



Научная статья  
УДК 543.05 : 547.3

## Определение тимоло с предварительным мицеллярно-экстракционным концентрированием



Э. И. Цыгулёва , С. Ю. Доронин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Цыгулёва Эльмира Иршатовна, аспирант кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, [musja2525@mail.ru](mailto:musja2525@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4407-520X>

Доронин Сергей Юрьевич, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, [doroninsu@mail.ru](mailto:doroninsu@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1115-1360>

**Аннотация.** Для эффективного концентрирования азосоединений – продуктов взаимодействия 4-нитрофенилдиазония с тимолом предложена система: 4-нитроанилин (4-НА) –  $\text{NO}_2^-$  – Тритон X-100 – NaOH – этанол. Установлены оптимальные условия для формирования мицеллярно-насыщенных фаз исследуемой системы:  $3 \cdot 10^{-4}$  М 4-НА –  $3 \cdot 10^{-4}$  М  $\text{NO}_2^-$  – 5%-ный Тритон X-100 – 2,8 М NaOH – 10 об. %  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Проведено спектрофотометрическое исследование вышеуказанной системы, построена линейная зависимость в координатах  $A$  ( $\lambda_{\text{max}} = 552$  нм) –  $c$ (тимоло), которая описывается уравнением вида  $A = f(c)$ ,  $A = 26291c + 0,02$ ;  $R^2 = 0,997$ . Диапазон определяемых содержаний тимоло составил ( $2 \cdot 10^{-6}$  –  $4 \cdot 10^{-5}$ ) М. Разработана методика цветометрического определения тимоло в водных средах (канал цветности G). Интенсивность канала цветности G ( $I_G$ ) линейно зависит от  $p$ (тимоло) в соответствии с уравнением  $I_G = 54,2pc - 267$ ,  $R^2 = 0,99$ ; нижняя граница определяемых содержаний (НГОС) тимоло составила  $1 \cdot 10^{-6}$  М, что в 2 раза меньше, чем в варианте спектрофотометрического его определения. Построены профили лепестковых диаграмм в цветовых координатах модели RGB CMYK, получены зависимости их площади и периметра от концентрации тимоло ( $P$ :  $y = 278x - 10,13$ ;  $R^2 = 0,97$ ;  $S$ :  $y = 20182x - 87649$ ,  $R^2 = 0,99$ ).

**Ключевые слова:** тимоло, концентрирование, поверхностно-активные вещества, мицеллярная экстракция в «точке помутнения», цветометрия, лепестковые диаграммы, 4-нитроанилин

**Для цитирования:** Цыгулёва Э. И., Доронин С. Ю. Определение тимоло с предварительным мицеллярно-экстракционным концентрированием // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 267–273. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-267-273>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Determination of thymol with micellar extraction preconcentration

E. I. Tsygulyova , S. Yu. Doronin

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Elmira I. Tsygulyova, [musja2525@mail.ru](mailto:musja2525@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4407-520X>

Sergei Yu. Doronin, [doroninsu@mail.ru](mailto:doroninsu@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1115-1360>

**Abstract.** For the efficient preconcentration of azo compounds – products of the interaction of 4-nitrophenyldiazonium with thymol, a system 4-nitroaniline (4-NA) –  $\text{NO}_2^-$  – Triton X-100 – NaOH – ethanol has been proposed. The optimal conditions for the formation of micellar-saturated phases of the system under study have been established:  $3 \cdot 10^{-4}$  M 4-NA –  $3 \cdot 10^{-4}$  M  $\text{NO}_2^-$  – 5% Triton X-100 – 2.8 M NaOH – 10 vol. %  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . A spectrophotometric study of the above system has been carried out. A linear dependence was built in the coordinates  $A$  (at  $\lambda_{\text{max}} = 552$  nm) vs  $c$ (thymol), which is described by an equation of the form  $A = f(c)$ ,  $A = 26291c + 0.02$ ;  $R^2 = 0.997$ . The range of the determined contents of thymol is ( $2 \cdot 10^{-6}$  –  $4 \cdot 10^{-5}$ ) mol/l. A technique for the colorimetric determination of thymol in aqueous media (color channel G) has been developed. The intensity of the channel G chromaticity ( $I_G$ ) is linearly dependent on  $p$ (thymol) in accordance with the equation  $I_G = 54.2pc - 267$ ,  $R^2 = 0$ ; the lower limit of the determined contents of thymol is  $1 \cdot 10^{-6}$  mol/l, which is two times less than in the variant of its spectrophotometric determination. The profiles of petal diagrams in the color coordinates of the RGB CMYK model have been constructed; the dependences of their area (S) and perimeter (P) on the thymol concentration have been obtained ( $P$ :  $y = 278x - 10.13$ ;  $R^2 = 0.97$ ;  $S$ :  $y = 20182x - 87649$ ,  $R^2 = 0.99$ ).

