

— АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ —

Научная статья

УДК 535.243+661.185.232

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-201-212>

## Влияние катамина АБ на комплексообразование бромпирогаллолового красного с ионами скандия

Светлана Александровна Денисова<sup>1</sup>, Мария Владимировна Заборских<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.** Изучены закономерности комплексообразования бромпирогаллолового красного с ионами скандия в двойной системе и в присутствии катионогенного поверхностно-активного вещества катамина АБ. Определен оптимальный интервал pH комплексообразования. Регистрированы спектры поглощения красителя и его комплексов с ионами скандия в двойных системах и в присутствии катамина АБ при различных значениях pH и концентрациях ПАВ. Методами насыщения и изомолярных серий при pH 5,90 и 6,40 установлено соотношение между металлом и реагентом в комплексах без катамина АБ и в его присутствии. Методом Бабко определены условные константы устойчивости полученных комплексов, построены градуировочные графики, рассчитаны коэффициенты молярного светопоглощения. При pH 6,40 изучено влияние мешающих ионов.

**Ключевые слова:** катамин АБ; бромпирогаллоловый красный; скандий; фотометрия

**Для цитирования:** Денисова С.А., Заборских М.В., Заболотных С.А. Влияние катамина АБ на комплексообразование бромпирогаллолового красного с ионами скандия // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 4. С. 201–212. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-201-212>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-201-212>

## Catamine AB effect on the complex formation of bromopyrogallol red with scandium ions

Svetlana A. Denisova<sup>1</sup>, Mariya V. Zaborskikh<sup>1</sup>, Svetlana A. Zabolotnykh

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

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

**Abstract.** The regularities of complexation of bromopyrogallol red with scandium ions in the dual system and in the presence of cationic surfactant catamin AB have been studied. The optimum pH interval of complexation was determined. The light absorption spectra of the dye and its complexes with scandium ions in dual systems and in the catamin AB presence at different pH values and surfactant concentrations were recorded. The ratio between metal ion and reagent in complexes without and in the presence of catamin AB was determined by saturation and isomolar series methods at pH 5,90 and 6,40. The conditional stability constants of the obtained complexes were determined by the Babko method, calibration graphs were constructed, and molar light absorption coefficients were calculated. The influence of interfering ions was studied at pH 6,40.

**Key words:** catamine AB; bromopyrogallol red; scandium; photometry.

**For citation:** Denisova, S.A., Zaborskikh, M.V. and Zabolotnykh, S.A. (2023) “Catamine AB effect on the complex formation of bromopyrogallol red with scandium ions”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 4, pp. 201–212. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-201-212>.



Спектрофотометрические методы анализа, благодаря своей универсальности, надежности и доступности, широко применяются для определения веществ различной природы. Для повышения чувствительности и селективности фотометрических реакций, помимо поиска и синтеза новых реагентов, используется прием улучшения условий взаимодействия ионов металлов с металлохромными реагентами при введении третьего компонента, например ПАВ. Такие реакции имеют большую практическую ценность и используются для разработки эффективных спектрофотометрических методов определения многих элементов [1, 2]. Известно, что 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 [3–5].

Действие ионов ПАВ на аналитические системы связано с образованием в растворе нейтральных гидрофобно-гидратированных ионных ассоциатов реагент (хелат) – ПАВ [6]. Природа изменения цветности при образовании таких соединений исследована весьма мало, однако известные к настоящему времени факторы позволяют считать, что это вызвано в первую очередь лиганд–лигандным взаимодействием [7]. Такое взаимодействие при образовании разнолигандных соединений тем более вероятно, что известна способность ПАВ образовывать с красителями ассоциаты, приводящие к изменению цвета последних. Согласно литературным данным [8, 9], при образовании разнолигандных комплексов присоединение

катионных ПАВ к реагенту осуществляется за счет электростатического и гидрофобного взаимодействия.

Комплексообразование металлов с органическими реагентами в присутствии ПАВ может сопровождаться 2–10-кратным увеличением интенсивности поглощения раствора и дополнительным батохромным сдвигом в спектрах на 20–100 нм. Указанные спектральные изменения, а также увеличение чувствительности и селективности фотометрических определений являются следствием изменения типа гидратации частиц в растворе и связанных с этим следующих процессов: увеличением числа координируемых ионом металла лигандов; сдвигом интервала рН комплексообразования в более кислую область; увеличением устойчивости хелатов в водном растворе; многоцентрового взаимодействия в системе  $Me - R - ПАВ$  [10].

