

**Термохимия растворения тетра-4-карбоксифталоцианин
гидроксоалюминия в водных растворах КОН при 298.15 К**

Крутов П.Д.¹, Майзлиш В.Е.¹, Крутова О.Н.¹, Усачева Т. Р.¹, Базанов М.И.¹,
Числов М.В.², Киптикова Е.Е.¹

¹*Ивановский государственный химико-технологический университет*

²*Ресурсный центр «Термогравиметрические и калориметрические методы исследования». Научный парк Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

e-mail: kdvkonkpd@yandex.ru

Объектом исследования служил тетра-4-карбоксифталоцианин гидроксоалюминия. Тепловые эффекты растворения кристаллических фталоцианина в водных растворах различной концентрации КОН при температуре 298.15 К определяли прямым калориметрическим методом. Значения тепловых эффектов ступенчатой диссоциации $AlONPc(4-COOH)_4$, были рассчитаны с помощью компьютерной программы HEAT. Энтальпии сгорания исследуемого соединения определены с использованием калориметра ИКА С6000 изопериболический (метод бомбовой калориметрии), они необходимы для расчета стандартных энтальпии образования $AlONPc(4-COOH)_4$ и продуктов его диссоциации в водном растворе.

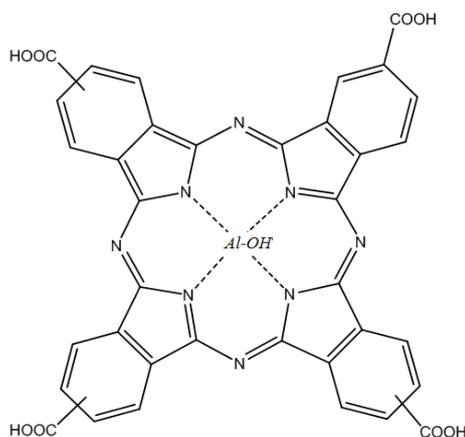
Ключевые слова: термодинамика, растворы, калориметр, энтальпия образования, константа диссоциации, фталоцианины

Keywords: thermodynamics, solutions, calorimeter, enthalpy of formation, dissociation constant, phthalocyanins

Металлокомплексы фталоцианинов зарекомендовали себя как эффективные маркеры для элементов оптических устройств и электронных систем, стабильные красители, сенсibilизаторы и, наконец, высокоселективные катализаторы. Подобное широкое применение связано со спецификой и уникальностью свойств соединений данного класса, что, в свою очередь, обуславливается их структурой. За счет варьирования

центрального атома металла и заместителей по периферии макроциклического остова возможна тонкая настройка свойств получаемого соединения [1-8]. Таким образом, разработка различных гибридных материалов на основе фталоцианинов и исследование их характеристик является весьма актуальным научным направлением. Физико-химические свойства макроциклических соединений существенно зависят от их агрегационной формы и межмолекулярных взаимодействий [9–13].

В данной работе в качестве объекта исследования были выбраны комплексы: $AlOHPc(4-COOH)_4$ (рис. 1).



Целью данной работы было определение стандартных энтальпий образования комплексов состава $AlOHPc(4-COOH)_4$ и продуктов их диссоциации в водном растворе по тепловым эффектам растворения препарата в водных растворах КОН при 298.15 К. Определение стандартной энтальпии образования кристаллического $AlOHPc(4-COOH)_4$ методом бомбовой калориметрии. Сочетание данных по калориметрии растворения и калориметрии сгорания позволило получить надежные термодинамические параметры для данного соединения.

Экспериментальная часть

Синтез тетра-4-карбоксифталоцианина гидроксоалюминия осуществляли по методике [14,15].

Тщательно растертую смесь 0.5 г (2.4 ммоль) тримеллитовой кислоты, 0.78 г (13 ммоль) мочевины, 0.064 г (1.2 ммоль) хлорида аммония, 0.008 г (0.05 ммоль) молибдата аммония (в качестве катализатора) и 0.1335 г (1.0 ммоль) безводного хлорида алюминия помещали в кварцевую пробирку, нагревали до температуры 463.15–483.15 К и выдерживали при этой температуре до затвердения массы. После охлаждения реакционную массу растирали и промывали 5 %-ным раствором соляной кислоты до бесцветного фильтрата, а затем водой до нейтральной среды. Продукт кипятили в 5 %-ном спиртовом растворе щелочи, фильтровали, осадок растворяли в воде и снова фильтровали. Фильтрат подкисляли соляной кислотой, выпавший осадок промывали водой до нейтральной среды и отсутствия в промывных водах ионов хлора, сушили под вакуумом при температуре 373.15–383.15 К. Полученный комплекс очищали переосаждением из концентрированной серной кислоты с последующей экстракцией примесей ацетоном и этанолом в аппарате Сокслета.

