



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.395.56:547

doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9034

### Определение $\alpha$ - и $\beta$ -нафтолов в их смесях с предварительным мицеллярно-экстракционным концентрированием

Эльмира Иршатовна Цыгулёва<sup>1</sup>✉,  
Сергей Юрьевич Доронин<sup>1</sup>, Олег Борисович Рудаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет, Саратов, Россия, musja2525@mail.ru✉

<sup>2</sup>Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

**Аннотация.** Работа посвящена отдельному и суммарному определению  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов с предварительным их мицеллярно-экстракционным концентрированием неионными ПАВ и применением цифровой цветометрии. Способ определения основан на цветных реакциях  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов с 4-нитро-фенилдиазонием, 4-аминоантипирином и мицеллярной экстракции продуктов их взаимодействия – азосоединений и хинониминнов. Этот способ позволяет определять  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолы на уровне ПДК с погрешностью, не превышающей 10%. Для количественного определения нафтолов применены обобщенные цветометрические параметры в цветовой системе RGB – площадь (S) и периметр (P) лепестковых диаграмм, полученных по результатам оценки интенсивностей цветовых компонент R, G и B двух хромофорных реакций, основанных на получении окрашенных дериватов по реакции диазотирования и азосочетания, а также окислительной конденсации нафтолов. Цветометрические лепестковые диаграммы дериватов  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтола имеют индивидуальный профиль из-за различий в их строении, что позволяет проводить идентификацию.

Для сравнения профилей лепестковых диаграмм изомерных нафтолов и их смесей применены коэффициенты близости массивов, по которым можно прогнозировать соотношение изомеров в смеси. Геометрические параметры лепестковых диаграмм индивидуальных изомеров нафтолов в полулогарифмических координатах удовлетворительно описываются линейными уравнениями  $S = \text{blg}C - a$  и  $P = \text{blg}C - a$  (степень аппроксимации  $R^2 \geq 0.97$ ) и могут быть использованы для определения их концентраций в пределах  $1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-4}$  М. Для оценки правильности цветометрического определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов применен метод изократической обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием при 265 нм. Показано, что концентрирование дериватов  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов простыми и комбинированными системами на основе неионных ПАВ позволяет отдельно определять их в диапазоне концентраций  $1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-6}$  М. Разработанный способ является экспрессным, экономически и экологически выгодным, по сравнению с методом ВЭЖХ, так как не требует применения летучих и токсичных растворителей и дорогостоящего оборудования.

**Ключевые слова:**  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтол, поверхностно-активные вещества, мицеллярная экстракция, цифровая цветометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография

**Благодарности:** часть экспериментальных исследований проводили на базе Коллективного исследовательского центра им. проф. Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета, который частично поддерживается Министерством науки и образования Российской Федерации, Проект № 2021-2296-512-0001-060.

**Для цитирования:** Цыгулёва Э.И., Доронин С.Ю., Рудаков О.Б. Определение  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов в их смесях с предварительным мицеллярно-экстракционным концентрированием // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22, № 1. С. 79-88. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9034>



Original article

## Determination of $\alpha$ - and $\beta$ -naphthols in their mixtures with micellar extraction preconcentration

Elmira I. Tsyguleva<sup>1</sup>✉, Sergey Yu. Doronin<sup>1</sup>, Oleg B. Rudakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saratov State University, Saratov, Russia, musja2525@mail.ru✉

<sup>2</sup>Voronezh State Technical University, Voronezh

**Abstract.** The study is devoted to the separate and cumulative determination of  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthols with micellar extraction preconcentration by non-ionic surfactants and the use of digital colourimetry. The determination method is based on colour reactions of  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthols with 4-nitrophenyldiazonium, 4-aminoantipyrine, and micellar extraction of their interaction products, which are azo compounds and quinonimines. This method allows the determination of  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthols at the MPC level with an error not exceeding 10%. For the quantitative determination of naphthols, we applied generalised colourimetric parameters in the RGB colour system. We used the area (S) and perimeter (P) of the radar charts obtained by evaluating the intensity of R, G, and B colour components of two chromophore reactions. The reactions were based on the production of coloured derivatives by diazotation and azocoupling, as well as the oxidative condensation of naphthols. The colourimetric radar charts of  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthol derivatives have an individual profile due to differences in their structure, which allows for their identification.