Наиболее часто улучшение оптических характеристик цветных реакций ионов металлов с хромоформными реагентами наблюдается в присутствии катионных поверхностно-активных веществ (КПАВ). Большинство накопленных к настоящему времени данных касается использования индивидуальных ПАВ: цетилпиридиния, цетилтриметиламмония и других [11–15]. Однако исследования, проводимые на кафедре аналитической химии Пермского университета, показали перспективность использования промышленно выпускаемого КПАВ алкилбензилдиметиламмоний хлорид (катамин АБ) для модифицирования цветных реакций ионов алюминия, меди, циркония, лантана с некоторыми красителями трифенилметанового ряда [16–18]. В связи с этим представляло интерес продолжить данные исследования.

Для обнаружения и количественного определения скандия нет достаточно селективных реагентов. Это объясняется тем, что скандий по свойствам занимает промежуточное положение между алюминием и элементами иттриевой подгруппы и, кроме того, во многих отношениях сходен с другими трех- и четырехвалентными элементами (например, железом и торием) [19].

Целью данной работы является изучение закономерностей комплексообразования бромпирогаллолового красного с ионами скандия в присутствии КПАВ катамина АБ.

### Экспериментальная часть

В работе использовали катиногенное поверхностно-активное вещество – алкилбензилдиметиламмоний хлорид (Kat, ТУ 9392-098-92665598-2011, М.м. 357,0±10,0), общей формулы  $[C_nH_{2n+1}N^+(CH_3)_2CH_2C_6H_5] \cdot Cl^-$ , где  $n = 10-18$ , основное вещество – 49,0–51,0 мас. %. Растворы с концентрациями 0,13и 0,013моль/л готовили соответствующим разбавлением исходного раствора.

Трифенилметановый краситель бромпирогаллоловый красный, (БПК,  $C_{19}H_{12}Br_2O_9S$ , М.м. 558,16 г/моль) использовали в виде 0,05%-ного ( $8,96 \cdot 10^{-4}$  моль/л) раствора в 50%-ном спирте.

Раствор нитрата скандия с концентрацией 0,1 моль/л готовили растворением точной навески соли  $Sc(NO_3)_3$  (ч.д.а.) в воде. Для спектрофотометрических исследований последовательным разбавлением исходного раствора готовили раствор с концентрацией  $7,0 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

Для поддержания значения рН в образцах использовали ацетатно-аммиачные буферные растворы с рН 1,89–7,56.

Спектры растворов регистрировали на спектрофотометре СФ-2000, градуировочные гра-

фики строили с помощью спектрофотометра ЮНИКО 1201, использовали кюветы на 1 см.

Для выяснения оптимального интервала рН комплексообразования регистрировали спектры поглощения растворов БПК и его комплексов с ионами скандия при различных значениях рН в присутствии ПАВ и без него на фоне воды и красителя. Для этого в мерные колбы на 25,0 мл вводили 2,5 мл БПК ( $8,96 \cdot 10^{-4}$  моль/л), 3,0 мл буферного раствора и 1,0 мл раствора  $Sc(NO_3)_3$  ( $7,0 \cdot 10^{-4}$  моль/л). Для изучения комплексообразования в присутствии ПАВ вводили 0,5–1,0 мл раствора катамина АБ с различной концентрацией.

Расчет кажущихся коэффициентов молярного поглощения проводили по градуировочным графикам. Для этого в ряд мерных колб на 25,0 мл вносили 6,0 мл раствора БПК, 3,0 мл буферного раствора с рН 2,90; 5,90 и 6,40, от 0,25 до 2,50 мл раствора скандия, 0,5 или 1,0 мл 0,13 моль/л раствора катамина АБ и доводили дистиллированной водой до метки.

Для определения условных констант устойчивости комплекса скандия с БПК в двойной и тройной системах в мерные колбы на 25,0 мл вводили 2,4 мл раствора БПК, 3,0 мл буферного раствора с рН 5,90 (6,40), 1,0 мл раствора скандия, 0,5 (1,0) мл 0,13 моль/л катамина АБ, в случае тройной системы, и доводили до метки дистиллированной водой. Брали аликвоту полученного раствора и разбавляли в мерных колбах на 25,0 мл в 2 и в 5 раз. Затем фотометрировали исходный раствор в кювете толщиной 1 см, разбавленный в 2 раза раствор – в кювете толщиной 2 см, разбавленный в 5 раз – 5 см. Расчет вели по формулам:

$$\beta'_{MR_n} = \frac{100(q^n - 1)}{\Delta(pnC_M)^n}, \Delta = \frac{A - A_q}{A}$$

где  $\beta'_{MR_n}$  – условная константа устойчивости светопоглощающего комплекса,  $q$  – разбавление,  $n$  – стехиометрический коэффициент,  $p$  – кратный избыток,  $C_M$  – концентрация металла в растворе,  $\Delta$  – отклонение от основного закона светопоглощения вследствие диссоциации комплекса,  $A$  и  $A_q$  – оптические плотности исходного и разбавленного растворов [20].