Выход: 0.1111 г (24 %).

Элементный анализ: Найдено, %: С-59.1; Н – 2.5; N -15.2. $C_{36}H_{17}N_8O_9Al$.

Вычислено, %: С-59.0; Н-2.3; N – 15.3. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 1699 (COOH).

Электронный спектр поглощения, λ_{max} , нм: 785 (H_2SO_4).

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 изотермической оболочкой, снабженном реакционным сосудом объемом 60 cm^3 , электрической градуировкой при $T = (293.15–308.15) \pm 0.01$ К и $P = 100.5 \pm 0.7$ кПа и автоматической регистрацией температуры [16,17]. В качестве датчика температуры использовался термистор КМТ-14. Температурный контроль калориметрической ячейки осуществлялся в термостате, снабженном ПИД-

регулятором с точностью 0.002 К. Датчиком температуры термостата служил платиновый термометр сопротивления. Калориметр калибровали по току. Объем калориметрической жидкости 42.83 мл. Рабочий объем ампулы 1-1.6 см³, максимальная термометрическая чувствительность калориметрической установки составила $(0.5-2) \cdot 10^{-2}$ Дж•мм⁻¹ шкалы самописца. Работу установки проверяли по интегральной энтальпии растворения кристаллического хлорида калия в воде и считали годной для измерения, если определяемое 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% [18]. Доверительный интервал среднего значения ΔH рассчитывали с вероятностью 0.95.

Теплоты сгорания исследуемого соединения измеряли в изопериболическом калориметре ИКА С6000 [19]. Энергетический эквивалент калориметра определяли путем сжигания бензойной кислоты, марки К – I. Энергетический эквивалент составляет $W = 8431.4 \pm 2.8$ кДж/В. Исследуемое вещество высушивали при температуре 353°C, прессовали в виде таблетки и вновь подвергали термической обработке при той же температуре. Препараты хранили в вакуум эксикаторе над пентаоксидом фосфора [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для трудно сгораемых соединений, которые исследованы в настоящей работе, в качестве вспомогательного вещества использовали бензойную кислоту. Поэтому при расчете энергии сгорания учитывали поправку на теплоту сгорания бензойной кислоты.

Энергию сгорания исследованных соединений определяли по формуле:

$$-\Delta_c U^B_{(к., 298\text{ К})} = \frac{[W \cdot \Delta T_{\text{испр.}} - q_{\text{в.в.}} - q_{\text{HNO}_3} - Q_{\text{б.к.}} \cdot m_{\text{б.к.}}] \cdot M}{m} \quad (1)$$

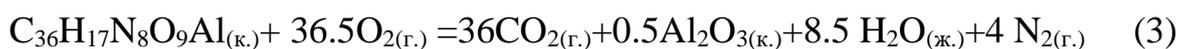
где: W - энергетический эквивалент калориметра, кДж/В; $\Delta T_{\text{испр}}$ - исправленный подъем температуры, В; $q_{\text{в.в.}}$ - поправка на теплоту сгорания

медной проволоки, кДж; q_{HNO_3} - поправка на теплоту образования раствора азотной кислоты, кДж; $Q_{б.к.}$ – теплота сгорания бензойной кислоты, кДж/г; $m_{б.к.}$ - масса навески бензойной кислоты, г; M - молярная масса исследуемого соединения, г/моль; m - масса исследуемого образца, г.

Значения энергии сгорания $\Delta_c U^B$ изучаемого соединений отнесены к реакции сгорания, которую можно представить следующей схемой:

$$\Delta_f H^0 (C_m H_n N_p O_q M_{к.,298K}) = m \Delta_f H^0 (CO_{2,г.,298K}) + n/2 \Delta_f H^0 (H_2O_{,ж.,298K}) + \Delta_f H^0 (MO_{к.,298K}) - \Delta_c H^0 (C_m H_n N_p O_q M_{к.,298K}) \quad (2)$$

Величина $\Delta_c U^B_{(к., 298 K)}$ относится к реакции сгорания исследуемого соединения.