In order to compare the profiles of the radar charts of isomeric naphthols and their mixtures, we applied the similarity coefficients of the vector arrays. The coefficients allowed us to predict the ratio of isomers in a mixture. The geometrical parameters of the radar charts of single naphthol isomers in semi-logarithmic coordinates are adequately described by the linear equations  $S = \text{blg}C - a$  and  $P = \text{blg}C - a$  (approximation degree  $R^2 \geq 0.97$ ). The parameters can be used to determine the concentration of the isomers in the range of  $1 \cdot 10^{-7}$ – $1 \cdot 10^{-4}$  M. To assess the accuracy of the colourimetric determination of  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthols, we used isocratic reversed-phase HPLC with UV detection at 265 nm. It was shown that the concentration of  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthol derivatives in simple and combined non-ionic surfactant systems allowed their separate determination in the concentration range from  $1 \cdot 10^{-7}$ – $1 \cdot 10^{-6}$  M. The developed process is an express method, it is economically and environmentally superior to the HPLC method as it requires no volatile and toxic solvents or expensive equipment.

**Keywords:**  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthol, surfactants, micellar extraction, digital colourimetry, high performance liquid chromatography

**For citation:** Tsyguleva E.I., Doronin S.Yu., Rudakov O.B. Determination of  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthols in their mixtures with micellar extraction preconcentration. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2022. 22(1): 79-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9034>

### Введение

Нафтолы и их производные широко применяются в производстве красителей различного назначения, антиоксидантов, ядохимикатов, лекарственных препаратов, полупродуктов органического синтеза. Нафтолы можно отнести к экотоксикантам и контаминантам, регулярное попадание этих соединений в организм человека приводит к необратимым поражениям зрения, почек, расстройствам нервной системы, кровообращения. Определение как суммарного содержания на уровне долей ПДК (ПДК  $\alpha$ -нафтола –

0.1 мг/дм<sup>3</sup>, ПДК  $\beta$ -нафтола – 0.4 мг/дм<sup>3</sup>), так и раздельное определение нафтолов в окружающей среде является актуальной аналитической задачей.

Для определения нафтолов применимы методы ВЭЖХ, капиллярный электрофорез, электрохимические и оптические методы [1-3].

При определении низких содержаний нафтолов важную роль играет разделение и концентрирование аналитов [1]. Для этого применяют различные виды экстракции: жидкостно-жидкостную (ЖЖЭ), твердофазную экстракцию (ТФЭ), сверхкритическую флюидную и

парофазную экстракцию (ПФЭ), экстракционное вымораживание, экстракцию «в точке помутнения» (Cloud point extraction, мицеллярная экстракция), а также сорбционные и хроматографические методы [1-5].

Цель работы – разработка экспрессного и чувствительного цветиметрического способа как отдельного определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов, так и их суммы, основанного на применении мицеллярной экстракции «в точке помутнения» и цифровой цветиметрии, а в качестве арбитражного способа – разработка методики определения смеси нафтолов с помощью изократической обращенно-фазовой ВЭЖХ.

### Экспериментальная часть

**Аппаратура.** Весы аналитические WP-11, 2 класс точности (ГОСТ 24104-88Е). Сушильный шкаф СНОЛ ( $t=20-300$  °С). Цифровой фотоаппарат «Samsung A8+». Двухлучевой сканирующий спектрофотометр Shimadzu UV-1800. Программа обработки цифровых данных Adobe Photoshop CS6.

**Реагенты.** Неионный ПАВ – тритон X-100 ( $C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n$ , где  $n=9-10$ ), массовая доля основного вещества не менее 99.9%, карбонат натрия безводный, ГОСТ 83, 4-аминоантипирин, ТУ 6-09-3948,  $K_3Fe(CN)_6$ , ГОСТ 4206, кислота соляная, ГОСТ 3118-77, чда, гидроксид

натрия (NaOH, чда, ГОСТ 9285-78), нитрит натрия ( $NaNO_2$ ), ГОСТ 4197-74, х.ч., 4-нитроанилин, ( $C_6H_6N_2O_2$ ), ГОСТ 5274-75, ч.,  $\alpha$ -нафтол ( $C_{10}H_8O$ ). ГОСТ 5838-79,  $\beta$ -нафтол ( $C_{10}H_8O$ ), ГОСТ 923-80.

**Методика получения мицеллярных фаз НПАВ.** Для суммарного и отдельного определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов предложен мицеллярно-экстракционный вариант их предварительного концентрирования, основанный на методологии экстракции в «точке помутнения» (СР-экстракция) [6]. Схематически процесс фазового разделения представлен на рис. 1.

Методология СР-концентрирования основана на разделении гомогенных растворов, как правило, неионных ПАВ на две изотропные фазы: мицеллярную фазу, обогащенную ПАВ и водную фазу, содержащую ПАВ с концентрацией до критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Такое поведение водных растворов ПАВ происходит при воздействии различных факторов: нагревании, изменении pH, добавлении различных высаливающих агентов [6].

