

# Фундаментальная и прикладная химия, химическая технология

Оригинальная статья/Original article

УДК 543.3.68

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-215-221>

## Сорбционно-цветометрическое определение железа(III) в водах гальванического производства

Павел Т. Суханов	<sup>1</sup>	pavel.suhanov@mail.ru
Светлана П. Калинкина	<sup>1</sup>	
Карина С. Сердюкова	<sup>1</sup>	
Александр Н. Ильин	<sup>1</sup>	

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Реферат.** Разработаны экспрессные сорбционно-цветометрические способы определения железа в водах, основанные на сорбционном концентрировании аналитов из раствора на импрегнированном пенополиуретане, образовании на его поверхности окрашенного соединения и последующем его детектировании в матрице сорбента путем измерения интенсивности окраски или цветометрических характеристик. Первый способ определения основан на встряхивании анализируемого раствора с таблеткой импрегнированного ППУ известной массы, из которого удаляют пузырьки воздуха, второй динамический – на отборе пробы путем пропускания раствора через аналитический патрон с импрегнированным ППУ. Изменение цвета пенополиуретана обусловлено присутствием железа(III) в водах. Содержание железа(III) определяли сравнением интенсивности окраски таблетки ППУ с заранее приготовленной цветовой шкалой или сравнением цветометрических характеристик анализируемого и стандартных растворов. Установлены условия сорбционно-фотометрического определения: концентрация фотометрического реагента, импрегнированного в ППУ, степень загрузки его импрегнантом, время контакта фаз, кислотность среды. При использовании аналитических патронов нижний предел обнаружения в 2 раза выше, а погрешность измерения на 3–5% ниже, чем при использовании таблеток. Предложенные тест-способы с применением пенополиуретана позволяют осуществлять анализ промывных вод и общего стока гальванического цеха до и после станции нейтрализации «на месте», без использования сложных приборов и высокой квалификации оператора.

**Ключевые слова:** анализ, железо(III), сульфосалициловая кислота, галловая кислота, цветометрия, тест-способ

## The sorption-chromaticity determination of Fe(III) in the waters of the galvanic production

Pavel T. Sukhanov	<sup>1</sup>	pavel.suhanov@mail.ru
Svetlana P. Kalinkina	<sup>1</sup>	
Karina S. Serdyukova	<sup>1</sup>	
Alexander N. Il'in	<sup>1</sup>	

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Summary.** Developed out express Sorption-colorimetric methods for the determination of iron in water, based on the sorption concentration of detecting component of the solution impregnated in the polyurethane foam, the formation on the surface of a colored compound and then its definition in the sorbent matrix by measuring color intensity or chromaticity characteristics. The first method is based on determining the agitation of the sample solution with a tablet impregnated with PPU known mass, from which the air bubbles are removed, the second dynamic – by sampling by suction solution in the analytical cartridge impregnated with PPU. Discoloration polyurethane indicates the presence of iron (III) in water, and its content was determined by comparing the color intensity of foam tablets previously prepared color chart or chromaticity characteristics comparing analyte and standard solutions. The conditions of sorption-photometric analysis: the concentration of the photometric reagent impregnated in the foam, the degree of loading it impregnant, the phases of contact, the acidity of the environment. When using analytical cartridges lower limit of detection is 2 times higher, and the measurement error to 3.5% lower than with the tablets. The proposed test methods using polyurethane enable to carry out the analysis of wash water and the total flow of galvanizing plant before and after neutralization station “on the spot”, without the use of sophisticated instruments and highly skilled operator.

**Keywords:** analysis, Fe(III), sulfosalicylic acid, gallic acid, colorimetry, test-method

### Введение

Сточные воды в гальваническом производстве образуются при промывке металлических изделий после их химической и электрохимической обработки. При этом на поверхности деталей остается пленка, состоящая из компонентов, входящих в состав раствора предыдущей технологической операции. Для её удаления необходимо регулировать состав промывных вод гальванических ванн, обеспечивая своевременную замену концентрированных токсичных растворов на менее

токсичные или снижая концентрацию загрязняющих компонентов в водах путем разбавления.

