}, \text{p-p, H}_2\text{O, ст. с., } 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^{\circ}(\text{H}_4\text{L, кр., } 298.15 \text{ K}) + \\ & + 4\Delta_f H^{\circ}(\text{OH}^-, \text{p-p, H}_2\text{O, ст. с., } 298.15 \text{ K}) + \\ & + \Delta_f H_{(2)}^{\circ} - 4\Delta_f H^{\circ}(\text{H}_2\text{O, ж., } 298.15 \text{ K}). \end{aligned} \quad (4)$$

Стандартные энтальпии образования HL<sup>3-</sup>, H<sub>2</sub>L<sup>2-</sup>, H<sub>3</sub>L<sup>-</sup>, H<sub>4</sub>L в водном растворе рассчитывали по уравнениям:

$$\begin{aligned} \Delta_f H^{\circ}(\text{HL}^{3-}, \text{p-p, H}_2\text{O, ст., гип., недис., } 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^{\circ}(\text{L}^{4-}, \text{p-p, H}_2\text{O, ст., } 298.15 \text{ K}) - \\ & - \Delta_{\text{dis}} H^{\circ}(\text{HL}^{3-}, 298.15 \text{ K}), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta_f H^{\circ}(\text{H}_2\text{L}^{2-}, \text{p-p, H}_2\text{O, ст., гип., недис., } 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^{\circ}(\text{HL}^{3-}, \text{p-p, H}_2\text{O, ст., } 298.15 \text{ K}) - \\ & - \Delta_{\text{dis}} H^{\circ}(\text{H}_2\text{L}^{2-}, 298.15 \text{ K}), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta_f H^{\circ}(\text{H}_3\text{L}^-, \text{p-p, H}_2\text{O, ст., гип., недис., } 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^{\circ}(\text{H}_2\text{L}^{2-}, \text{p-p, H}_2\text{O, ст., } 298.15 \text{ K}) - \\ & - \Delta_{\text{dis}} H^{\circ}(\text{H}_3\text{L}^-, 298.15 \text{ K}), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta_f H^{\circ}(\text{H}_4\text{L, p-p, H}_2\text{O, ст., гип., недис., } 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^{\circ}(\text{H}_3\text{L}^-, \text{p-p, H}_2\text{O, ст., } 298.15 \text{ K}) - \\ & - \Delta_{\text{dis}} H^{\circ}(\text{H}_4\text{L, } 298.15 \text{ K}). \end{aligned} \quad (8)$$

Значения  $\Delta_{\text{dis}} H(\text{H}_4\text{L, } 298.15 \text{ K})$ ;  $\Delta_{\text{dis}} H(\text{H}_3\text{L}^-, 298.15 \text{ K})$ ,  $\Delta_{\text{dis}} H(\text{H}_2\text{L}^{2-}, 298.15 \text{ K})$ ,  $\Delta_{\text{dis}} H(\text{HL}^{3-}, 298.15 \text{ K})$ , были рассчитаны с помощью компьютерной программы HEAT [18, 19]. Программа HEAT предназначена для обработки данных калориметрических измерений с целью расчета констант равновесия и тепловых эффектов реакций в растворах. Помимо матрицы стехиометрических коэффициентов, логарифмов констант равновесия и общих концентраций базисных частиц в начальном и конечном состояниях, в расчет вводят экспериментально определенные из-

