

— АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ —

Научная статья

УДК 535.243+661.185.232

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2025-2-61-73>

## Влияние катамина АБ на спектрофотометрические характеристики комплексного соединения ионов галлия (III) с эриохромцианином R

Светлана Александровна Денисова<sup>1</sup>, Елизавета Анатольевна Югова<sup>1</sup>, Светлана Александровна Заболотных<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup> «Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук», Пермь, Россия

**Аннотация.** Рассмотрено влияние катамина АБ на спектрофотометрические характеристики комплексов эриохромцианина R с ионами галлия (III). При различных значениях pH и количествах ПАВ зарегистрированы спектры светопоглощения реагента и его комплексов с галлием в водных растворах. При значениях pH 3,60 и 4,70 методами насыщения и изомолярных серий установлены составы комплексных соединений иона металла с лигандом в двойной системе и в присутствии катамина АБ. В оптимальных условиях комплексообразования построены градуировочные графики для определения ионов галлия (III), рассчитаны коэффициенты молярного светопоглощения. По методу Бабко определены условные константы устойчивости комплексов. Изучено влияние мешающих ионов на спектрофотометрическое определение ионов галлия с эриохромцианином R, проведена оценка правильности и сходимости результатов определений в присутствии катамина АБ.

**Ключевые слова:** катамин АБ, галлий, эриохромцианин R, спектрофотометрия

**Для цитирования:** Денисова С.А., Югова Е.А., Заболотных С.А. Влияние катамина АБ на спектрофотометрические характеристики комплексного соединения ионов галлия (III) с эриохромцианином R // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2025. Т.15, № 2. С. 61–73. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2025-2-61-73>

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2025-2-61-73>

## Effect of catamin AB on spectrophotometric characteristics of the gallium (III) ions complex with eriochrome cyanine R

Svetlana A. Denisova<sup>1</sup>, Elizaveta A. Yugova<sup>1</sup>, Svetlana A. Zabolotnykh<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>2</sup> Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

**Abstract.** The effect of catamine AB on the spectrophotometric characteristics of eriochrome cyanine R complexes with gallium (III) ions is considered. Light absorption spectra of the reagent and its complexes with gallium in aqueous solutions were recorded at different pH values and amounts of surfactants. At pH values of 3.60 and 4.70, the compositions of complex compounds of the metal ion with the ligand in the binary system and in the presence of catamine AB were determined by saturation and isomolar series methods. Calibration graphs for gallium (III) ions determination were constructed under optimal complexation conditions, and molar absorption coefficients were calculated. The conditional stability constants of the complexes were determined using the Babko method. The influence of interfering ions on the spectrophotometric determination of gallium ions with eriochrome cyanine R was studied, and the accuracy and convergence of determination results in the presence of catamine AB was assessed.

**Keywords:** catamine AB, gallium, eriochrome cyanine R, spectrophotometry

**For citation:** Denisova, S.A., Yugova, E.A. and Zabolotnykh, S.A. (2025) Effect of catamin AB on spectrophotometric characteristics of the gallium (III) ions complex with eriochrome cyanine R, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 15, no. 2, pp. 61–73. (in Russ.) <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2025-2-61-73>



Изменение реакционной способности реагентов под влиянием поверхностно активных веществ (ПАВ) является эффективным приемом улучшения аналитических характеристик фотометрических реакций. Достижения, связанные с использованием ПАВ в анализе, обусловлены их модифицирующим действием по отношению к органическим реагентам. Под этим понимают целенаправленное изменение свойств, которое не связано с образованием новых индивидуальных химических соединений [1].

ПАВ изменяют физико-химические свойства хромофорных полидентатных органических реагентов разной химической природы. В присутствии ПАВ может наблюдаться резкое увеличение чувствительности и контрастности цветных реакций, увеличение интервала рН комплексообразования за счет изменения реакционной способности, протолитических и таутомерных свойств, экстрагируемости, а также растворимости органических реагентов и их комплексов с ионами металлов. Комплексообразование металлов с органическими реагентами в присутствии ПАВ может сопровождаться 2–10-кратным увеличением интенсивности поглощения раствора и дополнительным bathochromic сдвигом в спектрах на 20–100 нм. Это является следствием изменения типа гидратации частиц в растворе и связанных с этим следующих процессов: увеличением числа координируемых ионом металла лигандов; разрушением существующих и образованием отличающихся по составу хелатов; сдвига интервала рН комплексообразования в более кислую область; увеличением устойчивости хелатов в водном растворе; многоцентровым взаимодействием в системе  $Me - R - ПАВ$  [2].

Концентрация ПАВ играет огромную роль в процессе комплексообразования. Наибольшая контрастность и другие эффекты наблюдаются при концентрации ПАВ ниже критической концентрации мицеллообразования (ККМ). С увеличением концентрации ПАВ до ККМ и выше убывают эффекты, связанные с изменением спектра реагента. В связи с этим, можно сделать вывод, что bathochromic сдвиги на спектрах поглощения красителей обусловлены действием отдельных молекул ПАВ, а не действием мицелл [3]. Мицеллы в свою очередь разрушают окраску продуктов взаимодействия вследствие блокирования реакционных центров реагентов.