Одним из загрязнителей промывных вод гальванических цехов является железо(III). Разработаны многочисленные методы количественного определения железа в водных средах [1]. Среди них следует отметить сорбционно-цветометрические методы, в которых процессы извлечения анализируемого вещества, его химического преобразования в окрашенное соединение и определения связаны между собой [2]. В качестве

Для цитирования

Суханов П. Т., Калинкина С. П., Сердюкова К. С., Ильин А. Н. Сорбционно-цветометрическое определение железа(III) в водах гальванического производства // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 215–221. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-215-221

For citation

Sukhanov P. T., Kalinkina S. P., Serdyukova K. S., Il'in A. N. The sorption-chromaticity determination of Fe(III) in the waters of the galvanic production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 215–221. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-215-221

сорбента эффективно использование пенополиуретана (ППУ), успешно зарекомендовавшего себя для сорбционного концентрирования, как органических, так и неорганических соединений [3]. Несомненно, привлекательна доступность ППУ, его химическая и механическая прочность, устойчивость к органическим растворителям. Использование ППУ в сорбционно-цветометрических методах позволяет легко выделить его из раствора в виде окрашенной аналитической формы и по интенсивности окраски определять содержание вещества непосредственно в матрице сорбента. Модифицирование сорбента специфическим органическим реагентом повышает селективность анализа. Способы измерения интенсивности окраски аналитического сигнала могут быть визуальными (человеческий глаз) и инструментальными. С развитием компьютерных технологий аналитическим сигналом, зависящим от концентрации определяемого компонента, могут быть также цветометрические характеристики анализируемого образца (координаты цвета, светлота, насыщенность и другие) [4].

Для оперативного контроля технологических процессов с использованием водных растворов все большее значение приобретают химические тест-методы, позволяющие достаточно быстро определять содержание загрязняющих веществ на «месте» (on site). Большинство химических тест-методов основано на использовании химических реакций и реагентов в условиях и формах, обеспечивающих какой-либо легко наблюдаемый или измеряемый эффект (например, появление или исчезновение окраски). Применение вне-лабораторных экспресс-методов, пусть даже оценочных, может быть использовано для контроля водных сред различного генезиса [5].

### Материалы и методы

**Цель работы** – изучить возможности сорбционно-цветометрического определения железа(III) в промывных водах гальванического производства с использованием пенополиуретана в качестве сорбента.

Таблетки и полоски пенополиуретана вырезали из промышленного листа полимера, промывали попеременно 0,1 моль/дм<sup>3</sup> раствором хлороводородной кислоты (х.ч) и ацетона (о.с.ч), высушивали до воздушно-сухого состояния. Водные растворы галловой и сульфосалициловой кислот с концентрацией от 1 до 10% масс. (аналитические реагенты) готовили из препаратов квалификации х.ч.

Основной стандартный раствор железа(III) с концентрацией 0,5 мг/см<sup>3</sup> готовили из железо-аммонийных квасцов квалификации х.ч. путем растворения навески Fe(NH<sub>4</sub>)(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O массой 2,4190 г в 50 см<sup>3</sup> 2 моль/дм<sup>3</sup> раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (х.ч.) и доведения объема до метки дистиллированной

водой в мерной колбе вместимостью 1,0 дм<sup>3</sup>. Полученный раствор применяли для приготовления серии стандартных растворов Fe(III) с концентрацией от 0,0005 до 0,05 мг/см<sup>3</sup>. Для приготовления ацетатного буферного раствора (рН 4) применяли тригидрат ацетата натрия (136,09 г/моль) 18,0 см<sup>3</sup> и раствор уксусной кислоты 82,0 см<sup>3</sup> (0,2 моль/дм<sup>3</sup> раствор).

**Объекты анализа** – промывные воды гальванического цеха. Водные пробы отбирали в соответствии с требованиями ГОСТ-31862-2012.

Импрегнирование пенополиуретана осуществляли в бюксе, в который помещали предварительно взвешенную таблетку или полоску ППУ, добавляли раствор (из расчета 10 см<sup>3</sup> на 1 г воздушно-сухого ППУ), выдерживали до полной пропитки, сушили между листами фильтровальной бумаги, помещали в эксикатор и выдерживали до постоянной массы.

Для построения цветовой шкалы в статических условиях в сосуды с шлифованными пробками отбирали по 20 см<sup>3</sup> стандартных растворов железа(III), 1 см<sup>3</sup> ацетатного буферного раствора, помещали таблетку импрегнированного ППУ массой ~0,03 г, которую прижимали стеклянной палочкой до полного удаления пузырьков воздуха. Содержимое сосудов встряхивали до установления сорбционного равновесия, после чего растворы сливали, таблетки вынимали, подсушивали и раскладывали в цветовую шкалу.

Для получения цветовой шкалы в аналитических патронах использовали шприцы вместимостью 2 см<sup>3</sup>, которые заполняли одинаковыми полосками импрегнированного ППУ массой ~0,17 г, помещали их в стандартные растворы Fe(III), набирали жидкость до края сорбента, подсушивали и раскладывали в цветовую шкалу.

Цветометрический анализ осуществляли оцифровкой цветовой шкалы с использованием программы «Видеоденситометр», построении градуировочных графиков в координатах яркость цветного изображения – концентрация определяемого компонента.