Мицеллярной СР-экстракции предшествовала стадия получения дериватов – аналитов (интенсивно окрашенных соединений), полученных по двум реакциям.

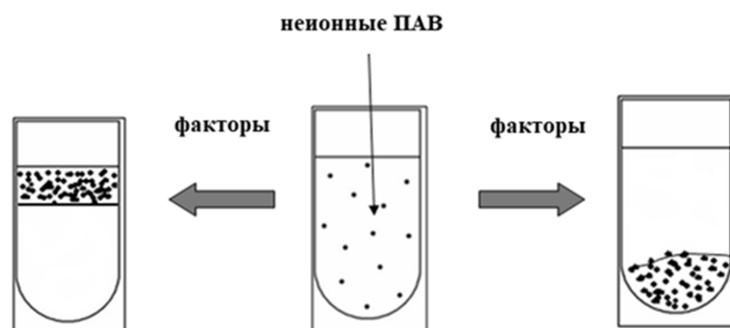


Рис. 1. Схема формирования мицеллярной фазы, насыщенной ПАВ и концентрирования в ней аналитов в водных растворах

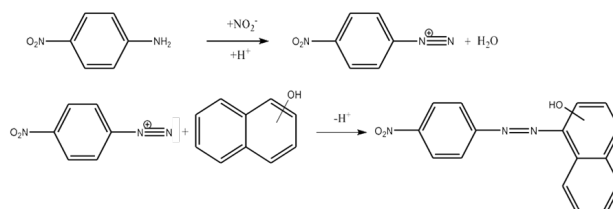
Fig. 1. Schematic for the formation of a micellar phase saturated with surfactants and the concentration of analytes in this phase in aqueous solutions

**Реакция 1.** В пробирки общим объемом 10 мл вносили  $0.15 \text{ см}^3 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \text{ М}$  спиртового раствора 4-нитроанилина (4-НА),  $0.15 \text{ см}^3 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \text{ М}$   $\text{NaNO}_2$  и  $0.5 \text{ см}^3 \text{ HCl}$ , тщательно перемешивали. Через 5 мин в эти же пробирки с приготовленным диазотированным 4-нитроанилина вносили нафтол в интервале концентраций от  $2 \cdot 10^{-6}$  до  $4 \cdot 10^{-5} \text{ М}$ ;  $1.25 \text{ см}^3$  20%-ного тритона X-100;  $0.35 \text{ см}^3$  этанола;  $1.4 \text{ см}^3$  10 М  $\text{NaOH}$ , содержимое пробирок тщательно перемешивали.

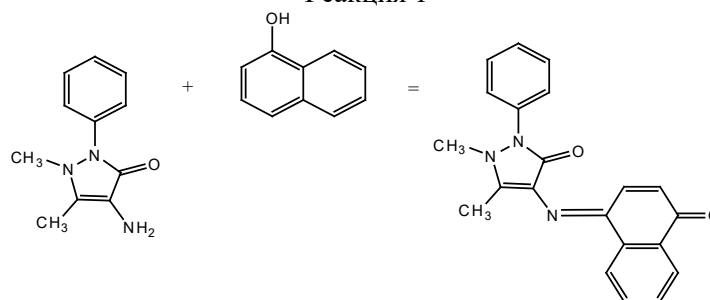
**Реакция 2.** В качестве второй применяли реакцию взаимодействия  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов с 4-аминоантипирином (4-АА). В пробирках общим объемом  $10 \text{ см}^3$ , вносили фенол, концентрацией от  $2 \cdot 10^{-4}$  до  $2 \cdot 10^{-5} \text{ М}$ ,  $0.05 \text{ см}^3 \cdot 1 \cdot 10^{-1} \text{ М}$  спиртового раствора 4-АА,  $0.05 \text{ см}^3$  8%-го  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  и  $1 \text{ см}^3$  1.25 М  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $0.75 \text{ см}^3$  20%-го тритона X-100, содержимое тщательно перемешивали. После чего пробирки нагревали на водяной бане при температуре  $80\text{-}90^\circ\text{C}$ , а затем охлаждали холодной водой и (или) в холодильнике.

Luna C18,  $150 \times 4.60 \text{ мм}$ , размер зерен 5 мкм. Предколонка Phenomenex KJO-4282, ВЭЖХ security guard картридж C18. Спектрофотометрический детектор UVV-104, длина волны 265 нм. Объем пробы 50 мкл.