**Keywords:** thymol, preconcentration, surfactants, micellar cloud point extraction, colorimetry, petal diagrams, 4-nitroaniline

**For citation:** Tsygulyova E. I., Doronin S. Yu. Determination of thymol with micellar extraction preconcentration. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 267–273. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-267-273>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



## Введение

Известно, что фенолы применяют в медицине для лечения кожных заболеваний (себорея, зуд, экзема, грибковые заболевания) и заболеваний аноректальной области наружно в виде водных, спиртовых растворов и мазей. Тимол, в свою очередь, является биологически активным веществом, который обладает противомикробным, антиоксидантным, противовоспалительным и обезболивающим свойствами. Он входит в состав различных косметических средств, а также продуктов питания [1].

Определение тимола в указанных объектах является актуальной аналитической задачей, поскольку действие содержащих его косметических средств и безопасность продуктов питания напрямую зависит от концентрации тимола.

Для определения тимола применяют следующие методы анализа: хроматографию, а именно высокоэффективную жидкостную и тонкослойную хроматографию, хромато-масс-спектрометрию и газовую хроматографию [2]; спектрофотометрию [3]; электрохимические (кулонометрические и амперометрические) методы [4–6]. Однако данные методы являются длительными и требуют, как правило, сложной пробоподготовки, для которой необходимы большие количества объекта, например, растительного материала.

Актуальна также разработка простых и экспрессных, с одной стороны, и чувствительных, с другой, методик определения тимола в фарм-препаратах, а также поиск новых подходов для улучшения метрологических характеристик аналитических реакций, например, посредством проведения экстракции на основе «точки помутнения» («cloud point extraction», СР-экстракция) с использованием комбинированных систем на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ), чему и посвящена настоящая работа.

## Материалы и методы

**Аппаратура.** Весы аналитические общего типа WP-11 второго класса точности с наибольшим пределом взвешивания 100 г по ГОСТ 24104-88Е. Сушильный шкаф СНОЛ (Т= 0 – 300 °С). Цифровой фотоаппарат «Samsung A8+». Двухлучевой сканирующий спектрофотометр Shimadzu UV-1800. Программа обработки цифровых данных Adobe Photoshop CS6.

**Реагенты.** Неионный ПАВ – Triton X-100 (C<sub>14</sub>H<sub>22</sub>O(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>n</sub>, где n = 9–10), массовая доля основного вещества не менее 99,9%, кислота

соляная, ГОСТ 3118-77, ч.д.а, гидроксид натрия (NaOH, ч.д.а., ГОСТ 9285-78), нитрит натрия (NaNO<sub>2</sub>), ГОСТ 4197-74, х.ч., 4-нитроанилин, 4-НА (C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ГОСТ 5274-75, ч., тимол (C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>CH<sub>3</sub>(OH)(C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)), ч.д.а.

**Методика получения мицеллярных фаз НПАВ.** Для получения мицеллярных фаз на основе неионного ПАВ (Тритон X-100) в пробирки общим объемом 10 мл вносили 0,15 мл 1·10<sup>-2</sup> М спиртового раствора 4-НА, 0,15 мл 1·10<sup>-2</sup> М NaNO<sub>2</sub> и 0,5 мл HCl, тщательно перемешивали. Через 5 мин в эти же пробирки с приготовленным диазотированным 4-НА вносили тимол в интервале концентраций от 2·10<sup>-6</sup> до 4·10<sup>-5</sup> М; 1,25 мл 20%-ного Тритона X-100; 0,35 мл этанола; 1,4 мл 10 М NaOH, содержащее пробирик тщательно перемешивали.

**Цветометрическая обработка и построение лепестковых диаграмм.** Для цветометрического определения тимола необходимую часть цветного изображения окрашенных фаз ПАВ усредняли, применяя графический редактор Adobe Photoshop CS6, до одного пикселя с помощью фильтра «пикселизация». После усреднения цвета определяли яркость цветовых параметров R, G, B. По полученным параметрам строили градуировочные зависимости в координатах яркость цветового канала – рс(тимола).

Для количественного цветометрического определения тимола цифровые изображения представляли в виде лепестковых диаграмм (ЛД). Последние состояли из шести осей, каждая из которых соответствовала значениям интенсивностей (F<sub>i</sub>) цветовых координат в модели RGB СМУК. ЛД строили в оболочке электронных таблиц Microsoft Excel [7].

Для оценки содержания тимола рассчитывали геометрические параметры площади (S) и периметра (P) лепестковых диаграмм, по формулам:

$$P = \sum \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \times \cos(ab)}, \quad (1)$$

$$S = \sum (\frac{1}{2} a + b \times \sin(ab)), \quad (2)$$

где a, b – стороны треугольника; cos(ab) – cos угла между сторонами a, b. sin(ab) – sin угла между сторонами a, b.