Погрешности в определении значений теплот сгорания фталоцианинов и их структурных аналогов рассчитывались аналогично погрешности энергетического эквивалента калориметра с доверительной вероятностью 0.95.

Величина $\Delta_c U^B$, полученная в результате эксперимента, относится к изотермической реакции сгорания исследуемых соединений в реальных условиях протекания процесса. Для расчета изменения внутренней энергии реакции сгорания вещества в стандартных условиях, то есть когда все исходные вещества и продукты сгорания находятся при давлении $1 \cdot 10^5$ Па и температуре 298.15 К, определяли поправку Уошберна, которая учитывала тепловые эффекты процессов компримирования газовой и жидкой фазы бомбы, растворение CO_2 и O_2 в жидкой фазе бомбы, испарение воды в газовую фазу бомбы [21].

Стандартную энтальпию сгорания ($\Delta_c H^0$) исследуемых соединений вычисляли из соотношения:

$$\Delta_c H^0 = \Delta_c U^0 + \Delta nRT \quad (4)$$

где: Δn – изменение количества молей газа в химическом уравнении для процесса сгорания веществ.

Значение $\Delta_c H^0$, полученное по уравнению (4) -13745.8 кДж/ моль, и было использовано для расчета энтальпия образования кристаллического $AlONPc(4-COOH)_4$:

$$\Delta_f H^0(C_{36}H_{17}O_9N_8Al, \text{к.}, 298.15\text{K}) = 36\Delta_f H^0(\text{CO}_2, \text{газ}, 298.15\text{K}) + 8.5\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}, \text{ж.}, 298.15 \text{ K}) + 0.5\Delta_f H^0(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{к.}, 298,15 \text{ K}) - \Delta_c H^0(AlONPc(4-COOH)_4, \text{к.}, 298.15 \text{ K}) \quad (5)$$

Стандартные энтальпии образования $\Delta_f H^0(\text{CO}_2, \text{газ}, 298.15\text{K}) = -393.51 \pm 0.04$ кДж/моль, $\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}, \text{ж.}, 298.15 \text{ K}) = -285.81 \pm 0.04$ кДж/моль и $\Delta_f H^0(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{к.}, 298,15 \text{ K}) = -1686.89 \pm 0.05$ кДж/моль взяты из справочника [22]. В результате значение $\Delta_f H^0(C_{36}H_{17}O_9N_8Al, \text{к.}, 298,15\text{K}) = -3693.4 \pm 0.05$ кДж/·моль получено нами впервые.

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.1. Экспериментальные данные приведены в табл.1.

Тепловые эффекты растворения кислоты в растворе КОН при нулевой ионной силе рассчитывали по уравнению [23]:

$$\Delta_r H_i - \Delta Z^2 \psi(I) = \Delta_r H_i^0 + bI, \quad (7)$$

где $\Delta_r H_i$ и $\Delta_r H_i^0$ – тепловые эффекты процесса (6) при конечных и нулевых значениях ионной силы.

Используя значения стандартных энтальпий образования гидроксид-иона $\Delta_f H^0(\text{OH}^-, \text{p-p}, \text{H}_2\text{O}, \text{ст. с.}, 298.15\text{K}) = -230.04 \pm 0.08$ кДж/моль и воды в водном растворе $\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}, \text{ж}, 298.15 \text{ K}) = -285.83 \pm 0.04$ кДж/моль, рекомендованный справочником [22], была рассчитана стандартная энтальпия образования депротонированного P^{4-} аниона:

$$\begin{aligned} \Delta_f H^0(\text{P}^{4-}, \text{p-p}, \text{H}_2\text{O}, \text{ст. с.}, 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^0(\text{H}_4\text{P}, \text{к.}, 298.15 \text{ K}) + \\ & + 4\Delta_f H^0(\text{OH}^-, \text{p-p}, \text{H}_2\text{O}, \text{ст. с.}, 298.15 \text{ K}) + \Delta_r H^0_{(7)} - \\ & - 4 \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}, \text{ж.}, 298.15 \text{ K}) \quad (8) \end{aligned}$$