Большее применение в спектрофотометрическом анализе нашли КПАВ, особенно их соли (чаще всего галогениды) четвертичных аммониевых оснований (ЧАС) [4–6]. Преимущественно используют длинноцепочечные ЧАС в связке с металлохромными реагентами. При образовании ионного ассоциата в присутствии КПАВ происходит ослабление взаимодействия частицы с водой, характеризующееся переходом реагента из преимущественно гидрофильно-гидратированного состояния в гидрофобно-гидратированное. Это также может являться результатом уменьшения полярности среды вблизи молекулы органического реагента. Уменьшение гидратации и полярности микроокружения реагентов, модифицированных ПАВ, позволяет объяснить направленность изменения целого ряда их свойств.

При введении в раствор катионного поверхностно-активного вещества катамина АБ в концентрациях, близких к ККМ, усиливается контрастность и чувствительность цветных реакций ионов циркония, меди (II) и алюминия с

хромазуолом S [7], тулия и лантана с ксиленовым оранжевым [8].

В работах [9, 10] рассмотрено влияние ПАВ различных типов на цветные реакции эриохромцианина R с ионами алюминия, скандия и железа (III). В присутствии катамина АБ отмечено улучшение оптических характеристик (повышение чувствительности, устойчивости комплексов и батохромные сдвиги).

Целью данной работы являлось установление возможности определения ионов галлия (III) с эриохромцианином R в присутствии катионогенного поверхностно-активного вещества катамина АБ.

#### Объекты и методы исследования

Катионогенное поверхностно-активное вещество – алкилбензилдиметиламмоний хлорид (катамин АБ, Kat,  $[C_nH_{2n+1}N^+(CH_3)_2CH_2C_6H_5]Cl^-$ , где  $n = 10-18$ ) – вязкий прозрачный раствор, массовая доля основного вещества – 49,0–51,0% [11]. Готовили растворы с концентрациями, моль/л: 1,3; 0,13;  $1,3 \cdot 10^{-2}$ ;  $1,3 \cdot 10^{-3}$ , разбавлением исходного раствора.

Эриохромцианин R (ЭХЦ, 2"-сульфо-3,3'-диметил-4-оксифуксон-5,5'-дикарбоновая кислота):  $C_{23}H_{15}Na_3O_9S$ , молярная масса 470,45 г/моль. Исходный  $2,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствор готовили растворением точной навески, взятой на аналитических весах Pioneer (OHAUS, Швейцария), в воде, подкисленной HCl до pH 2 (рН-метр иономер Мультитест ИПЛ-101, ООО НПФ «СЕМИКО», Россия).

Нитрат галлия (ч.д.а.), 0,1 моль/л раствор готовили на 0,5 моль/л азотной кислоте. Раствор с концентрацией  $1,05 \cdot 10^{-3}$  моль/л получали последовательным разбавлением 0,1 моль/л раствора.

Для выяснения оптимального интервала pH комплексообразования на спектрофотометре

СФ-2000 (ОКБ Спектр, Россия) регистрировали спектры поглощения водных растворов красителя и его комплексов с ионами галлия (III) при различных значениях pH в двойной системе и в присутствии ПАВ. Для этого в мерные колбы на 25,0 мл вводили 1,0 мл  $2,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора ЭХЦ, 3,0 мл буферного раствора с различным значением pH и 0,5 мл  $1,05 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора ионов Ga(III). Для изучения влияния ПАВ вводили 2,0 мл  $1,3 \cdot 10^{-2}$  моль/л раствора катамина АБ.

При проведении дальнейших исследований в пробы вносили 3,0 мл буферного раствора (pH 3,60; 4,70), концентрацию катамина АБ поддерживали  $1,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Для определения состава образующихся комплексов использовали методы насыщения и изомолярных серий [12].

Расчет коэффициентов молярного поглощения проводили по градуировочным графикам. В ряд мерных колб на 25,0 мл вносили 1,0 мл  $2,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора реагента, буферный раствор и 1,0–7,0 мл  $1,05 \cdot 10^{-4}$  моль/л раствора ионов галлия (III) [13]. Полученные растворы фотометрировали на фоне реагента в кюветах на 1,0 см на спектрофотометре ЮНИКО 1201 при соответствующих длинах волн.

Определение условных констант устойчивости комплексов галлия с ЭХЦ в двойной системе и в присутствии катамина АБ проводили по методу Бабко. При pH 3,60 в мерную колбу на 25,0 мл вводили 0,92 мл  $2,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора реагента, 1,0 мл  $1,05 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора иона металла и доводили до метки дистиллированной водой. При pH 4,70 брали 1,4 мл раствора ЭХЦ и 1,0 мл раствора ионов галлия (III) при тех же концентрациях. Для тройных систем помимо перечисленных компонентов вводили

2,0 мл  $1,3 \cdot 10^{-2}$  моль/л раствора катамина АБ. Таким же образом готовились холостые пробы (без добавления металла). Расчет констант устойчивости комплексов вели по формулам:

$$\beta = \frac{\left( \frac{1}{q^{n+1} - 1} \right)^{n+1}}{C_M^n \cdot n^n}, \Delta = \frac{A - A_q}{A}$$

где  $\beta'_{MR_n}$  – условная константа устойчивости светопоглощающего комплекса,  $q$  – разбавление,  $n$  – стехиометрический коэффициент,  $C_M$  – концентрация металла в растворе,  $\Delta$  – отклонение от основного закона светопоглощения вследствие диссоциации комплекса,  $A$  и  $A_q$  – оптические плотности исходного и разбавленного растворов [14].