### Результаты и обсуждение

Для изучения условий комплексообразования БПК со  $Sc^{3+}$  в двойной системе и в присутствии катамина АБ проведен визуальный скрининг изменения окраски реагента и образующихся комплексов при различных значениях рН. Исследования показали, что наиболее высокая контрастность между окраской реагента и его комплекса с ионами  $Sc(III)$  в двойной системе наблюдается в интервале при рН 5,90 и 6,40. В присутствии ПАВ комплексообразование БПК с ионами скандия происходит и в более кислой среде – при рН 2,90.

При значениях рН 2,90, 5,90 и 6,40 зарегистрированы спектры светопоглощения растворов БПК и его комплексов с ионами  $Sc(III)$  (рис. 1). Оптические характеристики реагента и образующихся комплексов в двойной системе обобщены в табл. 1.

Анализ спектров поглощения показал, что кислотность среды существенно влияет на положение максимума реагента. При рН 2,90 максимум светопоглощения БПК находится при 435 нм (рис. 1, кривая 1), а при рН 5,90 и 6,40 (кривые 2, 3) происходит его смещение в длинноволновую область до 557 нм. Комплексообразование в кислой среде практически отсутствует (рис. 1, кривая 4), оптическая плотность комплексов на фоне реагента составляет 0,014. Контрастность фотометрической реакции в системе БПК –  $Sc$  наблюдается в области рН, близкой к 6.

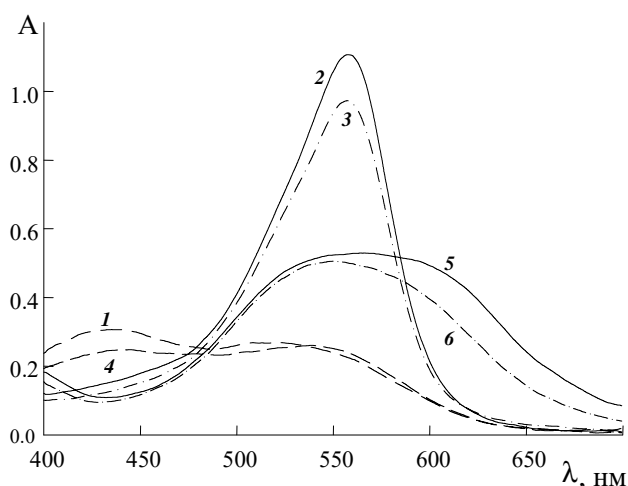


Рис. 1. Спектры светопоглощения растворов БПК (1–3) и его комплексов со  $Sc^{3+}$  (4–6) на фоне воды при рН: 2,90 (1, 4); 5,90 (2, 5); 6,40 (3, 6) ( $C_{\text{БПК}} = 8,4 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{Sc} = 2,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л)

Таблица 1

### Оптические характеристики БПК и его комплексов со скандием

( $C_{\text{БПК}} = 8,4 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{Sc} = 2,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л)

рН	БПК (на фоне воды)		БПК – Sc (на фоне воды)		БПК – Sc (на фоне реагента)	
	$\lambda_{\text{max}}$ , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	$\lambda_{\text{max}}$ , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	$\lambda_{\text{max}}$ , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$
2,90	435	0,307	445, 538	0,248, 0,261	570	0,014
5,90	557	1,106	564	0,529	616	0,348
6,40	557	0,973	550	0,505	610	0,232

Так как введение ПАВ существенно влияет на оптические характеристики комплексов органический реагент – металл, рассмотрена за-

висимость окраски комплексов скандия с БПК в зависимости от концентрации катамина АБ. Визуальные исследования показали, что при

содержании катамина АБ  $5,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л и выше растворы комплексов в интервале рН 2,90–6,40 приобретают синюю окраску, что говорит о сдвиге полосы поглощения комплекса в длинноволновую область. Наибольшая контрастность в окраске реагента и комплексов при рН 2,90 наблюдается при содержании ПАВ  $5,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

На рис. 2 представлены спектры светопоглощения комплексов БПК с ионами скандия в присутствии катамина АБ, полученные при рН 2,90. Оптические характеристики реагента и его комплексов при различных концентрациях катамина АБ обобщены в табл. 2.