**Цветометрическая обработка и построение лепестковых диаграмм.** Для цветометрического определения анализов фрагмент цветного изображения окрашенных фаз ПАВ, полученного цифровой фотокамерой при дневном освещении (300 люкс) в стандартных пробирках с толщиной поглощающего слоя  $l=1 \text{ см}$ , усредняли, применяя графический редактор Adobe Photoshop CS6, до одного пикселя с помощью фильтра «пикселизация». После усреднения цвета, определяли интенсивность цветовых параметров  $R, G, B$ . Для количественного цветометрического определения нафтолов цифровые изображения представляли в виде лепестковых диаграмм (ЛД). Последние состояли из шести осей, каждая из которых соответствовала значениям интенсивностей ( $F_i$ ) цветовых координат



Реакция 1



Реакция 2

**ВЭЖХ разделение  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов.** Высокоэффективный жидкостной хроматограф «Стайер» («Аквилон», Россия). Подвижная фаза: ацетонитрил (марка HPLC-grade) – вода (бидистиллированная), 1:1 (по объему). Расход подвижной фазы –  $0.8 \text{ см}^3/\text{мин}$ . Колонка Phenomenex

в цветовой модели  $RGB$  для двух хроматоформных реакций. ЛД строили в оболочке электронных таблиц Microsoft Excel [7,8].

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

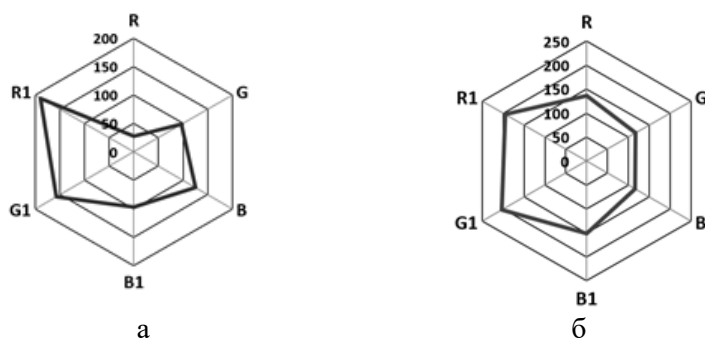


Рис. 2. Профили лепестковых диаграмм при определении нафтолов:  
 а)  $\alpha$ -нафтол; б)  $\beta$ -нафтол

Fig. 2. Profiles of the radar charts for the determination of naphthols: a)  $\alpha$ -naphthol; b)  $\beta$ -naphthol

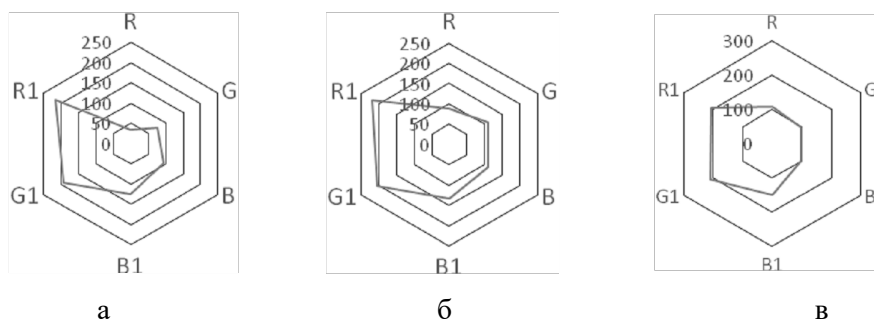


Рис. 3. Профили лепестковых диаграмм смесей  $\alpha$ -нафтол :  $\beta$ -нафтол: а) 9:1; б) 5:5; в) 1:9  
 Fig. 3. Profiles of the radar charts of the  $\alpha$ -naphthol: $\beta$ -naphthol mixtures: a) 9:1; b) 5:5; c) 1:9

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

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

где  $a, b$  – стороны треугольника;  $\cos(ab)$  – косинус угла между сторонами  $a$  и  $b$ .  $\sin(ab)$  – синус угла между сторонами  $a, b$ .

### Обсуждение результатов

Для оценки хромофорного эффекта 2-х параллельных хромофорных реакций, (см. реакцию 1 и реакцию 2 в экспериментальной части) получены интегральные цветометрические данные в виде ЛД с 6 осями (рис.2) по методике [8].

Как видно из рис. 2, изомерные нафтолы имеют индивидуальные профили полученных ЛД. Таким образом, применение цветометрических параметров не одной, а двух хромофорных реакций дериватизации, осуществляемых параллельно для одного и того же анализа, позволяет уверенно различить  $\alpha$ -нафтол и  $\beta$ -нафтол. Ранее такой подход эффективно был применен для определения некоторых фенолов [8]. Чтобы определить

возможность применения цветометрических ЛД для контроля смесей изомерных нафтолов, получили ЛД таких смесей, в которых соотношение  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов составило 9:1, 5:5 и 1:9. Геометрия ЛД этих смесей представлена на рис. 3.