Для изучения влияния мешающих ионов на комплексообразование в системе ЭХЦ – Ga – Kat в мерные колбы на 25,0 мл вводили 1,0 мл

$2,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора ЭХЦ с концентрацией, 3,0 мл буферного раствора с pH 3,60, 2,5 мл  $1,05 \cdot 10^{-4}$  моль/л раствора ионов галлия (III), раствор мешающего иона, 2,0 мл  $1,3 \cdot 10^{-2}$  моль/л раствора катамина АБ и доводили дистиллированной водой до метки. Холостые пробы готовились аналогично, но без добавления галлия и мешающего иона. Оптическую плотность измеряли в кюветах толщиной 1,0 см при  $\lambda = 603$  нм.

### Результаты и их обсуждение

*Изучение фотометрических характеристик комплекса ионов галлия с ЭХЦ в двойной системе и в присутствии катамина АБ.* Для поиска оптимальных условий протекания цветных реакций регистрировали спектры светопоглощения в двойной системе (рис. 1, 2, спектры 1–3) и в присутствии катамина АБ (рис. 1, 2, спектры 4–6) при различных значениях pH.

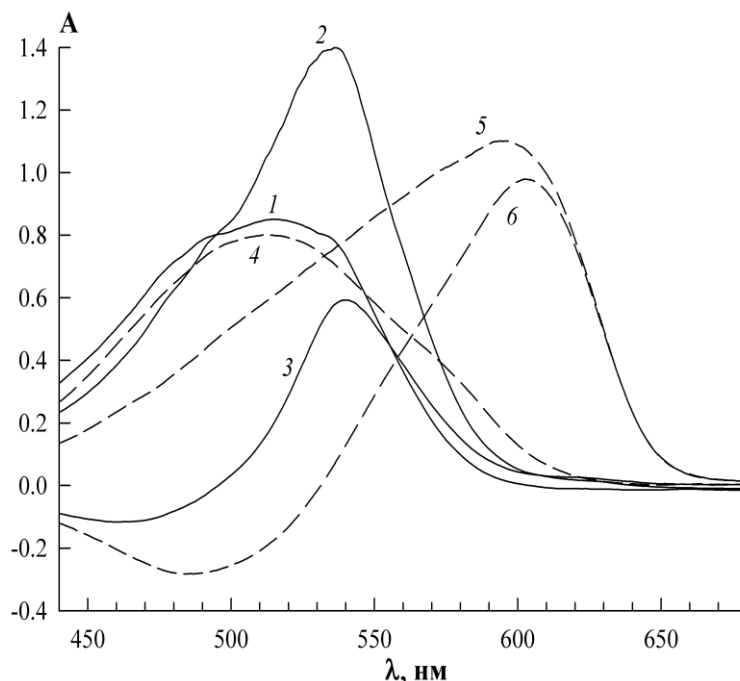


Рис. 1. Спектры светопоглощения ЭХЦ и его комплексов с галлием в системах ЭХЦ – Ga (1–3) и ЭХЦ – Ga – Kat (4–6) при pH = 3,60:

1, 4 – краситель на фоне воды; 2, 5 – комплекс на фоне воды; 3, 6 – комплекс на фоне красителя.

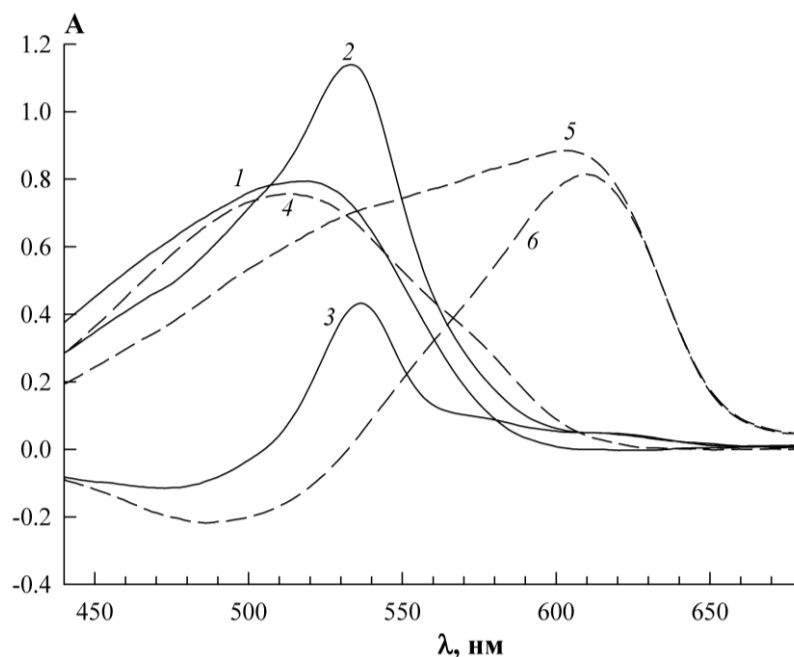


Рис. 2. Спектры светопоглощения ЭХЦ и его комплексов с галлием в системах ЭХЦ – Ga (1–3) и ЭХЦ – Ga – Кат (4–6) при pH = 4,70:

1, 4 – краситель на фоне воды; 2, 5 – комплекс на фоне воды; 3, 6 – комплекс на фоне красителя.