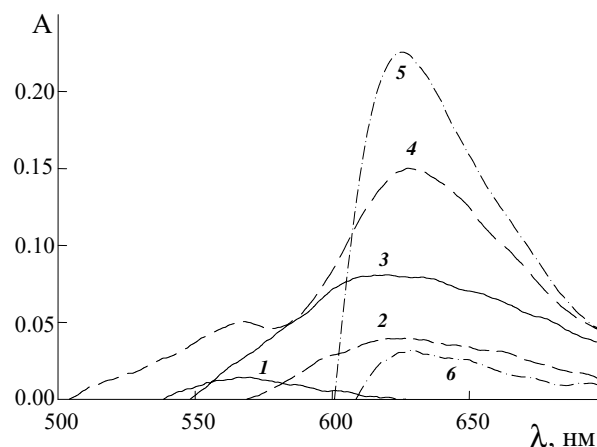


Рис. 2. Спектры светопоглощения комплексов  $Sc^{3+}$  с БПК в присутствии катамина АБ, моль/л: 0,0 (1);  $2,6 \cdot 10^{-5}$  (2);  $5,2 \cdot 10^{-5}$  (3);  $2,6 \cdot 10^{-4}$  (4),  $5,2 \cdot 10^{-4}$  (4);  $2,6 \cdot 10^{-3}$  (5),  $5,2 \cdot 10^{-3}$  (6) (рН 2,90;  $C_{\text{БПК}} = 8,4 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{Sc} = 2,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л)

Таблица 2

#### Оптические характеристики БПК и его комплексов со скандием в присутствии катамина АБ

( $C_{\text{БПК}} = 8,4 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $C_{Sc} = 2,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л; рН = 2,90)

Система	БПК – Кат		БПК – Sc – Кат			
	на фоне воды		на фоне воды		на фоне БПК – Кат	
	$\lambda_{\text{max}}$ , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	$\lambda_{\text{max}}$ , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	$\lambda_{\text{max}}$ , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$
рН 2,90						
0	435	0,307	445, 538	0,248, 0,261	570	0,014
$2,6 \cdot 10^{-5}$	440	0,349	547	0,286	626	0,040
$5,2 \cdot 10^{-5}$	437, 532	0,346, 0,322	553	0,320	620	0,081
$2,6 \cdot 10^{-4}$	445, 582	0,278, 0,427	588	0,473	627	0,150
$5,2 \cdot 10^{-4}$	452, 583	0,244, 0,543	587	0,512	635	0,164
$2,6 \cdot 10^{-3}$	580	0,913	584	0,647	625	0,226
$5,2 \cdot 10^{-3}$	580	0,927	580	0,834	628	0,032
рН 5,90						
0	557	1,106	564	0,529	616	0,348
$2,6 \cdot 10^{-4}$	566	1,122	570	0,499	612	0,353
$2,6 \cdot 10^{-3}$	580	1,196	586	0,582	633	0,368
$5,2 \cdot 10^{-3}$	580	1,150	583	0,561	635	0,350
рН 6,40						
0	557	0,973	550	0,505	610	0,232
$2,6 \cdot 10^{-5}$	558	0,936	567	0,423	629	0,222
$2,6 \cdot 10^{-3}$	580	1,028	588	0,528	636	0,289
$5,2 \cdot 10^{-3}$	580	1,106	585	0,541	635	0,302
$2,6 \cdot 10^{-2}$	581	1,113	582	0,631	635	0,242

Представленные результаты позволяют сделать вывод, что при рН 2,90 введение ПАВ приводит к существенным изменениям на кривых светопоглощения красителя. На спектрах

БПК при отсутствии катамина АБ присутствует один максимум при 435 нм. При  $5,2 \cdot 10^{-5}$  моль/л катамина АБ появляется второй пик при 532 нм. Повышение концентрации ПАВ приводит к

увеличению интенсивности второго максимума и смещению его в длинноволновую область до 580 нм. Комплексообразование ионов скандия с БПК при этом значении рН в двойной системе практически отсутствует. В присутствии катамина АБ наблюдается батохромный сдвиг максимума светопоглощения комплексов с 570 до 625–635 нм, интенсивность светопоглощения которых максимальна при концентрации катамина АБ  $2,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л. При рН 2,90 для развития окраски комплексов достаточно 20 минут.