Стандартные энтальпии образования HP^{3-} , H_2P^{2-} , H_3P^- , H_4P в водном растворе рассчитывали по уравнениям:

$$\begin{aligned} \Delta_f H^0(\text{HP}^{3-}, \text{p-p}, \text{H}_2\text{O}, \text{ст.}, \text{гип.}, \text{недис.}, 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^0(\text{P}^{4-}, \text{p-p}, \\ & \text{H}_2\text{O}, \text{ст.}, 298.15 \text{ K}) - \Delta_{\text{dis}} H^0(\text{HP}^{3-}, 298.15 \text{ K}) \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{P}^{2-}, \text{p-p}, \text{H}_2\text{O}, \text{ст.}, \text{гип.}, \text{недис.}, 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^0(\text{HP}^{3-}, \text{p-p}, \\ & \text{H}_2\text{O}, \text{ст.}, 298.15 \text{ K}) - \Delta_{\text{dis}} H^0(\text{H}_2\text{P}^{2-}, 298.15 \text{ K}) \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_f H^0(\text{H}_3\text{P}^-, \text{p-p}, \text{H}_2\text{O}, \text{ст.}, \text{гип.}, \text{недис.}, 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{P}^{2-}, \text{p-p}, \\ & \text{H}_2\text{O}, \text{ст.}, 298.15 \text{ K}) - \Delta_{\text{dis}} H^0(\text{H}_3\text{P}^-, 298.15 \text{ K}) \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_f H^0(\text{H}_4\text{P}, \text{p-p}, \text{H}_2\text{O}, \text{ст.}, \text{гип.}, \text{недис.}, 298.15 \text{ K}) = & \Delta_f H^0(\text{H}_3\text{P}^-, \text{p-p}, \\ & \text{H}_2\text{O}, \text{ст.}, 298.15 \text{ K}) - \Delta_{\text{dis}} H^0(\text{H}_4\text{P}, 298.15 \text{ K}) \quad (12) \end{aligned}$$

Значения $\Delta_{\text{dis}} H(\text{H}_4\text{P}, 298.15 \text{ K})$; $\Delta_{\text{dis}} H(\text{H}_3\text{P}^-, 298.15 \text{ K})$, $\Delta_{\text{dis}} H(\text{H}_2\text{P}^{2-}, 298.15 \text{ K})$, $\Delta_{\text{dis}} H(\text{HP}^{3-}, 298.15 \text{ K})$, были рассчитаны с помощью компьютерной программы HEAT [24,25]. 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 изменения энтальпии, $\Delta H'_{\text{эксп}}$ и известные мольные тепловые эффекты $\Delta_r H$. Для изучаемых реакций в расчет вводят оценочные значения $\lg K$, приближенные значения $\Delta_r H$ вводить не требуется. Расчет $\Delta_r H$ изучаемых реакций проводится путем минимизации функции вида:

$$F = \sum (\Delta H'_{\text{эксп}} - \Delta H'_{\text{расч}})_i^2 \cdot \omega_i \quad (13)$$

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 таблице 2.

Термодинамические характеристики растворения фталоцианина позволят нам получить много полезной информации о состоянии Rc в растворах. Значения стандартной энтальпии образования Rc в водном растворе получены в данной работе впервые. Они являются ключевыми величинами в термохимии Rc и открывают возможность проведения строгих термодинамических расчетов в системах с Rc . Приведенные значения термодинамических характеристик существенно пополняют банк термохимических данных для фталоцианинов. Полученные значения представлены в таблице 2.

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте термодинамики и кинетики химических процессов Ивановского государственного химико-технологического университета в рамках Государственного задания (базовая часть), проект № FZZW-2023-0008. Энтальпии растворения определены на калориметрическом оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГУХТ (при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант №(075-15-2021-671). Теплоты сгорания определены на изопериболическом калориметре ИКА С6000 Ресурсного центра "Термогравиметрические и

калориметрические методы исследования" научного парка СПбГУ при поддержке СПбГУ, шифр проекта АААА-А 19-119082790069-6