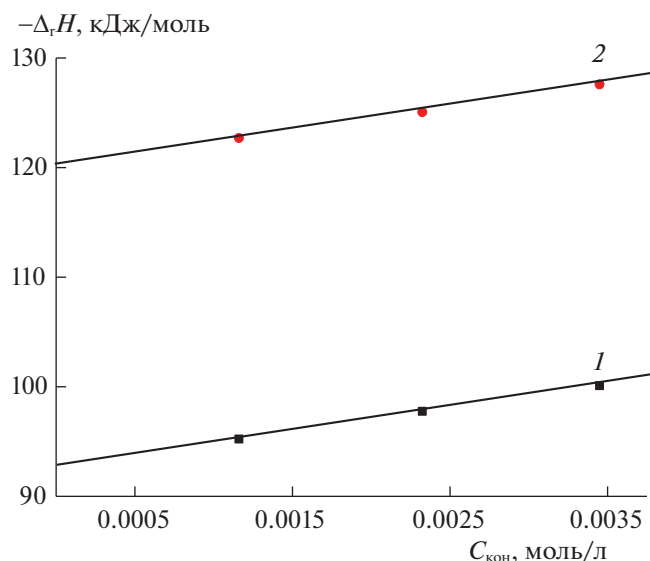


Рис. 2. Графическое определение теплового эффекта растворения  $\text{H}_4\text{L}_{(\text{к})}$  в растворе КОН при бесконечном разведении соединений 1 и 2.

менения энтальпии,  $\Delta H'_{\text{эксп}}$  и известные молярные тепловые эффекты  $\Delta_r H$ . Для изучаемых реакций в расчет вводят оценочные значения  $\lg K$ , приближенные значения  $\Delta_r H$  вводить не требуется. Рас-

чет  $\Delta_r H$  изучаемых реакций проводится путем минимизации функции вида:

$$F = \sum (\Delta H'_{\text{эксп}} - \Delta H'_{\text{расч}})_i^2 \omega_i, \quad (9)$$

где  $\Delta H'_{\text{эксп}}$  — изменение энтальпии системы в результате протекания исследуемых реакций. Минимизируемая функция  $F$  представляет собой остаточную сумму квадратов отклонений при решении системы линейных уравнений методом взвешенных наименьших квадратов. Полученные значения представлены в табл. 4.

В работе [20] представлены данные по энтальпиям растворения кристаллического тетра-4-карбоксиметаллофталоцианина меди  $\text{CuPc}(4\text{-COOH})_4$  (соединение 3) в водных растворах КОН. Комплексы 1–3 растворяются в водных растворах щелочи с большим экзоэффектом, который минимален у соединения 3 и составляет  $-78.5$  кДж/моль. У комплексов 2 и 1, т.е. содержащих фрагменты тиофенола и фенола, он равен уже  $-120.5$  кДж/моль и  $-92.3$  кДж/моль соответственно.

Можно предположить, что все четыре  $-\text{CO}-\text{OH}$ -группировки этих соединений эквивалентны по способности отщеплять  $\text{H}^+$  в растворе. Вероятно, в процессе титрования водных растворов соединений 1–3 первоначально будет происходить изменение pH за счет ионизации четырех карбоксильных групп, которые вероятно могут в

Таблица 3. Энтальпии растворения соединений 1 и 2 в растворе КОН при различных концентрациях и  $T = 298.15$  К

| $m \times 10^{-3}, \text{ г (1)}$ | $C_{\text{KOH}} \times 10^4, \text{ моль/л}$ | $-\Delta_{\text{sol}}H, \text{ кДж/моль}$ | $m \times 10^{-3}, \text{ г (2)}$ | $-\Delta_{\text{sol}}H, \text{ кДж/моль}$ |
|-----------------------------------|--|---|-----------------------------------|---|
| 0.0010                            | 1.162  | $95.22 \pm 0.27$                          | 0.0010                            | $122.73 \pm 0.26$                         |
| 0.0011                            |  | $95.16 \pm 0.28$                          | 0.0011                            | $122.81 \pm 0.28$                         |
| 0.0010                            |  | $95.38 \pm 0.28$                          | 0.0012                            | $122.69 \pm 0.28$                         |
| 0.0020                            | 2.325  | $97.65 \pm 0.26$                          | 0.0020                            | $125.16 \pm 0.25$                         |
| 0.0021                            |  | $97.72 \pm 0.27$                          | 0.0020                            | $125.02 \pm 0.27$                         |
| 0.0020                            |  | $97.84 \pm 0.25$                          | 0.0020                            | $125.10 \pm 0.25$                         |
| 0.0030                            | 3.448  | $100.08 \pm 0.28$                         | 0.0031                            | $127.58 \pm 0.26$                         |
| 0.0030                            |  | $100.16 \pm 0.28$                         | 0.0030                            | $127.61 \pm 0.28$                         |
| 0.0031                            |  | $100.05 \pm 0.26$                         | 0.0031                            | $127.59 \pm 0.27$                         |