## Результаты и их обсуждение

Для проведения СР-экстракции в качестве экстрагентов применяют разбавленные водные растворы нелетучих, малорастворимых ПАВ [8, 9], которые являются хорошей альтернативой классическим экстрагентам. Методология СР-концентрирования основана на разделении гомогенных растворов, как правило, неионных



ПАВ на две фазы: мицеллярную фазу, обогащенную ПАВ, и водную фазу, содержащую ПАВ с концентрацией до ККМ. Такое разделение происходит при воздействии различных

факторов: нагревание, изменение pH, добавление различных высаливателей [8–10].

Схематически процесс фазового разделения представлен на рис. 1.

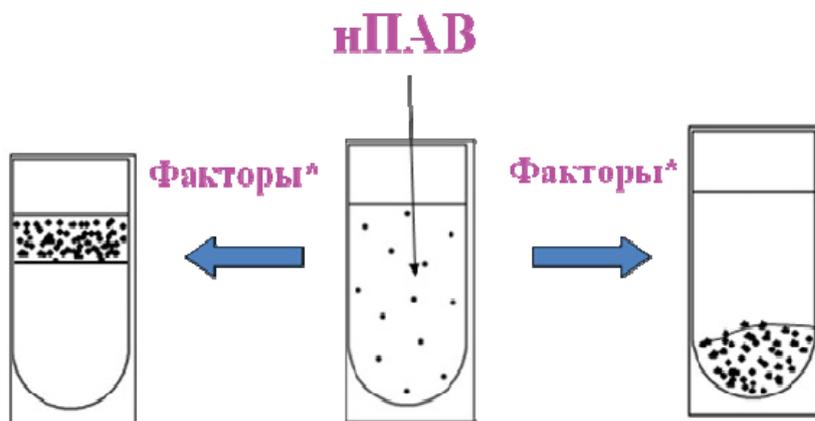
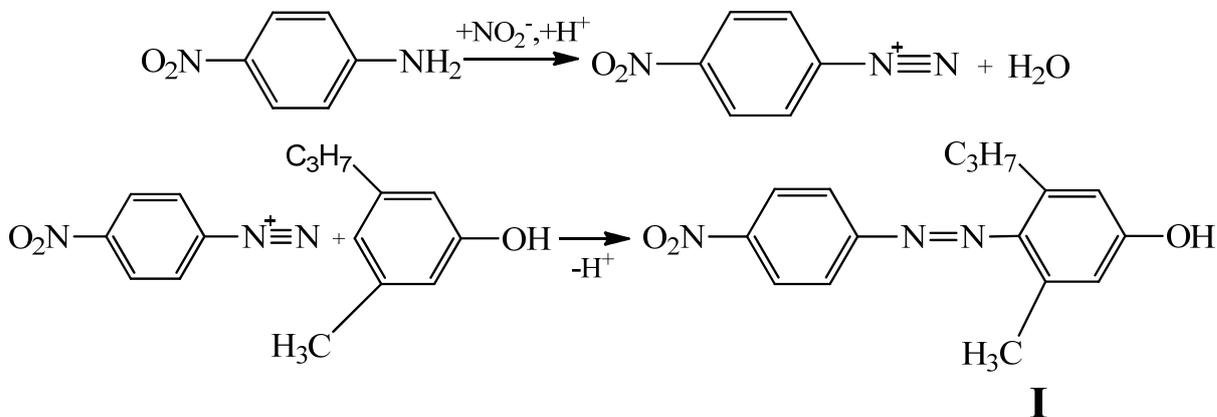


Рис. 1. Схема формирования мицеллярной фазы, насыщенной ПАВ и концентрирования в ней аналитов в водных растворах [9]

Fig. 1. Scheme of the formation of the micellar phase saturated with surfactants and the preconcentration of analytes in it in aqueous solutions [9]

Нами реализована вышеописанная методология СР-экстракции для концентрирования азосоединения, образованного тимолом по реакции его взаимодействия с 4-нитрофенилдиазонием в водно-спиртовой среде в присутствии мицелл неионного ПАВ (Тритона X-100) при pH > 10. Этой

реакцией неокрашенный тимол (4-нитроанилин выбран как наиболее реакционноспособный ариламин, образующий устойчивую соль хлорид 4-нитрофенилдиазония) после азосочетания переводили в окрашенную аналитическую форму азосоединения **I** (схема):



Для разработки спектрофотометрического метода определения тимоло и последующей регистрации электронных спектров поглощения формы **I** мицеллярную фазу, обогащенную ПАВ, отбирали и разбавляли приблизительно в 5 раз (рис. 2). При этом эффект концентрирования тимоло, вследствие разбавления фазы, заведомо снижался.