Анализ полученных результатов показал, что оптимальный интервал комплексообразования в системе ЭХЦ – Ga лежит в кислой среде в диапазоне pH 3,60–4,70. Максимум светопоглощения комплексов наблюдается при pH 3,60. При pH 6,16 на спектрах светопоглощения

реагента наблюдается гипсохромный сдвиг  $\lambda_{\text{max}}$ , а оптическая плотность комплекса резко падает. Оптические характеристики растворов ЭХЦ и его комплексов с галлием в двойной и тройной системах при различных значениях pH обобщены в табл. 1.

Таблица 1.

Оптические характеристики ЭХЦ и его комплексов с галлием в отсутствии и в присутствии катамина АБ

( $C_{\text{ЭХЦ}} = 9,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{\text{Ga}} = 2,1 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{\text{Кат}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  $V = 25,0$  мл;  $l = 1,0$  см)

рН	$\lambda_{\text{max}}$ , нм ЭХЦ	$A_{\lambda_{\text{max}}}$ ЭХЦ	$\lambda_{\text{max}}$ , нм ЭХЦ – Ga	$A_{\lambda_{\text{max}}}$ ЭХЦ – Ga	$\lambda_{\text{max}}$ , нм ЭХЦ – Ga	$A_{\lambda_{\text{max}}}$ ЭХЦ – Ga
	на фоне воды		на фоне воды		на фоне реагента	
Без катамина АБ						
2,56	508	0,8692	537	1,0946	550	0,4203
3,60	515	0,8511	536	1,3991	540	0,5923
4,70	519	0,7940	538	1,1391	536	0,4327
5,30	519	0,2615	533	0,3873	535	0,1436
6,16	437	0,4297	442	0,3766	537	0,0313
1,0·10 <sup>-3</sup> моль/л катамина АБ						
2,56	512	0,7948	530	0,7897	593	0,3871
3,60	512	0,8027	598	1,1009	603	0,9788
4,70	514	0,7572	602	0,8847	610	0,8149
5,30	513	0,7541	609	0,7772	617	0,6882
6,16	450	0,5223	615	0,8979	617	0,8515

Известно, что концентрация ПАВ существенно влияет на оптические характеристики комплексов «органический реагент – металл», поэтому рассмотрено влияние концентрации катамина АБ на фотометрические характеристики комплексов ионов галлия (III) с ЭХЦ (табл. 2) при pH 3,60 и 4,70. При pH 4,70 в рас-

творах ЭХЦ – Кат и комплексов ЭХЦ – Ga – Кат наблюдалось выпадение осадков в случае концентрации катамина АБ в диапазоне  $(2,6–5,2) \cdot 10^{-4}$  моль/л. При содержании ПАВ  $5,2 \cdot 10^{-3}–2,6 \cdot 10^{-2}$  моль/л окраска растворов комплексов практически не отличается от окраски растворов красителя.

Таблица 2.

Влияние концентрации катамина АБ на спектрофотометрические характеристики ЭХЦ и его комплексов с галлием ( $C_{\text{ЭХЦ}} = 9,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{\text{Ga}} = 2,1 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $V = 25,0$  мл;  $l = 1,0$  см)

pH	$C_{\text{Kat}}$ , моль/л	$\lambda_{\text{max}}$ , нм ЭХЦ – Кат	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	$\lambda_{\text{max}}$ , нм ЭХЦ – Ga – Кат	$A_{\lambda_{\text{max}}}$
3,60	0	515	0,8511	540	0,5923
	$5,2 \cdot 10^{-4}$	513	0,8079	603	0,9146
	$2,6 \cdot 10^{-3}$	512	0,9267	608	0,2241
	$1,0 \cdot 10^{-3}$	512	0,8027	603	0,9788
4,70	0	519	0,7940	536	0,4327
	$5,2 \cdot 10^{-5}$	519	0,4044	536	0,4122
	$1,0 \cdot 10^{-3}$	514	0,7572	610	0,8149

Ввиду того, что при концентрации катамина АБ  $1,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л наблюдается максимальная интенсивность светопоглощения, дальнейшие исследования проводились при данной концентрации катамина АБ.

При pH 3,60 и 4,70 изучено развитие окраски во времени в двойной системе и в присутствии  $1,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л катамина АБ. Измерения оптической плотности проводили на фоне холостого опыта через каждые 5 минут в кювете на 0,5 см. Установлено, что окраска комплексов в системе ЭХЦ – Ga при pH 3,60 развивается в течение 20 минут и сохраняет устойчивость до 40 минут, далее наблюдается небольшой рост оптической плотности. В системе ЭХЦ – Ga – Кат для развития окраски комплексов при pH 3,60 достаточно 5 минут, устойчивость окраски сохраняется во всем диапазоне измерений.

При pH 4,70 интервал устойчивости окраски комплексов в обеих системах составляет от 5 до 25 минут, далее наблюдается уменьшение оптической плотности.

В оптимальных условиях комплексообразования галлия с ЭХЦ построены градуировочные графики при pH 3,60 и 4,70, по которым рассчитывали коэффициенты молярного светопоглощения комплексов в двойной и тройной системах (рис. 3, 4).

В таблице 3 представлены основные фотометрические характеристики для определения ионов галлия (III) с ЭХЦ в двойной и тройной системах. Как видно из таблицы, коэффициенты молярного светопоглощения комплекса галлия с ЭХЦ в присутствии катамина АБ при pH 3,60 в 2,3 раза выше, чем в двойной системе.