Таблица 4. Константы ступенчатой диссоциации и энтальпии диссоциации соединений 1 и 2 при температуре 298.15 К (кДж/моль), рассчитанные по программе “HEAT”

| Процесс   | $\Delta_r H_{\text{dis}} \text{ (1)}$ | $pK_i$           | $\Delta_r H_{\text{dis}} \text{ (2)}$ | $pK_i$           |
|---|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|
| $\text{H}_4\text{L} \rightarrow \text{H}_3\text{L}^- + \text{H}^+$      | $32.3 \pm 1.5$                        | $4.89 \pm 0.35$  | $41.1 \pm 1.8$                        | $5.25 \pm 0.35$  |
| $\text{H}_3\text{L}^- \rightarrow \text{H}_2\text{L}^{2-} + \text{H}^+$ | $85.5 \pm 1.7$                        | $6.31 \pm 0.35$  | $96.5 \pm 1.7$                        | $7.11 \pm 0.35$  |
| $\text{H}_2\text{L}^{2-} \rightarrow \text{HL}^{3-} + \text{H}^+$       | $109.4 \pm 1.9$                       | $8.42 \pm 0.35$  | $129.3 \pm 1.6$                       | $9.22 \pm 0.35$  |
| $\text{HL}^{3-} \rightarrow \text{L}^{4-} + \text{H}^+$                 | $170.3 \pm 1.6$                       | $11.32 \pm 0.35$ | $218.5 \pm 1.9$                       | $12.55 \pm 0.35$ |

**Таблица 5.** Стандартные энтальпии образования соединений **1** и **2** и продуктов его диссоциации в водном растворе (кДж/моль)

| Форма соединения          | Состояние                                       | $\Delta_f H^\circ(298.15 \text{ K}), (1)$ | $\Delta_f H^\circ(298.15 \text{ K}), (2)$ |
|---------------------------|---|---|---|
| $\text{H}_4\text{L}$      | кр.   | $2996.6 \pm 1.9$                          | $2819.2 \pm 1.9$                          |
|                           | р-р, $\text{H}_2\text{O}$ , ст. с., гип. недис. | $2729.1 \pm 1.9$                          | $2436.5 \pm 1.9$                          |
| $\text{H}_3\text{L}^-$    | р-р, $\text{H}_2\text{O}$ , ст. с., гип. недис. | $2761.4 \pm 1.9$                          | $2477.6 \pm 1.9$                          |
| $\text{H}_2\text{L}^{2-}$ | р-р, $\text{H}_2\text{O}$ , ст. с., гип. недис. | $2846.9 \pm 1.9$                          | $2574.7 \pm 1.9$                          |
| $\text{HL}^{3-}$          | р-р, $\text{H}_2\text{O}$ , ст. с., гип. недис. | $2956.3 \pm 1.9$                          | $2703.4 \pm 1.9$                          |
| $\text{L}^{4-}$           | р-р, $\text{H}_2\text{O}$ , ст. с.              | $3126.6 \pm 1.9$                          | $2921.9 \pm 1.9$                          |

заметной степени протонировать или образовывать водородную связь с атомами азота в Рс, однако, вышеуказанные взаимодействия должны быть слабыми.

Термодинамические характеристики растворения фталоцианина позволят нам получить много полезной информации о состоянии Рс в растворах. Значения стандартной энтальпии образования Рс в водном растворе получены в данной работе впервые. Они являются ключевыми величинами в термохимии Рс и открывают возможность проведения строгих термодинамических расчетов в системах с Рс. Приведенные значения термодинамических характеристик существенно пополнят банк термохимических данных для фталоцианинов. Полученные значения представлены в табл. 5.