В оптимальных условиях построен градуировочный график (рис. 3), которому соответствует уравнение прямой, полученное методом наименьших квадратов:

$$A = 0,0216 \cdot C_{Sc} + 0,056 \quad (R^2 = 0,9961).$$

По полученной зависимости рассчитывали коэффициент молярного светопоглощения в тройной системе, который составил  $2,7 \cdot 10^4$ .

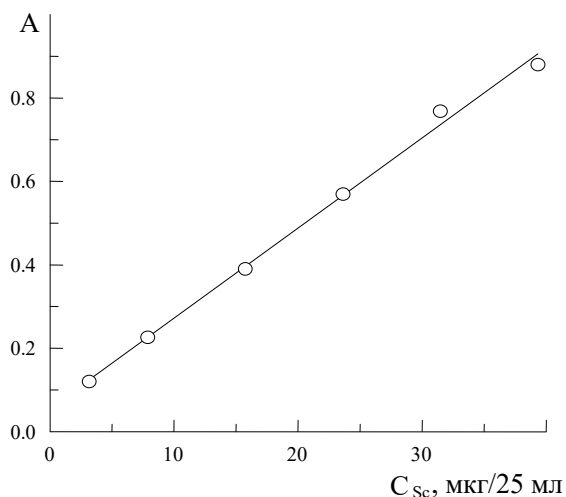


Рис. 3. Градуировочный график для системы Sc – БПК – Kat (рН = 2,90;  $C_{БПК} = 2,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л;  $C_{Kat} = 2,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л;  $l = 1$  см;  $\lambda = 625$  нм)

Следует отметить, что в присутствии катамина АБ появляется возможность определения  $Sc^{3+}$  с БПК в кислой среде (рН около 3,00), что позволяет повысить селективность определения, так как для комплексообразования БПК с

ионами металлов в большинстве случаев является оптимальной область рН около 6,00.

Ранее по результатам визуального скрининга установлено, что наибольшая контрастность цветных реакций в двойной системе и в присутствии ПАВ наблюдается в области рН около 6. При рН 5,90 и концентрациях катамина АБ меньше, чем  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л в растворах комплексов выпадали осадки.

При значениях рН 5,90 и 6,40 зарегистрированы спектры светопоглощения растворов БПК и его комплексов с ионами скандия в двойной системе и в присутствии катамина АБ. Оптические характеристики реагента и образующихся комплексов в системе БПК – Sc – Kat при рН 5,90 и 6,40 обобщены в табл. 2.

Как видно из результатов, введение ПАВ в области рН 5,90–6,40 практически не влияет на интенсивность полосы светопоглощения реагента, вызывая на спектрах БПК небольшой сдвиг длины волны максимального светопоглощения в длинноволновую область на 23–24 нм. Наиболее высокое светопоглощение при рН 5,90 наблюдается при концентрации катамина АБ  $2,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л, а при рН 6,40 –  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Для развития окраски комплексов при рН 5,90 достаточно 10 мин для системы с катамином АБ и 30 мин для двойной системы. При рН 6,40 развитие окраски комплексов в обеих системах происходит в течение 20 мин.

Методами изолярированных серий и насыщения в оптимальных условиях комплексообразования БПК с ионами скандия установлено, что в системе БПК – Sc образуется комплекс состава 2:1, а при введении в двойную систему катамина АБ число координируемых лигандов увеличивается до трех.

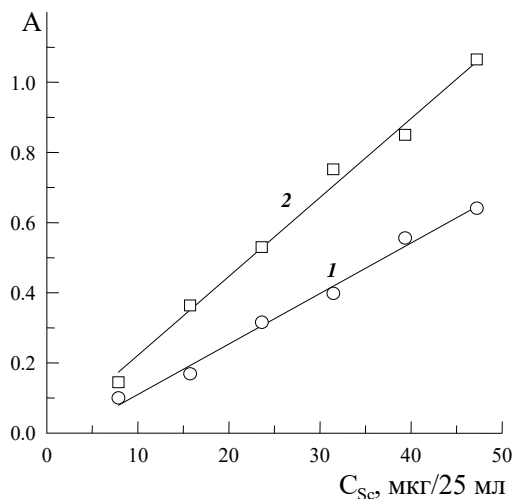


Рис. 4. Градуировочные графики при pH 5,90:

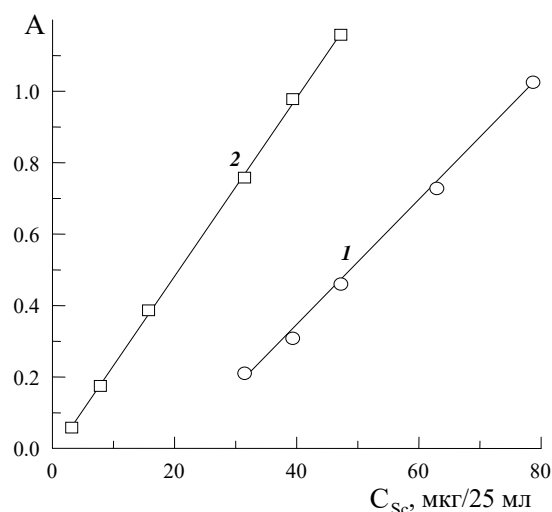
(1) БПК – Sc ( $l = 1$  см;  $\lambda = 616$  нм);(2) БПК – Sc–Kat ( $l = 1$  см;  $\lambda = 633$  нм) $(C_{\text{БПК}} = 2,15 \cdot 10^{-4}$  моль/л;  $C_{\text{Kat}} = 2,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л)

Рис. 5. Градуировочные графики при pH 6,40:

(1) БПК – Sc ( $l = 1$  см;  $\lambda = 610$  нм);(2) БПК – Sc–Kat ( $l = 1$  см;  $\lambda = 635$  нм). $(C_{\text{БПК}} = 2,15 \cdot 10^{-4}$  моль/л;  $C_{\text{Kat}} = 5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л)

Коэффициенты молярного светопоглощения  $\epsilon$  для двойной и тройной систем рассчитывались по градуировочным графикам, представленным на рис. и 8.

Методом наименьших квадратов рассчитаны уравнения прямых, соответствующих построенным градуировочным графикам. По методу

Бабко определены условные константы устойчивости и коэффициенты молярного светопоглощения комплексов в двойной и тройной системах при pH 5,90 и 6,40. Результаты расчетов коэффициентов молярного светопоглощения  $\epsilon$  и констант устойчивости комплексов ионов скандия с БПК обобщены в табл. 4.

Таблица 4

Оптические характеристики комплексов БПК – Sc и БПК – Sc–Kat при pH 5,90 и 6,40

Система	$\lambda$ , нм	Уравнение градуировочного графика	$R^2$	$\epsilon$	$\beta'$
pH 5,90					
БПК – Sc	616	$y = 0,0144 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,0345$	0,9910	$1,40 \cdot 10^4$	$8,07 \cdot 10^{11}$
БПК – Sc–Kat	633	$y = 0,0225 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,0078$	0,9861	$2,40 \cdot 10^4$	$1,13 \cdot 10^{16}$
pH 6,40					
БПК – Sc	610	$y = 0,0175 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,3611$	0,9976	$1,11 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^{11}$
БПК – Sc–Kat	635	$y = 0,025 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,0181$	0,9996	$2,60 \cdot 10^4$	$2,46 \cdot 10^{16}$

Известно, что БПК не является селективным реагентом и со многими ионами металлов образует интенсивно окрашенные комплексы. Поэтому для разработки методики спектрофотометрического определения скандия с БПК и катамином АБ рассмотрено влияние на оптическую плотность ряда мешающих ионов. Наибо-

лее высокая чувствительность определения скандия с БПК в присутствии катамина АБ наблюдается при pH 6,40, поэтому исследования проводили при этом значении pH.

В мерные колбы на 25,0 мл вводили 3,0 мл буферного раствора с pH 6,40, 6,0 мл 0,05%-ного раствора БПК, раствор скандия

(23,63 мкг), мешающий ион, 1,0 мл  $1,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора катамина АБ и доводили дистиллированной водой до метки. Оптическую плотность измеряли в кюветах толщиной 1 см при 635 нм.

Погрешность определения меньше 5% наблюдается в присутствии следующих мольных соотношений сопутствующих металлов к скандию: Cu – 0,1:1, Cd – 2:1, Ga(III) – 0,05:1, Mg – 0,2:1. Наиболее сильное мешающее влияние на фотометрическое определение Sc с БПК оказывают ионы галлия, тулия и железа (III). В присутствии большого количества мешающих компонентов необходимо проводить предварительное разделение ионов.