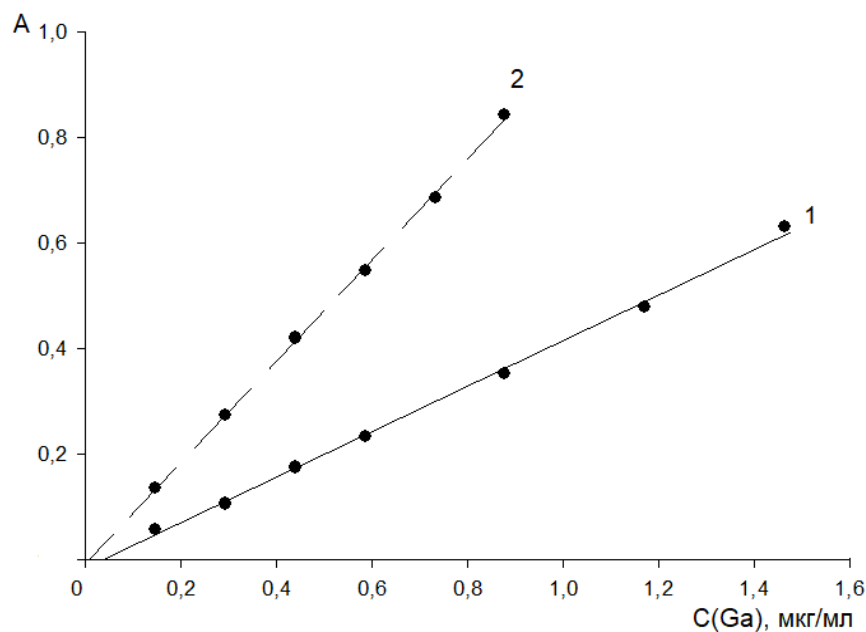


Рис. 3. Градуировочные графики при pH 3,60 для систем ЭХЦ – Ga ( $C_{\text{ЭХЦ}} = 9,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $l = 1,0$  см;  $\lambda = 540$  нм, 1) и 2) ЭХЦ – Ga – Кат ( $C_{\text{ЭХЦ}} = 9,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{\text{Кат}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  $l = 1,0$  см;  $\lambda = 603$  нм, 2)

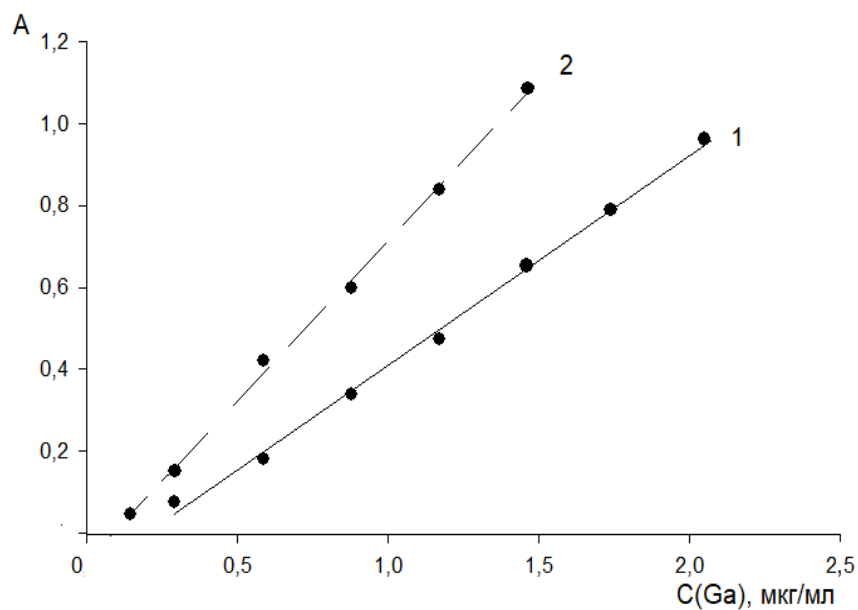


Рис. 4. Градуировочные графики при pH 4,70 для систем 1) ЭХЦ – Ga ( $C_{\text{ЭХЦ}} = 9,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $l = 1,0$  см;  $\lambda = 536$  нм, 1) и 2) ЭХЦ – Ga – Кат ( $C_{\text{ЭХЦ}} = 9,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{\text{Кат}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  $l = 1,0$  см;  $\lambda = 610$  нм, 2)

Таблица 3.

Оптические характеристики комплексов галлия (III) с ЭХЦ в двойной системе и в присутствии катамина АБ

рН	Система	Интервал линейности градуировочного графика, $C_{\text{Ga}}$ , мкг/мл	$\lambda$ , нм	$\varepsilon$
3,60	ЭХЦ – Ga	0,15–1,46	540	$2,78 \cdot 10^4$
	ЭХЦ – Ga – Кат	0,15–0,90	603	$6,53 \cdot 10^4$
4,70	ЭХЦ – Ga	0,25–2,00	536	$3,18 \cdot 10^4$
	ЭХЦ – Ga – Кат	0,15–1,45	610	$5,06 \cdot 10^4$

*Изучение соотношения компонентов в комплексах галлия с ЭХЦ.* Методами изомолярных серий и насыщения при pH 3,60 и 4,70 определены составы комплексов галлия с ЭХЦ в двойной и тройной системах.

Анализ кривых насыщения по реагенту показал, что в двойной системе при pH 3,60 и 4,70 наблюдается ступенчатое комплексообразование, сначала образуется комплекс с соотношением ЭХЦ : Ga = 1:1, а при избытке реагента – 2:1. Такие же соотношения [ЭХЦ] : [Ga<sup>3+</sup>] показал и метод изомолярных серий. В присутствии катамина АБ как при pH 3,60, так и 4,70 образуется комплекс галлия с ЭХЦ с соотношением компонентов [ЭХЦ] : [Ga<sup>3+</sup>] = 3:1.