Распределение реактантов и аналитической формы **I** в водно-мицеллярной системе контролировали спектрофотометрически в спектральном диапазоне 200–800 нм,  $l = 1$  см, без дополнитель-

ного нагревания при комнатной температуре. Полученные спектры поглощения представлены на рис. 3.

Спектры поглощения этой системы имеют один максимум при 550 нм (рис. 3, а), интенсивность которого возрастает при увеличении концентрации тимоло. Концентрацию последней определяли по градуировочному графику, представленному на рис. 3, б. Исходя из рис. 3, б установлен диапазон определяемых содержаний тимоло, который составил  $2 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-5}$  М.

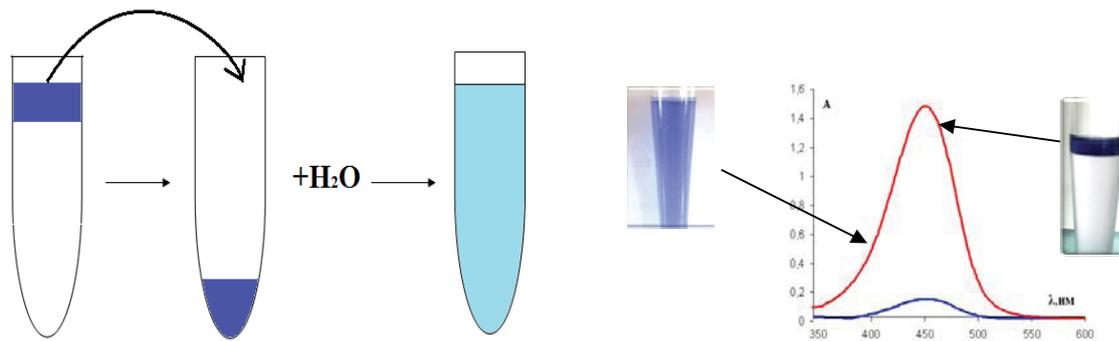


Рис. 2. Схема разбавления мицеллярно-насыщенной фазы ПАВ при спектрофотометрическом определении тимола

Fig. 2. Scheme of dilution of the micellar-saturated phase of surfactants within the spectrophotometric determination of thymol

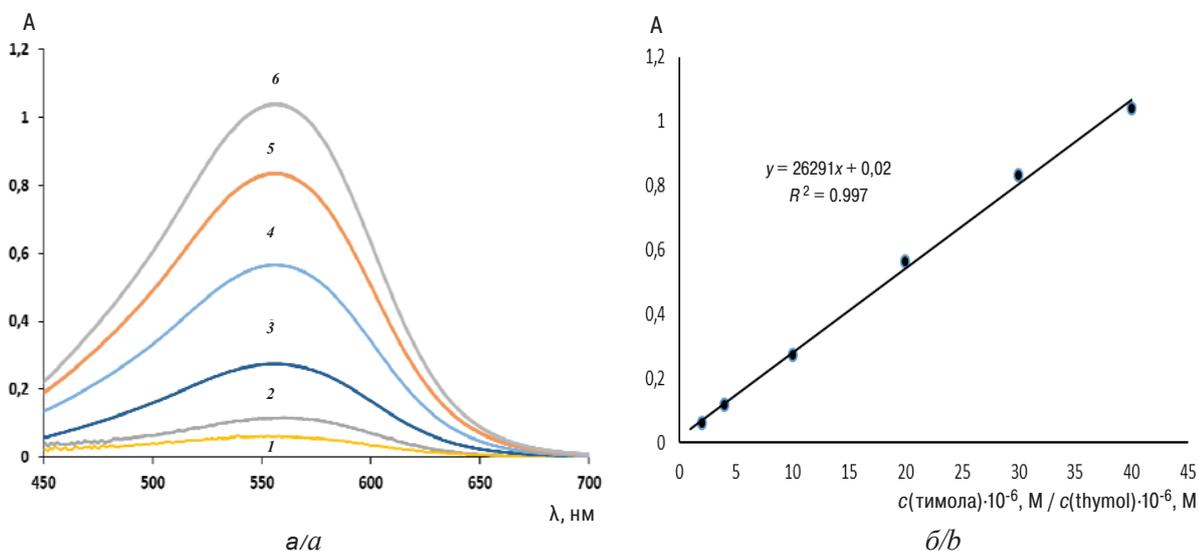


Рис. 3. Спектры поглощения системы тимол – 4-НА – NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – Тритон X-100 – NaOH – этанол (относительно контрольного раствора).  $c(4\text{-НА}) = 3 \cdot 10^{-4}$  M;  $c(\text{NaOH}) = 2,8$  M;  $\omega(\text{Тритон X-100}) = 5\%$ ;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 10\%$ .  $c_{\text{Тимола}} = 1 - 4 \cdot 10^{-5}$ ;  $2 - 3 \cdot 10^{-5}$ ;  $3 - 2 \cdot 10^{-5}$ ;  $4 - 1 \cdot 10^{-5}$ ;  $5 - 4 \cdot 10^{-6}$ ;  $6 - 2 \cdot 10^{-6}$  M (а); б – зависимость A – c(тимола)