В работе [8] предложен способ сравнения ЛД, полученных по результатам цветометрических измерений. Если массив данных представлен шестью различными параметрами, сведенными в ЛД, то общий метод распознавания заключается в следующем: все данные кодируются одним шестимерным действительным вектором  $a = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ . Сравнение с другим массивом данных, представленным вектором  $b = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ , осуществляется на основе скалярного произведения  $(a, b) = \sum a_i b_i$ . Если векторы  $a$  и  $b$  идентичны, то  $(a - b, a - b) = 0$ , а мерой отличия выступает относительная величина, названная коэффициентом близости векторных массивов:

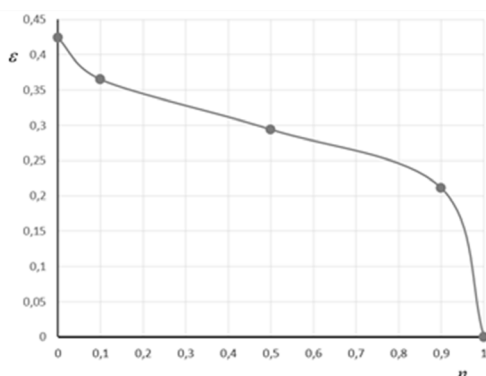


Рис. 4. Зависимость коэффициента близости векторных массивов  $\varepsilon$  от соотношения изомеров нафтола,  $n$  – массовая доля  $\alpha$ -нафтола  
 Fig. 4. Dependence of the similarity coefficient of the vector arrays  $\varepsilon$  on the ratio of naphthol isomers,  $n$  is the mass fraction of  $\alpha$ -naphthol

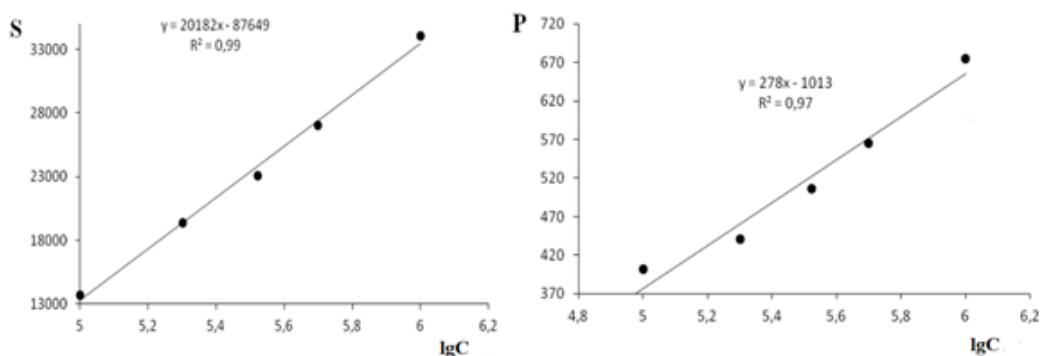


Рис. 5. Зависимость площади ( $S$ ) и периметра ( $P$ ) ЛД от логарифма концентрации  $\alpha$ -нафтола  
 Fig. 5. Dependence of area ( $S$ ) and perimeter ( $P$ ) of the radar chart on the logarithm of  $\alpha$ -naphthol concentration

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(a-b, a-b)}{(a, a)}} \quad (3)$$

Таким образом, задача сравнения профилей ЛД сводится к расчету величины  $\varepsilon$ , чем она меньше, тем больше соответствует ЛД эталонного образца, для последнего она принимает нулевое значение. Например, выберем  $\alpha$ -нафтол эталоном, для него  $\varepsilon=0$ . Расчет показал, что для ЛД  $\beta$ -нафтола  $\varepsilon=0.424$ . Для смесей величина  $\varepsilon$  имеет промежуточные значения (рис. 4). Номограмма на рис. 4 позволяет прогнозировать произвольное содержание изомеров в смеси.

Геометрические параметры ЛД индивидуальных изомеров нафтолов в полулогарифмических координатах (рис. 5, 6)

удовлетворительно описываются линейными уравнениями и могут быть использованы для определения их концентрации в пределах  $1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-4}$  М, причем линейные корреляции  $S=blgC-a$  являются более тесными, чем  $P=blgC-a$ .

В качестве арбитражного способа для суммарного и раздельного определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов использовали метод ВЭЖХ. Время удерживания в подобранных условиях хроматографирования составило для  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов 7.9 и 6.9 мин соответственно. Диапазон определяемых методом ВЭЖХ концентраций для исследуемых аналитов составил  $3.9 \cdot 10^{-5}$ - $3.9 \cdot 10^{-4}$  М.