#### Заключение

Обобщая полученные результаты, следует отметить, что при введении катамина АБ ста-

новится возможным определение ионов скандия с БПК в кислой среде при pH 2,90, что повышает селективность определения. Образование разнолигандных комплексов при pH 5,90–6,40 сопровождается батохромными сдвигами, повышением устойчивости и увеличением чувствительности фотометрического определения скандия с БПК, модифицированным катамином АБ. Под влиянием гидрофобных молекул катамина АБ происходит разрыхление связи ОН-групп БПК в положении 3. При этом становится возможным замещение протона катионом ПАВ. Ассоциация по этой группе способствует дополнительной делокализации  $\pi$ -электронной системы реагента, что и приводит к удлинению цепи сопряжения и последующему бато- и гиперхромному сдвигу максимумов светопоглощения комплексов.

#### Список источников

1. Штыков С.Н., Горячева И.Ю., Штыкова Л.С. Мицеллы и микроэмульсии в разделении и концентрировании // Журнал аналитической химии. 2003. Т. 58, № 7. С. 732–733.
2. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Белоусова В.В. и др. О механизме действия катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в системах органический краситель – ион металла – ПАВ // Журнал аналитической химии. 1978. Т. 33, № 8. С. 1473–1480.
3. Альбота Л.А., Сердюк Л.С., Заверач М.М. Фотометрическое определение ртути дитизоном и хлоридом N-цетилпиперидиния // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 2. С. 270–274.
4. 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.
5. Иванов В. М., Мамедова А.М. Влияние поверхностно-активных веществ на кислотно-основные и цветометрические характеристики пирогаллолового красного и бромпирогаллолового красного // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2002. Т. 43, № 5. С. 291–296.
6. Неудачина Л.К., Петрова Ю.С. Применение поверхностно-активных веществ в анализе. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. 76 с.
7. 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.



8. Ганаго Л.И., Ищенко Н.Н. Изучение разнолигандных комплексов соединений галлия и индия с хромоформными реагентами трифенилметанового ряда и бромидом цетилпиридиния // Журнал аналитической химии. 1982. Т. 37, № 9. С. 1636–1643.
9. Саввин С.Б., Маров И.Н., Чернова Р.К. и др. Электростатические и гидрофобные эффекты при образовании ассоциатов органических реагентов с катионными ПАВ // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 5. С. 850–859.
10. Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества в анализе. Основные достижения и тенденции развития // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, № 7. С. 679–686.
11. Тихонов В.Н., Александрова Н.П. Спектрофотометрическое исследование трехкомпонентных комплексов некоторых металлов с хромазуолом S и цетилтриметиламмонием // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 2. С. 242–247.
12. Пилипенко А.И., Волкова А.Т., Васильчук Т.А. и др. Люминесцентная спектрометрия растворов поверхностно-активных веществ и ее аналитическое применение // Журнал аналитической химии. 1989. Т. 44, № 7. С. 1157–1164.
13. 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.
14. Абдуллаева К.С., Мирзаи Дж.И., Чырагов Ф.М. Фотометрическое определение Mo(VI) с 2,3,4-тригидроксibenзол-4'-сульфоазонафталином в присутствии поверхностно-активных веществ // Азербайджанский химический журнал. 2012. № 4. С. 103–106.
15. Гасанова М.Б., Алиева Р.А., Назарова Р.З. и др. Спектрофотометрическое определение ванадия (V) в образцах глины // Азербайджанский химический журнал. 2017. № 3. С. 24–27.
16. Денисова С.А., Леснов А.Е. Влияние катамина АБ на комплексообразование лантана и тулия с ксиленоловым оранжевым // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, № 1. С. 28–38.
17. Денисова С.А., Леснов А.Е. Влияние ПАВ различной природы на спектрометрические характеристики комплекса скандия с ксиленоловым оранжевым // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, № 3. С. 240–249.
18. 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.
19. Бусев А.И., Типцова В.Г., Иванов В.М. Руководство по аналитической химии редких элементов. М.: Химия, 1978. 432 с.
20. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.