Fig. 3. Absorption spectra of the system thymol – 4-NA – NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – Triton X-100 – NaOH – ethanol (in relation to the reference solution).  $c(4\text{-NA}) = 3 \cdot 10^{-4}$  mol/l;  $c(\text{NaOH}) = 2.8$  mol/l;  $\omega(\text{Triton X-100}) = 5\%$ ;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 10\%$ ;  $c(\text{thymol}) = 1 - 4 \cdot 10^{-5}$ ;  $2 - 3 \cdot 10^{-5}$ ;  $3 - 2 \cdot 10^{-5}$ ;  $4 - 1 \cdot 10^{-5}$ ;  $5 - 4 \cdot 10^{-6}$ ;  $6 - 2 \cdot 10^{-6}$  mol/l (a); б – dependence of A vs c(thymol)

Оценку правильности результатов спектрофотометрического определения тимола с предва-

рительным СР-концентрированием осуществляли методом «введено–найдено» (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Результаты спектрофотометрического определения тимола в модельном растворе (n = 3, P = 0,95)  
Results of spectrophotometric determination of thymol in a model solution (n = 3, P = 0,95)

№	Введено (M) / Introduced (M)	Найдено (M) / Found (M)	$\bar{X} \pm \Delta X$ (M)	$S_r$ , %
1	$2,50 \cdot 10^{-6}$	$2,47 \cdot 10^{-6}$	$(2,48 \pm 0,06) \cdot 10^{-6}$	1
2		$2,47 \cdot 10^{-6}$		
3		$2,51 \cdot 10^{-6}$		
1	$2,00 \cdot 10^{-5}$	$2,07 \cdot 10^{-5}$	$(2,07 \pm 0,01) \cdot 10^{-5}$	2
2		$2,06 \cdot 10^{-5}$		
3		$2,06 \cdot 10^{-5}$		
1	$2,50 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-5}$	$(2,60 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$	4
2		$2,60 \cdot 10^{-5}$		
3		$2,61 \cdot 10^{-5}$		



Предложенный спектрофотометрический способ позволяет определять тимол в диапазоне концентраций от  $2 \cdot 10^{-6}$  до  $4 \cdot 10^{-5}$  М, при этом погрешность спектрофотометрического его определения не превышала 4%.

Как указано выше, при СФМ определении тимола с предварительным мицеллярно-экстракционным концентрированием требуется стадия разбавления фазы, насыщенной ПАВ, что приводит к снижению эффективности СР-концентрирования. Поэтому нами предложен цветометрический способ регистрации аналитического сигнала в исследуемой системе (интенсивность параметров

цветности), при котором не требуется разбавления мицеллярной фазы. При этом за счет эффекта концентрирования тимола появляется возможность снижения предела его обнаружения. Так, на рис. 4 представлена зависимость интенсивности канала G (оптимальный параметр) от логарифма концентрации тимола. Уравнение регрессии имеет вид  $y = 54,2x - 267$ , коэффициент корреляции  $R^2$  графической зависимости составил 0,994. Диапазон определяемых содержаний тимола составил  $1 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$  М, при этом НГОС тимола в 2 раза меньше, чем в варианте спектрофотометрического его определения.

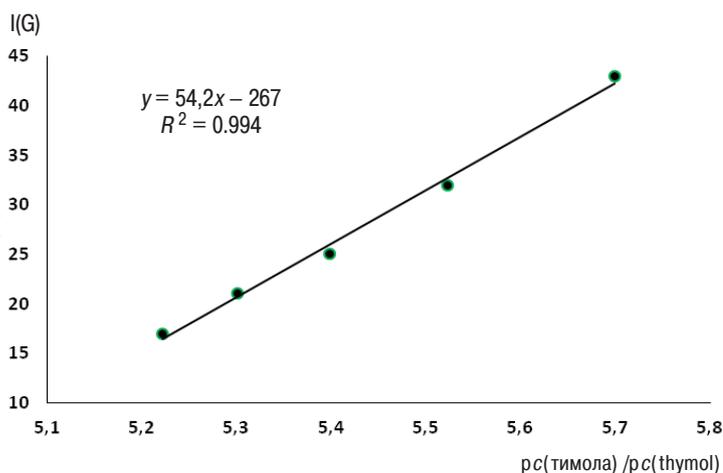


Рис. 4. Зависимость яркости канала G от логарифма концентрации тимола в системе тимол– 4-НА –  $\text{NO}_2^-$  – Тритон X-100 – NaOH – этанол  
Fig. 4. Dependence of the brightness of the G channel on the logarithm of the thymol concentration in the thymol – 4-NA –  $\text{NO}_2^-$  – Triton X-100 – NaOH – ethanol system

Оценку правильности результатов определения тимола с предварительным СР-концентрированием осуществляли методом «введено–найдено» по цветометрическому параметру G (табл. 2).