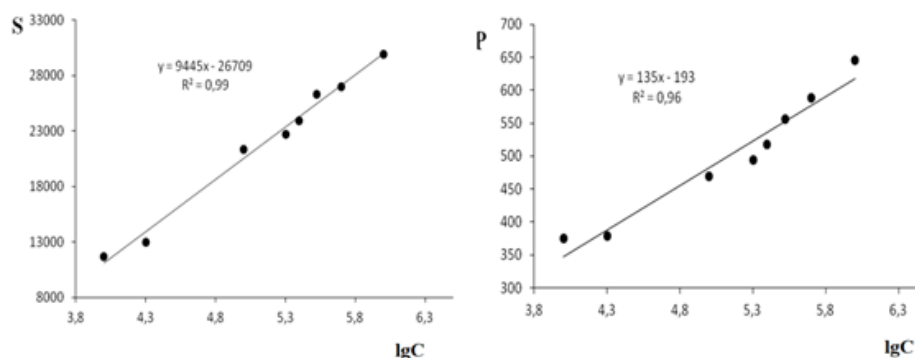


Рис. 6. Зависимость площади ( $S$ ) и периметра ( $P$ ) ЛД от логарифма концентрации  $\beta$ -нафтола

Fig. 6. Dependence of the area ( $S$ ) and perimeter ( $P$ ) of the LD on the logarithm of the concentration of  $\beta$ -naphthol

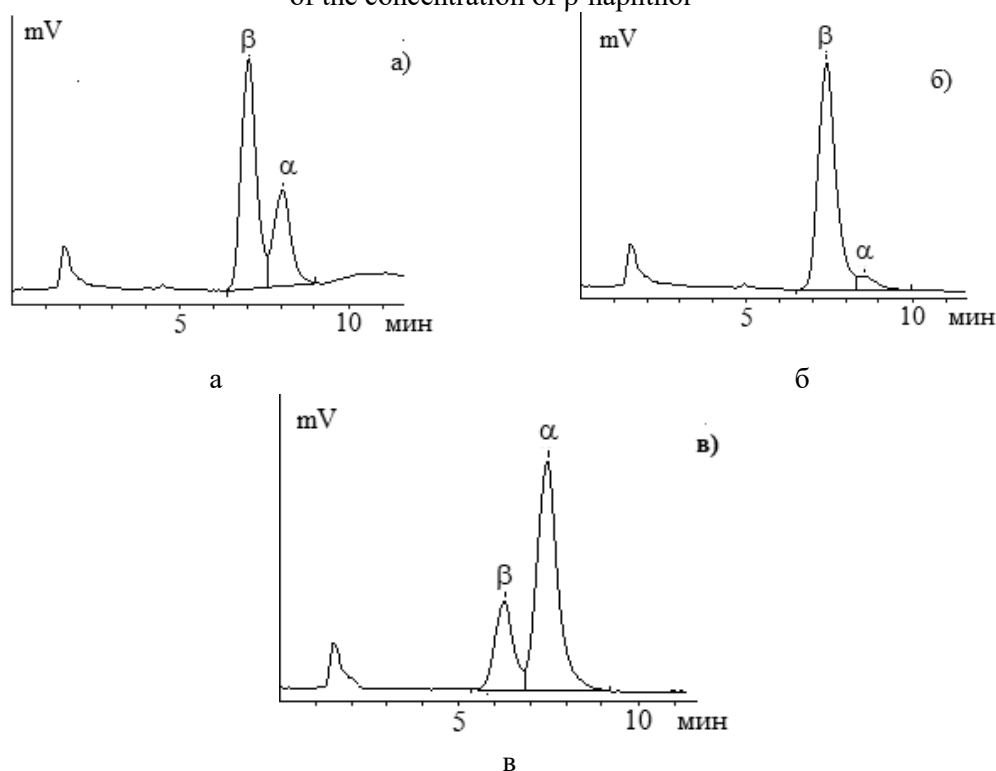


Рис. 7. Хроматограммы спиртового раствора, содержащего  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолы в массовом соотношении: а) 5:5; б) 1:9; в) 9:1.

Fig. 7. Chromatograms of an alcohol solution containing  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthols in a mass ratio of: а) 5:5; б) 1:9; в) 9:1.

При этих параметрах достигается удовлетворительное разделение хроматографических пиков данных изомеров. Примеры полученных хроматограмм представлены на рис. 7.