Полученные результаты исследований согласуются с имеющимися литературными данными [3, 16], согласно которым введение ПАВ способствует увеличению числа координируе-

мых ионом металла лигандов и разрушению существующих хелатов. Это связано с уменьшением гидратации и полярности реагента, модифицированного ПАВ.

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что введение КПАВ в систему ЭХЦ – Ga улучшает оптические характеристики комплекса. Контрастность и интенсивность светопоглощения реакции значительно увеличиваются, что приводит к существенным bathochromным сдвигам на кривых светопоглощения комплексов.

Результаты по определению состава комплексов ионов галлия (III) с ЭХЦ в различных условиях и рассчитанные по методу Бабко условные константы устойчивости приведены в табл. 4. Наибольшей устойчивостью обладают комплексы галлия с ЭХЦ, образующиеся при pH 3,60.

Таблица 4.

Константы устойчивости комплексов галлия с ЭХЦ в двойной системе и в присутствии катамина АБ

pH	Система	[ЭХЦ] : [Ga <sup>3+</sup> ]	$\lambda$ , нм	$\beta'$
3,60	ЭХЦ – Ga	2:1	540	$7,11 \cdot 10^{18}$
	ЭХЦ – Ga – Kat	3:1	603	$1,96 \cdot 10^{28}$
4,70	ЭХЦ – Ga	2:1	536	$9,78 \cdot 10^{16}$
	ЭХЦ – Ga – Kat	3:1	610	$4,96 \cdot 10^{22}$

*Исследование влияния мешающих ионов на комплексообразование галлия с ЭХЦ в присутствии катамина АБ.* Для разработки методики спектрофотометрического определения ионов галлия с ЭХЦ в присутствии катамина АБ при pH 3,60 изучено влияние мешающих ионов.

В литературных источниках имеются данные по изучению влияния мешающих ионов на определение галлия с другими красителями. Так, в статье [17] авторы пришли к выводу, что на определение галлия с ПКФ в присутствии катамина АБ мешающее действие оказывают

ионы алюминия и индия. В работе [18] установлено, что на образование комплекса Ga(III) с пиридилазорезорцином (ПАР) влияют индий, таллий и железо (III), которые способны образовывать окрашенные соединения с ПАР, тем самым завышая величину оптической плотности раствора комплекса. В связи с этим рассмотрено влияние ряда ионов металлов на определение ионов галлия (III) с ЭХЦ в системе с катамином АБ при pH 3,60.

Согласно полученным данным, сильное мешающее влияние оказывают ионы алюминия и



железа (III). Также значительная погрешность определения ионов галлия наблюдается при введении таких металлов, как скандий, лантан, цинк, никель и марганец. Погрешность определения менее 5% наблюдается в присутствии следующих мольных соотношений галлия к соответствующим металлам: Co(II) – 1:2, Cu(II) – 1:1, In(III) – 1:1, Sc(III) – 1:0,25, La(III) – 1:0,5, Ca(II) – 1:0,5, Ce(II) – 1:1, Pb(II) – 1:1, Ni(II) – 1:0,25, Mg(II) – 1:1, Mn(II) – 1:0,5, Ba(II) – 1:2 и 1:1, Zr(IV) – 1:1, Sr(II) – 1:1.

*Оценка правильности и сходимости результатов измерений.* При обработке результатов для оценки качества анализа применяются два важных метрологических показателя – правильность и сходимость, которые характеризуют систематические и случайные погрешности определения концентраций веществ, в нашем случае, ионов галлия. Численной мерой сходимости является абсолютное или относительное стандартное отклонение, рассчитываемое из результатов нескольких параллельных определений [19, 20].

Анализ комплексов ЭХЦ с ионами галлия в присутствии катамина АБ проводился спектрофотометрическим методом в одних и тех же условиях в течение короткого промежутка времени.

При оценке результатов измерений параллельно исследовались 5 проб. Для этого в мерную колбу на 25,0 мл вводили 1,0 мл  $2,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора реагента, 3,0 мл буферного раствора (рН 3,60), 2,5 мл  $1,05 \cdot 10^{-4}$  моль/л раствора иона металла и 2,0 мл  $1,3 \cdot 10^{-2}$  моль/л раствора катамина АБ, доводили смесь до метки дистиллированной водой. Таким же образом готовилась холостая проба.

Результаты расчетов представлены в табл. 5. Согласно проведенным анализам, доверительные границы содержания ионов галлия составляют  $18,57 \pm 0,14$  мкг/25мл. Относительная ошибка измерений составила менее 1%.

В целом же метрологический анализ исследуемых растворов, как видно из таблицы, дает высокую сходимость результатов измерений.

Таблица 5.