Для улучшения прецизионности результатов цветометрического определения тимола дополни-

тельно строили профили лепестковых диаграмм (ЛД) в цветовых координатах RGB СМΥК (рис. 5). Из рис. 5 видно, что профиль ЛД сохраняет свою форму при увеличении концентрации тимола, при этом возрастает его площадь и периметр.

На рис. 6 представлены зависимости площади (S) и периметра (P) лепестковых диа-

Таблица 2 / Table 2

Результаты цветометрического определения тимола в модельном растворе ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )  
Results of colorimetric determination of thymol in a model solution ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )

№	Введено (М) / Introduced (M)	Найдено (М) / Found (M)	$\bar{X} \pm \Delta X$ (M)	$S_r$ , %
1	$5,00 \cdot 10^{-6}$	$4,46 \cdot 10^{-6}$	$(4,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-6}$	6,6
2		$4,65 \cdot 10^{-6}$		
3		$5,07 \cdot 10^{-6}$		
1	$3,00 \cdot 10^{-6}$	$2,92 \cdot 10^{-6}$	$(3,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-6}$	4,5
2		$3,18 \cdot 10^{-6}$		
3		$3,04 \cdot 10^{-6}$		
1	$2,00 \cdot 10^{-6}$	$1,91 \cdot 10^{-6}$	$(2,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$	4,2
2		$1,99 \cdot 10^{-6}$		
3		$2,08 \cdot 10^{-6}$		

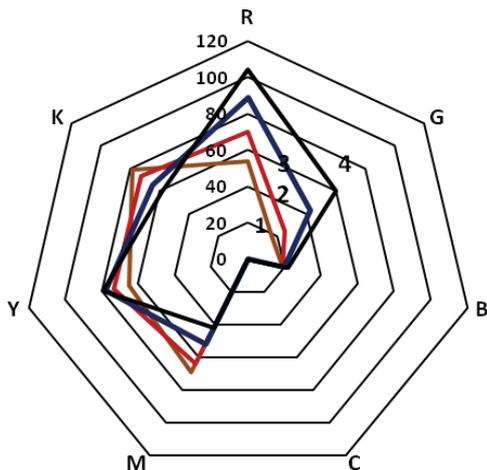


Рис. 5. Профили лепестковых диаграмм системы тимол – 4-НА –  $\text{NO}_2^-$  – Тритон X-100 – NaOH – этанол.  $c(\text{тимол}) = 1 - 6 \cdot 10^{-6}$ ; 2 –  $4 \cdot 10^{-6}$ ; 3 –  $3 \cdot 10^{-6}$ ; 4 –  $1 \cdot 10^{-6}$  М

Fig. 5. Profiles of the petal diagrams of the thymol – 4-NA –  $\text{NO}_2^-$  – Triton X-100 – NaOH – ethanol system.  $c(\text{thymol}) = 1 - 6 \cdot 10^{-6}$ ; 2 –  $4 \cdot 10^{-6}$ ; 3 –  $3 \cdot 10^{-6}$ ; 4 –  $1 \cdot 10^{-6}$  М