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте термодинамики и кинетики химических процессов Ивановского государственного химико-технологического университета в рамках государственного задания, проект № FZZW-2023-0008. Исследование выполнено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГУХТ (при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант № 075-15-2021-671).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wöhrle D., Schnurpfeil G., Makarov S.G. et al.* // Макрогетероциклы. 2012. № 5 (3). С. 191. <https://doi.org/10.6060/mhc2012.120990w>
2. *Зуев К.В., Перевалов В.П., Винокуров Е.Г. и др.* // Там же. 2016. Т. 9. № 3. С. 250. <https://doi.org/10.6060/mhc160212z>
3. *Лебедева Н.Ш., Юрина Е.С., Губарев Ю.А., Майзлиш В.Е.* // Биоорганическая химия. 2016. Т. 42. № 1. С. 36.
4. *Xie D., Pan W., Jiang Y.D., Li Y.R.* // Materials Letters. 2003. V. 57. P. 2395. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(02\)01242-9](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(02)01242-9)
5. *Lam M.K., Kwok K.L., Tse S.C. et al.* // Optical Materials. 2006. V. 28. P. 709.
6. *Koifman O.I. et al.* // Macroheterocycles. 2020. V. 13 (4). P. 311. <https://doi.org/10.6060/mhc200814k>
7. *Березин Д.Б., Макаров В.В., Знойко С.А. и др.* // Менделеевские сообщения. 2020. Т. 30. P. 621. <https://doi.org/10.1016/j.mencom.2020.09.023>
8. *Шапошников Г.П., Кулинич В.П., Майзлиш В.Е.* // Модифицированные фталоцианины и их структурные аналоги. Монография / Под ред. О.И. Койфмана. М.: КРАСАНД, 2012. 480 с.
9. *Журавлева Ю.М., Майзлиш В.Е., Шапошников Г.П. и др.* // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2012. Вып. 2 (40). С. 5.
10. *Kudrik E.V., Smirnova A.I., Maizlish V.E. et al.* // Rus. Chem. Bulletin, International Edition. 2006. V. 55. № 6. P. 1028. <https://doi.org/10.1007/s11172-006-0372-2>
11. *Lytkin A.I., Chernikov V.V., Krutova O.N., Skvortsov I.A.* // J. Therm. Anal. Calorim. 2017. Т. 130. P. 457. <https://doi.org/10.1007/s10973017-6134-6>
12. *Wadsö I., Goldberg R.N.* // Pure Appl. Chem. 2001. Т. 73. P. 1625. <https://doi.org/10.1351/pac200173101625>
13. *Тахистов А.В., Пономарев Д.А.* Органическая масс-спектрометрия. С.-Петербург: ВВМ, 2002. С. 346.
14. *Закиров Д.Р., Базанов М.И., Волков А.В. и др.* // Журн. физ. химии. 2000. Т. 74. № 10. P. 1899.
15. *Cohen N., Benson S.W.* // Chemical Reviews. 1993. V. 93. № 7. P. 2419.
16. *Васильев В.П.* Термодинамические свойства растворов электролитов. М.: Наука, 1982. С. 262.
17. Термические константы веществ / Спр. под ред. В.П. Глушко Вып. III. М.: ВИНТИ. 1965–1971.
18. *Бородин В.А., Васильев В.П., Козловский Е.В.* // Математические задачи химической термодинамики. Новосибирск: Наука, 1985. С. 219.
19. *Tyuninaa E.Yu., Krutova O.N., Lytkin A.I.* // Thermochemical Acta. 2020. Т. 690 P. 178704. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178704>
20. *Крутова О.Н., Майзлиш В.Е., Лыткин А.И. и др.* // Журн. физ. химии. 2023. В печати.