Оценка правильности и сходимости результатов измерений комплексообразования галлия с ЭХЦ в присутствии катамина АБ при рН 3,60 ( $C_{\text{ЭХЦ}} = 9,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{\text{кат}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  $n = 5$ ;  $P = 0,95$ ;  $l = 1,0$  см;  $\lambda = 603$  нм)

Введено Ga(III), мкг/25мл	Найдено Ga(III), мкг/25мл	$X_{\text{ср}}$	S	$S_{\text{г}}$	Относительная ошибка, %
18,38	18,55	18,57	0,11	0,006	0,98
	18,50				
	18,73				
	18,63				
	18,43				

### Заключение

Обобщая полученные результаты, следует отметить, что как в двойной системе, так и в присутствии катамина АБ оптические характеристики комплексов галлия с ЭХЦ и селективность определения выше при рН 3,60, чем при

4,70. Образование комплексов галлия в системе ЭХЦ – Ga – Kat при рН 3,60–4,70 сопровождается батохромными сдвигами, повышением устойчивости и гиперхромным эффектом. Введение катамина АБ приводит увеличению: коэффициента молярного светопоглощения в 2,3

раза (рН 3,60), количества закомплексованных молекул реагента и константы устойчивости комплексов. Определению галлия с ЭХЦ и катамином АБ мешают ионы железа (III), алюми-

ния, скандия, лантана, цинка, никеля и марганца. А в присутствии Co(II), Cu(II), In(III), Ca(II), Ce(II), Pb(II), Mg(II), Ba(II), Zr(IV) и Sr(II) погрешность определения не превышает 5%.

#### Список источников

1. *Неудачина Л.К., Петрова Ю.С.* Применение поверхностно-активных веществ в анализе. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. 76 с. EDN: YMJAOF
2. *Штыков С.Н., Горячева И.Ю., Штыков Л.С.* Мицеллы и микроэмульсии в разделении и концентрировании // Журнал аналитической химии. 2003. Т. 58, № 7. С. 732-733. EDN: OOCOCX
3. *Саввин С.Б., Чернова Р.К., Белоусова В.В.* О механизме действия катионных поверхностно-активных веществ в системах органический реагент – ион металла – ПАВ // Журнал аналитической химии. 1978. Т. 33, № 8. С. 1473–1480. EDN: VKRWZJ
4. *Альбота Л.А., Сердюк Л.С., Заверач М.М.* Фотометрическое определение ртути дитизоном и хлоридом N-цетилпиридиния // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 2. С. 270–274.
5. *Белоусова В.В., Чернова Р.К.* ПАВ в спектрофотометрическом анализе. Комплекс титана с дисульфобензилфлуороном и длинноцепочечными аминами // Журнал аналитической химии. 1977. Т. 32, № 9. С. 1669–1671.
6. *Бурмаа Д., Сайнжаргал Б., Энхтуяа М.* Применение поверхностно-активных веществ для оптимизации условий комплексообразования празеодима (III) с тиазолилазорезорцином // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2015. Т. 12, № 1. С. 7–11. EDN: TMMQUZ
7. *Денисова С.А., Леснов А.Е.* Комплексообразование ионов меди (II), алюминия и циркония с хромазуолом S в присутствии катамина АБ // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, № 1. С. 39-53. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2018-1-39-53>
8. *Денисова С.А., Леснов А.Е.* Влияния катамина АБ на комплексообразование лантана и тулия с ксиленовым оранжевым // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, № 1. С. 28–38. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2019-1-28-38>
9. *Драчев А.М., Денисова С.А., Леснов А.Е.* Комплексообразование эриохромцианина R с ионами алюминия и железа (III) в присутствии ПАВ // Вестник Пермского университета. Серия "Химия". 2021. Т. 11, № 2. С. 114-125. DOI: 10.17072/2223-1838-2021-2-114-125 EDN: TNSRBX
10. *Денисова С.А., Леснов А.Е.* Влияние поверхностно-активных веществ на спектрофотометрические характеристики комплексов скандия с эриохромцианином R // Вестник Пермского университета. Серия "Химия". 2021. Т. 11, № 3. С. 184–192. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2021-3-184-192>
11. *Поверхностно-активные вещества и композиции.* Справочник / под ред. М.Ю. Плетнева. М.: ООО "ФирмаКлавель", 2002. 748 с.
12. *Ельчищева Ю.Б.* Спектрофотометрические методы анализа. Пермь: ПГНИУ, 2023. 188 с.
13. *Булатов М.И., Калинин И.П.* Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.

14. Бабко А.К., Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В., Рябушко О.П. Физико-химические методы анализа. М.: Высшая школа, 1968. 335 с.
15. Тихонов В.Н., Анисимова Т.М. Исследование комплексообразования некоторых элементов с эриохромцианином R // Журнал аналитической химии. 1983. Т. 38, № 5. С. 778.
16. Чернова Р.К. Влияние некоторых коллоидных поверхностно-активных веществ на спектрофотометрические характеристики хелатов металлов с хромофорными органическими реагентами // Журнал аналитической химии. 1977. Т. 32, № 8. С. 1477–1486.
17. Денисова С.А., Леснов А.Е. Комплексообразование и гель-экстракция галлия с пирокатехиновым фиолетовым в расслаивающихся системах вода – ПАВ – неорганический высаливатель // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2017. Т. 7, № 1. С. 39–45. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2017-1-39-48>
18. Нечипоренко Н.И. Спектрофотометрические методы определения галлия и индия в воздухе // Гигиена и санитария. 1971. № 11. С. 73–76.
19. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. Л.: Химия, 1984. 168 с.
20. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. М.: Высшая школа, 2003. 560 с.

#### Информация об авторах

**Светлана Александровна Денисова**, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет» (614068, Россия, г. Пермь, Букирева, 15), [sw.denisova@yandex.ru](mailto:sw.denisova@yandex.ru)

**Елизавета Анатольевна Югова**, студент, Пермский государственный национальный исследовательский университет» (614068, Россия, г. Пермь, Букирева, 15).