Литература

1. *Wöhrle D., Schnurpfeil G., Makarov S. G., Kazarin A., Suvorova O. N.* // Макрогетероциклы. 2012. № 5 (3). С. 191-202. doi: 10.6060/mhc2012.120990w
2. *Зуев К. В., Перевалов В. П., Винокуров Е. Г., Жигунов Ф. Н., Колдаева Т. Ю.* // Макрогетероциклы. 2016. Т. 9. № 3. С. 250-256. doi: 10.6060/mhc160212z
3. *Лебедева Н.Ш., Юрина Е.С., Губарев Ю.А., Майзлиш В.Е.* // Биоорганическая химия. 2016. Т. 42. № 1. С. 36-43.
4. *Xie D., Pan W., Jiang Y. D., Li Y. R.* // Materials Letters. 2003. V. 57. P. 2395-2398. doi:10.1016/S0167-577X(02)01242-9
5. *Lam M. K., Kwok K. L., Tse S. C., So S. K., Yuan J. B., Leung L. M., Gong M. L.* // Optical Materials. 2006. V. 28. P. 709-713.
6. *Koifman O. I. et. al.,* // Macroheterocycles. 2020. V.13(4). P.311-467. doi:10.6060/mhc200814k
7. *Березин Д.Б., Макаров В.В., Знойко С.А., Майзлиш В.Е., Кустов А.В.* // Менделеевские сообщения. 2020. Т.30. Р. 621-623. doi: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. *Карпова С.Г., Ольхов А.А., Кривандин А.В. и др.* // Высокомол. соедин. Сер. А. 2019. Т. 61. № 1. С. 67
10. *Градова М.А., Жданова К.А., Брагина Н.А. и др.* // Изв. АН. Сер. хим. 2015. № 4. С. 806
11. *Lobanov A.V., Nevrova O.V., Platovskii V.A. et al.* // Macroheterocycles. 2011. V. 4. No. 2. P. 132.
12. *Чудинов А.В., Румянцева В.Д., Лобанов А.В. и др.* // Биоорг. хим. 2004. Т. 30. № 1. С. 99.

13. Данилова Е.А., Галанин Н.Е., Исляйкин М.К., Майзлиш В.Е., Березина Г.Р., Румянцева Т.А., Суворова Ю.В., Знойко С.А., Кустова Т.В. // Изв. Вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т.66. Вып. 7. С. 111-119. DOI:10.6060/ivkkt.20236607.6826j
14. Крутова О.Н., Майзлиш В.Е., Лыткин А.И., Черников В.В., Волков А.В., Федотова А.Е., Крутов П.Д. // Журнал физической химии 2023.Т. 97. № 2. с. 199–203. <https://doi.org/10.31857/S004445372302011>
15. Крутова О.Н., Майзлиш В.Е., Черников В.В., Тихомирова Т.В., Крутов П.Д. // Журнал физической химии. 2023. Т. 97. № 6. с. 794–799. <https://doi.org/10.31857/S0044453723060134>
16. Lytkin A.I., Chernikov V.V., Krutova O.N., Skvortsov I.A. // J. Therm. Anal. Calorim. 2017. Т. 130 . Р. 457–460. doi:10.1007/s10973017- 6134-6.
17. Лыткин А.И., Черников В.В., Крутова О.Н., Бычкова С.А., Крутов П.Д. // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2019. Вып. 62(8), С.81-86. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196208.5911>
18. Wadsö I., Goldberg R.N. // Pure Appl. Chem. 2001. Т. 73 .Р. 1625–1639. doi:10.1351/pac200173101625
19. T. R. Usacheva, O. N Krutova, D. V. Batov, E. V. Saturina ·E. E. Kiptikova · Y. A. Anufrikov · A. Y. Shasherina, C. Giancola Molecular complexation of 18-crown-6 with L-carnosine, β-alanine and histidine in water and in aqueous-ethanol solvent.// Journal of Thermal Analysis and Calorimetry <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13085-9>
20. Волков А.В., Платоночева О.Ю., Градусов В.Б., Крутова О.Н. Стандартные энтальпии образования L-фенил –аланина и продуктов его диссоциации в водном растворе// Изв. вузов. Химия и хим. технология . 2009 т.52 вып. 4 с 7-10.
21. Александров Ю.И., Олейник Б.Н., Усвяцева Т.Р. Приведение теплоты сгорания органических веществ общей формулы $C_nH_mO_2$ к