### Информация об авторах

**Светлана Александровна Денисова**, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15), sw.denisova@yandex.ru

**Мария Владимировна Заборских**, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15)

**Светлана Александровна Заболотных**, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15); научный сотрудник лаборатории органических комплексообразующих реагентов, Институт технической химии УрО РАН (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), zabolotsveta@mail.ru

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

*Поступила 10 октября 2023 г.; принята к публикации 25 октября 2023 г.*

### References

1. 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 Russ.).
2. Savvin, S.B., Chernova, R.K., Belousova, V.V., Sukhova, L.K. and Shtykov, S.N. (1978) About the mechanism of action of cationic surfactants in systems organic dye – metal ion – surfactant, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 33, no. 8, pp. 1473–1480. (In Russ.).
3. Albota, L.A., Serdyuk, L.S. and Zaverach, M.M. (1981) Photometric determination of mercury with di-thizon and N-cetylpyridinium chloride, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 2, pp. 270–274. (In Russ.).
4. Belousova, V.V. and Chernova, R.K. (1977) Surfactants in spectrophotometric analysis. Titanium complex with disulfophenylfluorone and long-chain amines, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 32, no. 9, pp. 1669–1671. (In Russ.).
5. Ivanov, V. M. and Mamedova, A.M. (2002) Vliyaniye poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na kislotno-osnovnyye i tsvetometricheskiye kharakteristiki pirogallolovogo krasnogo i brompirogallolovogo krasnogo [The influence of surfactants on the acid-base and colorimetric characteristics of pyrogallol red and bromopyrogallol red], *Moscow University Chemistry Bulletin*, vol. 43, no. 5, pp. 291–296. (In Russ.).
6. Neudachina, L.K. and Petrova, Yu.S. (2017) *Primeneniye poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v analize* [Application of surfactants in analysis], Ural University, Ekaterinburg. (InRuss.).
7. 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. (In Russ.).

8. Ganago, L.I. and Ishchenko, N.N. (1982) Study of mixed-ligand complexes of gallium and indium compounds with chromoform reagents of the triphenylmethane series and cetylpyridinium bromide, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 37, no. 9, pp. 1636–1643. (In Russ.).
9. Savvin, S.B., Marov, I.N., Chernova, R.K., Shtykov, S.N. and Sokolov, A.B. (1981) Electrostatic and hydrophobic effects in the formation of associates of organic reagents with cationic surfactants, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 5, pp. 850–859 (In Russ.).
10. Stykov, S.N. (2000), “Surfactants in analysis: Progress and development trends”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 55, no. 7, pp. 679–686 (In Russ.).
11. Tikhonov, V.N. and Aleksandrova, N.P. (1981) Spectrophotometric study of three-component complexes of some metals with chromazurol S and cetyltrimethylammonium, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 2, pp. 242–247. (In Russ.).
12. Pilipenko, A.I., Volkova, A.T., Vasilchuk, T.A. and Pshinko, G.N. (1989) Luminescent spectrometry of solutions of surfactants and its analytical application, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 44, no. 7, pp. 1157–1164. (In Russ.).
13. Savvin, S.B., Chernova, R.K., and Belousova, V.V. (1978) 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 Russ.).
14. Abdullaeva, K.S., Mirzai, J.I. and Chiragov, F.M. (2012), “Photometric determination of Mo(VI) with 2,3,4-trihydroxybenzol-4'-sulfoazonaphthalene in the presence of surface-active substance”, *Azerbaijan Chemical Journal*, no. 4, pp. 103–106. (In Russ.).
15. Gasanova, M.B., Aliyeva, R.A., Nazarova, R.Z. and Mirzai, D.I. (2017), “Spectrophotometric determination of vanadium (V) in the clay samples”, *Azerbaijan Chemical Journal*, no. 3, pp. 24–27. (In Russ.).
16. 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 Russ.).
17. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2019) “Effect of surfactant different nature on spectrophotometric characteristics of the scandium complex with xylenol orange”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 3, pp.240–249. (In Russ.).
18. 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).
19. Busev, A.I., Tiptsova, V.G. and Ivanov V.M. (1978), *Rukovodstvo po analiticheskoy khimii redkikh elementov* [Guide to analytical chemistry of rare elements], Khimiya, Moscow. (In Russ.).
20. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986) *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance to photometric methods analysis], Khimiya, Leningrad (In Russ.).

### **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

**Mariya V. Zaborskikh**, Student, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia)

**Svetlana A. Zabolotnykh**, Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia); Research Assistant, Laboratory of organic complexing reagents, Institute of Technical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (3, Koroleva st., Perm, 614013, Russia), zabolotsveta@mail.ru

### **Conflicts of interests**

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 10 October 2023; accepted 25 October 2023*