**Светлана Александровна Заболотных**, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет» (614068, Россия, г. Пермь, Букирева, 15); научный сотрудник лаборатории органических комплексообразующих реагентов, Институт технической химии УрО РАН (614013, Россия, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), [zabolotsveta@mail.ru](mailto:zabolotsveta@mail.ru)

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

*Поступила 22 апреля 2025 г.; принята к публикации 21 июня 2025 г.*

#### References

1. Neudachina, L.K. and Petrova, Yu.S. (2017) *Primeneniye poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v analize* [Application of surfactants in analysis], Ural University, Ekaterinburg. (In Russian).
2. Shtykov, S.N., Goryacheva, I.Yu. and Shtykova, L.S. (2003) “Micelles and microemulsions in seprstion and preconcentration”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 58, no. 7, pp. 732–733. (In Russian).
3. Savvin, S.B., Chernova, R.K., and Belousova, V.V. (1978) О mekhanizme deystviya kationnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v sistemakh organicheskoy reagent – ion metalla – PAV [About the

mechanism of action of cationic surfactants in the systems of organic reagent – metal ion – surfactant], *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 33, no. 8, pp. 1473–1480. (In Russian).

4. Albota, L.A., Serdyuk, L.S. and Zaverach, M.M. (1981) Fotometricheskoye opredeleniye rtuti diti-zonom i khloridom N-tsetilpiridiniya [Photometric determination of mercury with dithizon and N-cetylpyridinium chloride], *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 2, pp. 270–274. (In Russian)

5. Belousova, V.V. and Chernova, R.K. (1977) PAV v spektrofotometricheskom analize. Kompleks ti-tana s disulfofenilfluoronom i dlinnotsepochechnymi aminami [Surfactants in spectrophotometric analysis. Titanium complex with disulfophenylfluorone and long-chain amines], *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 32, no. 9, pp. 1669–1671. (In Russian)

6. Burmaa, D. Sainjargal, B and Enkhtuya, M. (2015), “Application of surfactants for optimization of complex formation Pr (III) with TAR”, *Proceedings of Universities. Applied chemistry and Biotechnology*, vol. 12, no. 1, pp. 7–11.

7. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2018), “Complexing of copper (II), aluminum and zirconium ions with chromazurol S in the presence of catamin AB”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 8, no. 1, pp. 39–53. (In Russian).

8. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2019) “Effect of Catamine AB on complex formation of Lanthanum and Thulium with Xylenol orange”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 1, pp.28–38 (In Russian).

9. Drachev, A.M., Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2021) “Chemistrycomplexation of eriochromcyanine R with aluminum and iron (III) ions in the presence of surfactants”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 11, no. 2, pp. 114–125 (In Russian).

10. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2021) “Influence of Surfactances on the Spectrophotometric Characteristics of Scandium Complexes With Eriochromcyanine R”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 11, no. 3, pp.184–192 (In Russian).

11. Pletnev, M.Yu. (ed.) (2002), *Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva i kompozitsii. Spravochnik* [Surfactants and compositions. Handbook], Firma Klavel, Moscow. (In Russian)

12. Elchishcheva Yu.B. *Spektrofotometricheskiye metody analiza: uchebnoye posobiye* [Spectrophotometric methods of analysis: a tutorial], Perm State National Research University, Perm. (In Russian)

13. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986) *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance to photometric methods analysis], Chimia, Leningrad (In Russian).

14. Babko, A.K., Pilipenko, A.T., Pyatnitsky, I.V. and Ryabushko, O.P. (1968) *Fiziko-khimicheskiye metody analiza* [Physico-chemical methods of analysis], High School, Moscow. (In Russian).

15. Tikhonov V.N., Anisimova T.M. (1983) “Investigation of the complexation of some elements with Eriochrome cyanine R”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 38, no. 5, pp. 778. (In Russian).

16. Chernova, R.K. (1977) “Effect Of Some Colloidal Surfactants on Spectrophotometric Characteristics of Metal Chelates With Chromophoric Organic Reagents”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 32, no. 9, pp. 1477–1486. (In Russian)

17. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2017) “Complexing and Gel Extraction of Gallium With Pyrocatechol Violet in Stratifying System Water – Surfactant – Inorganic Salting-Out Agent”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 7, no. 1, pp.39–45 (In Russian).
18. Nechiporenko N.I. (1971) Spektrofotometricheskiye metody opredeleniya galliya i indiya v vozdukh [Spectrophotometric methods for gallium and indium determining in the air], *Hygiene and Sanitation*, no. 11, pp. 73–76. (In Russian)
19. Charykov A.K. *Matematicheskaya obrabotka rezultatov khimicheskogo analiza* [Mathematical processing of chemical analysis results]. Chemistry, Leningrad. (In Russian)
20. Kharitonov Yu.Ya. *Analiticheskaya khimiya* [Analytical chemistry], Higher School, Moscow. (In Russian)

#### Information about the authors

**Svetlana A. Denisova**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva St., Perm, 614068, Russia), sw.denisova@yandex.ru

**Elizaveta A. Yugova**, student, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva St., Perm, 614068, Russia).

**Svetlana A. Zabolotnykh**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva St., Perm, 614068, Russia), Researcher of the Laboratory of Organic Complexing Reagents, Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (3, Akademika Koroleva St., Perm, Russia, 614013), zabolotsveta@mail.ru.

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 22 April 2025; accepted 21 June 2025*