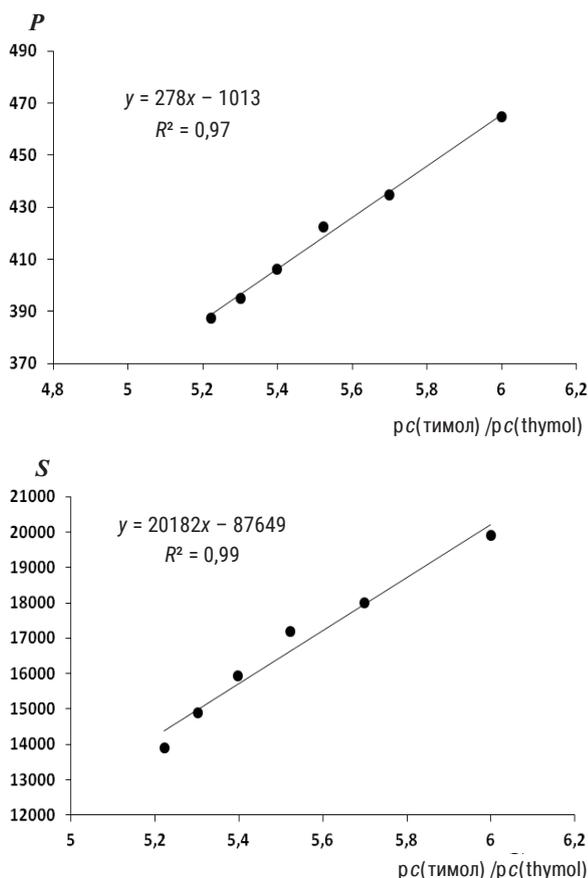


Рис. 6. Зависимости площади ( $S$ ) и периметра ( $P$ ) лепестковых диаграмм от  $pc(\text{тимол})$

Fig. 6. Dependence of the area ( $S$ ) and perimeter ( $P$ ) of the petal diagrams on the  $pc(\text{thymol})$

грамм от логарифма концентрации тимола. Линейность градуировочных зависимостей  $S$  и  $P$  от  $-\lg c(\text{тимол})$  также наблюдалась в пределах  $1 \cdot 10^{-6}$ – $6 \cdot 10^{-6}$  М, уравнения регрессии и величины достоверностей аппроксимации, представленные на рис. 6, имеют вид: периметр ( $P$ )  $y = 225x - 634$ ;  $R^2 = 0,99$ ; площадь ( $S$ )  $y = 18972x - 73663$ ;  $R^2 = 0,97$ . Следует отметить, что определение тимола по зависимостям  $S$  ( $P$ ) от  $pc(\text{аналита})$ , в отличие от прямого цветометрического определения по уравнению  $I_G = 54,2pc - 267$ , приводило к снижению погрешности его определения от 7% до (3–4)%.

Таким образом, реализация методологии СР-концентрирования азосоединения I (продукт реакции тимола с 4-нитрофенилдиазонием) мицеллярными фазами неионных ПАВ дает перспективы разработки методик цветометрического определения тимола в различных объектах, которые существенно сокращают время проведения анализа, при этом метрологические характеристики таких методик не уступают аналогичным спектрофотометрическим вариантам.

#### Выводы

1. Для эффективного концентрирования азосоединения – продукта взаимодействия 4-нитрофенилдиазония с тимолом предложена система: 4-НА –  $\text{NO}_2^-$  – Тритон X-100 – NaOH – этанол. Установлены оптимальные условия для мицеллярно-экстракционного концентрирования тимола: 4-НА ( $3 \cdot 10^{-4}$  М) –  $\text{NO}_2^-$  ( $3 \cdot 10^{-4}$  М) – Тритон X-100 (5 масс. %) – NaOH (2,8 М) –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (10 об. %).

2. Проведено спектрофотометрическое исследование вышеуказанной системы ( $\lambda_{\text{макс}} = 552$  нм,  $y = 26291x + 0,02$ ,  $R^2 = 0,997$ . ДОС =  $2 \cdot 10^{-6}$  –  $4 \cdot 10^{-5}$  М).

3. Разработана методика цветометрического определения тимола (канал цветности G):  $y = 54,2x - 267$ ,  $R^2 = 0,99$ ; НГОС =  $1 \cdot 10^{-6}$  М.

4. Построены профили лепестковых диаграмм для цветометрического определения тимола, получены зависимости площади и периметра от его концентрации (периметр –  $y = 278x - 10,13$ ,  $R^2 = 0,97$ ; площадь –  $y = 20182x - 87649$ ,  $R^2 = 0,99$ ).

#### Список литературы

1. Зиятдинова Г. К., Ромашикина С. А., Зиганшина Э. Р., Будников Г. К. Вольтамперометрическое определение тимола на электроде, модифицированном соимобилизованными карбоксилированными многостенными углеродными нанотрубками и поверхностно-активными веществами // Журнал аналитической химии. 2018. Т. 73, №1. С. 52–59. <https://doi.org/10.7868/S0044450218010073>