- стандартным термодинамическим условиям. // Труды метрологических институтов СССР. М.,Л.: Изд-во стандартов, 1971. В.29. (189). С.155.
22. Термические константы веществ. / Спр. под ред. В.П.Глушко Вып. III. М.:ВИНИТИ. 1965-1971.
23. *Васильев В.П.* Термодинамические свойства растворов электролитов. М.: Наука. 1982. с.262.
24. *Туупинаа Е.Ю., Krutova O.N., Lytkin A. I.* // *Thermochimica Acta*. 2020. Т. 690 P. 178704. doi:10.1016/j.tca.2020.178704
25. *Бородин В.А., Васильев В.П., Козловский Е.В.* // Математические задачи химической термодинамики. Новосибирск: Наука. 1985. С.219.

**Энтальпии растворения Рс в растворе КОН при различных
концентрациях и T = 298.15 К.**

$m \cdot 10^{-3}, \text{ г (1)}$	$C_{\text{КОН}}, \text{ МОЛЬ/Л}$	$-\Delta_{\text{sol}}H$ кДж/МОЛЬ
0.0010	$1.272 \cdot 10^{-4}$	55.68 ± 0.28
0.0011		55.66 ± 0.30
0.0010		55.68 ± 0.29
0.0019	$2.415 \cdot 10^{-4}$	56.61 ± 0.31
0.0018		56.52 ± 0.30
0.0018		56.64 ± 0.35
0.0021	$2.788 \cdot 10^{-4}$	57.02 ± 0.32
0.0022		57.06 ± 0.36
0.0021		57.15 ± 0.36

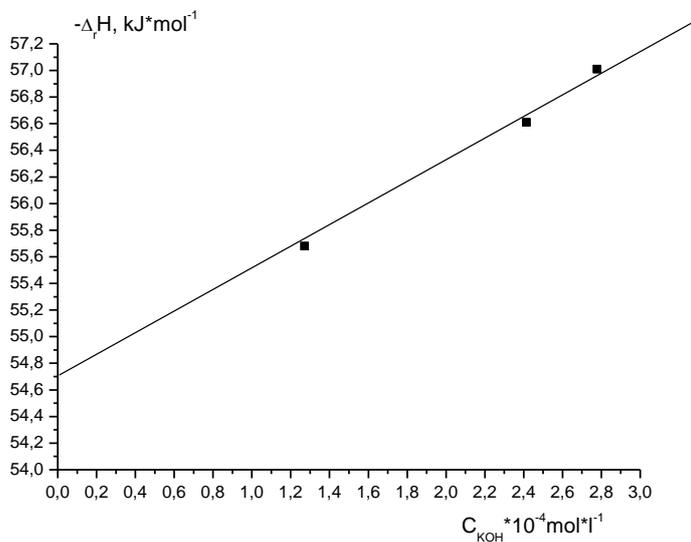


Рис.1 Графическая экстраполяция энтальпий растворения исследуемых соединений в растворах гидроксида калия к нулевой ионной силе

Таблица 2

**Энтальпии ступенчатой диссоциации Рс при температуре 298.15К
(кДж/моль)**

Процесс	$\Delta_f H_{\text{dis}}$	pK_i
$H_4P \rightarrow H_3P^- + H^+$	39.1±3.9	3.3±1.5
$H_3P^- \rightarrow H_2P^{2-} + H^+$	53.5±3.8	5.2±1.2
$H_2P^{2-} \rightarrow HP^{3-} + H^+$	91.8±4.3	7.1±1.3
$HP^{3-} \rightarrow P^{4-} + H^+$	126.7±4.5	10.8±1.1

Таблица 3

**Стандартные энтальпии образования Рс и продуктов его диссоциации в
водном растворе (кДж/моль).**

Частицы	Состояние	$\Delta_f H^\circ(298,15K),$
H_4L	к.	-3693.4±0.05
H_3L^-	р-р., H_2O , ст.	-3835.6±4.0
	с., гип.недис.	-3796.5±4.0
H_2L^{2-}	р-р., H_2O , ст.	-3743.0±4.0
	с., гип.недис.	-3651.2±4.0
HL^{3-}	р-р., H_2O , ст.	-3651.2±4.0
	с., гип.недис.	-3524.5±4.0
L^{4-}	р-р, H_2O , ст. с.	-3524.5±4.0