Как видим из рис. 7, чувствительность детектора при 265 нм для  $\beta$ -нафтола выше, чем для  $\alpha$ -нафтола, вместе с тем выбранная аналитическая длина волны

пригодна для определения смеси нафтолов (рис. 8, табл.). Оценку правильности результатов определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов методом ВЭЖХ определили методом «введено-найдено» по параметру площади ( $S$ ) пиков (табл.). Предложенный способ позволил определять содержание

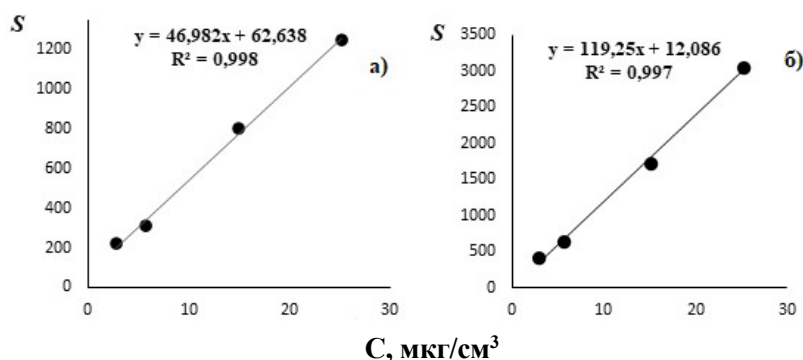


Рис. 8. Зависимость площади пиков  $S$  от концентрации нафтолов:  
 а)  $\alpha$ -нафтол; б)  $\beta$ -нафтол

Fig. 8. Dependence of the peak area  $S$  on the concentration of naphthols:  
 а)  $\alpha$ -naphthol; б)  $\beta$ -naphthol

Таблица. Результаты определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов ( $n=3$ ,  $P=0.95$ ) методом ВЭЖХ  
 Table. The results of the determination of  $\alpha$ - and  $\beta$ -naphthols ( $n=3$ ,  $P=0.95$ ) by HPLC

| № п/п | Аналит           | Введено, мкг/см <sup>3</sup> | Найдено, мкг/см <sup>3</sup> | ( $X \pm \Delta X$ ) | $S_r$ |
|-------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|-------|
| 1     | $\alpha$ -нафтол | 5.76                         | 5.25<br>5.36<br>5.41         | $5.3 \pm 0.2$        | 0.03  |
|       |                  | 2.88                         | 3.32<br>2.97<br>3.04         | $3.1 \pm 0.3$        | 0.10  |
|       |                  | 15.0                         | 15.7<br>15.3<br>15.5         | $15.5 \pm 0.4$       | 0.02  |
|       |                  | 25.2                         | 25.2<br>25.2<br>25.1         | $25.2 \pm 0.1$       | 0.005 |
| 2     | $\beta$ -нафтол  | 2.88                         | 3.44<br>3.14<br>3.22         | $3.3 \pm 0.3$        | 0.08  |
|       |                  | 5.60                         | 5.25<br>5.32<br>5.47         | $5.4 \pm 0.2$        | 0.04  |
|       |                  | 15.0                         | 14.4<br>14.5<br>14.5         | $14.5 \pm 0.1$       | 0.008 |
|       |                  | 25.2                         | 25.6<br>25.3<br>25.2         | $25.4 \pm 0.2$       | 0.008 |

$\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов в диапазоне  $1 \cdot 10^{-7}$  до  $1 \cdot 10^{-4}$  М, при этом относительная погрешность хроматографического определения не превышала 10%.

Новизной настоящего исследования является применение на стадии пробоподготовки методологии СР-концентрирования [9]. Для эффективного концентрирования азосоединений – продуктов взаимодействия 4-аминоантипирина с  $\alpha$ -





и  $\beta$ -нафтолами в системе нафтол – 4-аминоантипирин –  $K_3Fe(CN)_6$  – тритон X-100 –  $Na_2CO_3$ , установлены оптимальные условия:  $1 \cdot 10^{-3}$  М 4-АА – 8%-ный  $K_3Fe(CN)_6$  – 3%-ный тритон X-100 – 0.25 М  $Na_2CO_3$ .