2. Сулейманов Т. А., Балаева Э. З. Разработка ВЭЖХ методики количественного определения тимола в сиропе «КАЛИНОЛ ПЛЮС» // *International Scientific Review*. 2016. № 4 (14). С. 215–217.
3. Степанюк С. Н., Никитина Н. В., Никитина А. С., Боровский Б. В. Разработка методики количественного определения тимола в эфирном масле монарды дудчатой и стоматологических пленках // Молодые ученые и фармация XXI века : сб. науч. тр. Четвертой науч.-практ. конф. с междунар. участием (Москва, 16 декабря 2016 г.). М. : Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, 2016. С. 320–322.
4. Mika J., Barek J., Zima J., Dejmko H. New flow-through coulometric detector with renewable working electrode material for flow injection analysis and HPLC // *Electrochim. Acta*. 2015. Vol. 154. P. 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.12.091>
5. Cantalapedra A., Gismera M. J., Sevilla M. T., Procopio J. R. Sensitive and selective determination of phenolic compounds from aromatic plants using an electrochemical detection coupled with HPLC method // *Phytochem. Anal.* 2014. Vol. 25, № 3. P. 247–254. <https://doi.org/10.1002/pca.2500>
6. Zima J., Cienciala M., Barek J., Moreira J. C. Determination of thymol using HPLC-ED with glassy carbon paste electrode // *Chem. Anal.* 2007. Vol. 52, № 6. P. 1049–1057.
7. Хорхордина Е. А., Чан Хай Данг. Методы экстракции фенольных экотоксикантов и их определения в материалах и объектах окружающей среды (обзор) // Науч. вестн. Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-та. 2014. Т. 8, № 1. С. 93–105.
8. Жестовская Е. С., Доронин С. Ю. Мицеллярная экстракция в «точке помутнения» как способ концентрирования фенолов // *Бутлеровские сообщения*. 2016. Т. 45, № 2. С. 66–81. <https://doi.org/jbc-01/16-45-2-66>
9. Чернова Р. К., Доронин С. Ю. Определение органических аналитов в растворах ПАВ : ионные и мицеллярные эффекты. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2017. 200 с.
10. Доронин С. Ю., Жестовская Е. С., Цыгулёва Э. И. Мицеллярно-экстракционное концентрирование и цветометрическое определение некоторых фенолов // *Журнал аналитической химии*. 2020. Т. 75, № 6. С. 502–509. <https://doi.org/10.31857/S0044450220060079>
- Multiwalled Carbon Nanotubes and Surfactants. *J. Anal. Chem.*, 2018, vol. 73, no. 1, pp. 52–59 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0044450218010073>
2. Suleymanov T., Balayeva E. Development of HPLC methods for the quantitative determination of thymol in syrup «KALINOL PLUS». *International Scientific Review*, 2016, vol. 14, no. 4, pp. 215–217 (in Russian).
3. Stepanyuk S. N., Nikitina N. V., Nikitina A. S., Borovskiy B. V. Development of a method for the quantitative determination of thymol in the essential oil of monarda fumous and dental films. *Young scientists and pharmacy of the XXI century: Collection of scientific papers the fourth scientific and practical conference with international participation*, (Moscow, December 16, 2016). Moscow, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”, 2016, pp. 320–322 (in Russian).
4. Mika J., Barek J., Zima J., Dejmko H. New flow-through coulometric detector with renewable working electrode material for flow injection analysis and HPLC. *Electrochim. Acta*, 2015, vol. 154, pp. 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.12.091>
5. Cantalapedra A., Gismera M. J., Sevilla M. T., Procopio J. R. Sensitive and selective determination of phenolic compounds from aromatic plants using an electrochemical detection coupled with HPLC method. *Phytochem. Anal.*, 2014, vol. 25, no. 3, pp. 247–254. <https://doi.org/10.1002/pca.2500>
6. Zima J., Cienciala M., Barek J., Moreira J. C. Determination of thymol using HPLC-ED with glassy carbon paste electrode. *Chemia Analityczna*, 2007, vol. 52, no. 6, pp. 1049–1057.
7. Khorokhordina E. A., Tran Hai Dang. Extraction methods of phenolic ecotoxicants and their determination in materials and environmental objects. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*, 2014, vol. 8, no. 1, pp. 93–105 (in Russian).
8. Zhestovskaya E. S., Doronin S. Yu. «Cloud point» micellar extraction as a mode for phenols concentration. *J. Butlerov Communications*, 2016, vol. 45, no. 2, pp. 66–81 (in Russian). <https://doi.org/jbc-01/16-45-2-66>
9. Chernova R. K., Doronin S. Yu. *Opredelenie organicheskikh analitov v rastvorakh PAV: ionnye i mitselyarnye efekty* [Determination of Organic Analytes in Surfactant Solutions: Ionic and Micellar Effects]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2017. 200 p. (in Russian).
10. Doronin S. Yu., Zhestovskaya E. S., Tsyguleva E. I. Micellar Extraction Preconcentration and Colorimetric Determination of Some Phenols. *J. Anal. Chem.*, 2020, vol. 75, no. 6, pp. 502–509 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0044450220060079>

## References

1. Ziyatdinova G. K., Romashkina S. A., Ziganshina E. R., Budnikov H. C. Voltammetric Determinations of Thymol on an Electrode Modified by Coimmobilized Carboxylated

Поступила в редакцию 13.04.21, после рецензирования 11.05.21, принята к публикации 14.05.21  
Received 13.04.21, revised 11.05.21, accepted 14.05.21