### Заключение

Цветометрическая методика определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов с предварительным мицеллярно-экстракционным их концентрированием системами на основе неионных ПАВ позволяет контролировать содержание нафтолов на уровне ПДК с погрешностью, не превышающей 10%. Для этой цели применены обобщенные цветометрические параметры в цветовой системе RGB – площадь ( $S$ ) и периметр ( $P$ ) лепестковых диаграмм, полученных по результатам оценки интенсивности цветных компонент  $R$ ,  $G$  и  $B$  двух хромофорных реакций образования азосоединений с 4-нитрофенилдиазонием и хинонинов с 4-аминоантипирином. Для оценки правильности цветометрического определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов предложена методика с применением изократической обращенно-фазовой ВЭЖХ с УФ-детектированием при 265 нм. Показано, что концентрирование дериватов  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтолов простыми и комбинированными системами на основе неионных ПАВ, позволяет отдельно определять их в диапазоне концентраций  $1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-6}$  М. Разработанный способ является экспрессным, экономически и экологически выгодным, по сравнению с методом ВЭЖХ, так как не требует применения летучих и токсичных растворителей и дорогостоящего оборудования.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

### Список источников

1. Суханов П.Т. Дисс. ... доктора хим. наук. Саратов. 2007. 385 с.
2. Суханов П.Т., Калинкина С.П., Коренман Я.И. // *Журнал аналитической химии*. 2007. Т. 62. № 12. С. 1245-1248.
3. Калинкина С.П., Суханов П.Т., Коренман Я.И., Чуркина Е.А. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2005. Т. 5. № 3. С. 347-352.
4. Хорохордина Е.А., Чан Хай Данг // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. Т.8. №1. С. 93-105.
5. Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А. Экспрессные методы контроля качества и безопасности технических материалов. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2017. 103 с.
6. Доронин С.Ю., Жестовская Е.С., Цыгулёва Э.И. // *Журнал аналитической химии*. 2020. Т. 75. С. 502-509.
7. Кудухова И.Г., Рудакова Л.В., Рудаков О.Б., Назаров В.М. // *Вода: химия и экология*. 2011. Т. 42. № 12(42). С. 89-93.
8. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Кудухова И.Г. и др. // *Аналитика и контроль*. 2012. Т. 16. № 4. С. 368-377.
9. Чернова Р.К., Доронин С.Ю. Определение органических аналитов в растворах ПАВ: ионные и мицеллярные эффекты. Саратов: Изд-во СГУ. 2017. 200 с.

### References

1. Sukhanov P.T. Diss. ... doktora khim. nauk. Saratov. 2007. 385 p.
2. Suxanov P.T., Kalinkina S.P., Korenman Ya.I., *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2007, Vol. 62, No 12, pp. 1245-1248.
3. Kalinkina S.P., Sukhanov P.T., Korenman Ya.I., Churkina E.A., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2005, Vol. 5, No 3, pp. 347-352.
4. Khorokhordina E.A., Chan Haj Dang, *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arxitekturostroitelnogo universiteta*, 2014, Vol. 8, No 1, pp. 93-105.
5. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A. *E'kspressny'e metody kontrolya kachestva*



i bezopasnosti texnicheskix materialov, Voronezh, Izd-vo VGTU, 2017, 103 p.

6. Doronin S.Yu., Zhestovskaya E.S., Cыгульова E.I., *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2020, Vol. 75, pp. 502-509.

7. Kuduxova I.G., Rudakova L.V., Rudakov O.B., Nazarov V.M., *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, Vol. 42, No 12(42), pp. 89-93.

8. Rudakov O.B., Rudakova L.V., Kuduxova I.G. et al., *Analitika i control*, 2012, Vol. 16, No 4, pp. 368-377.

9. Chernova R.K., Doronin S.Yu. *Opreделение organicheskix analitov v rastvorax PAV: ionny'e i micellyarny'e e'ffekty*, Saratov, Izd-vo SGU, 2017, 200 p.

### Информации об авторах / Information about the authors

**Э.И. Цыгулёва** – аспирант кафедры аналитической химии и химической экологии, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов

**С.Ю. Доронин** – д.х.н., профессор, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии СГУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов

**О.Б. Рудаков** – д.х.н., профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, Воронеж

**E.I. Tsygulyova** – the postgraduate student, chair of analytical chemistry and chemistry ecology, Saratov State University, Saratov, e-mail: [musja2525@mail.ru](mailto:musja2525@mail.ru)

**S.Yu. Doronin** – Dr. Sci. (Chemistry), professor, professor of the Department of Analytical Chemistry and Chemical Ecology, Institute of Chemistry, Saratov State University, Saratov, e-mail: [doroninsu@mail.ru](mailto:doroninsu@mail.ru)

**O.B. Rudakov** – Dr. Sci. (Chemistry), professor, head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Materials, Voronezh State Technical University, e-mail: [robi57@mail.ru](mailto:robi57@mail.ru)

*Статья поступила в редакцию 20.01.2022; одобрена после рецензирования 12.02.2022; принята к публикации 13.02.2022.*

*The article was submitted 20.01.2022; approved after reviewing 12.02.2022; accepted for publication 13.02.2022.*