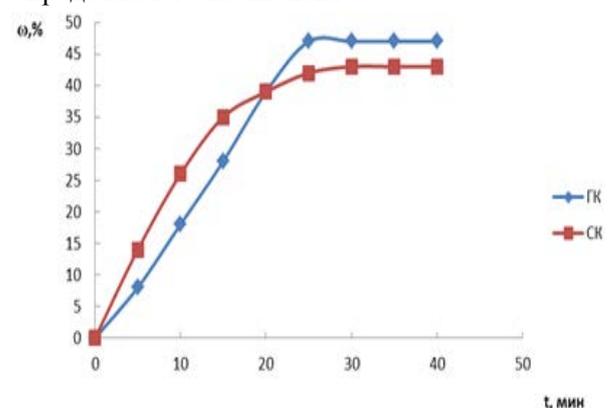


Рисунок 1. Степень загрузки ППУ кислотами  
Figure 1. Degree of loading of polyurethane with acids

Определение железа(III) в анализируемом растворе проводили путем проведения тех же операций и в той же последовательности, что и при разработке цветовой шкалы в таблетках и патронах. Результаты измерений содержания железа с использованием цветометрического экспресс-способа сравнивали с результатами выполнения измерений массовой концентрации железа(III) в природных и сточных водах стандартным фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой (ПНД Ф 14.1:2.50-96).

В основе сорбционно-цветометрического определения железа(III) находится сорбция его из водных сред пенополиуретаном, образование окрашенного соединения на его поверхности за счет протекания химической реакции между ионами железа(III) и импрегнированным в пенополиуретан аналитическим реагентом, и последующее определение аналита в матрице сорбента. Аналитические реагенты должны характеризоваться такими свойствами, как чувствительность, селективность, высокая скорость взаимодействия с железом(III), контрастность реакции, а также хорошо закрепляться на сорбенте и не вымываться в водный раствор. В качестве таких реагентов выбраны сульфосалициловая (СК) и галловая кислоты (ГК), образующие устойчивые окрашенные комплексы с железом(III) при определенном значении pH. При использовании в качестве импрегнанта СК анализируемые пробы подкисляли до pH 4. Известно, что в слабокислой среде сульфосалициловая кислота образует окрашенные в красный цвет комплексные соединения только с солями  $Fe^{3+}$ , в слабощелочной среде образуются соединения железа(III) и железа(II) желтого цвета [6]. Галловая кислота в слабокислой среде образует с солями железа (III) черно-зеленые комплексы.

### **Результаты и обсуждение**

Концентрация сульфосалициловой кислоты в импрегнирующем растворе составила 5% масс., галловой кислоты – 1% масс. При более высоких или низких концентрациях аналитических реагентов контрастность окраски ППУ при изменении содержания железа(III) в анализируемом растворе уменьшается, что затрудняет визуально-цветометрический вариант регистрации аналитического сигнала.

Масса галловой и сульфосалициловой кислот, импрегнированных в пенополиуретан, зависит от времени контакта их с сорбентом. На рисунке 1 представлена зависимость

загрузки ППУ [массовая доля аналитического реагента по отношению к пенополиуретану ( $\omega = m AP/m ППУ 100\%$ )] галловой и сульфосалициловой кислотами от времени контакта фаз.

Максимальная загрузка ППУ достигается через 25 мин и составляет 47% для ГК и 43% для СК. Время, необходимое для получения стабильной окраски аналитической формы – 5 мин. Предложены тест-шкалы для определения железа(III) в статических условиях (таблетки) и в аналитических патронах. Для таблеток, импрегнированных СК, шкала создана в диапазоне концентраций железа(III) от 0,001 до 0,05 мг/см<sup>3</sup>. При содержании железа(III) меньше 1,0 мкг/см<sup>3</sup> изменение окраски таблеток не фиксируется, а верхняя граница диапазона 0,05 мг/см<sup>3</sup> обусловлена критическим содержанием железа(III) в промывной воде, превышение которого требует своевременной корректировки состава воды на отдельных стадиях технологического процесса.

В аналитических патронах нижняя граница определяемых концентраций понизилась в 2 раза и составила 0,5 мкг/см<sup>3</sup>, что объясняется увеличением массы импрегнированного ППУ в патроне по сравнению с таблеткой. Для аналитических патронов разработана шкала в диапазоне концентраций железа (III) от 0,5 мкг/см<sup>3</sup> до 0,05 мг/см<sup>3</sup>. Для таблеток и патронов, импрегнированных ГК, предложена в диапазоне концентраций железа(III) от 0,001 до 0,05 мг/см<sup>3</sup>. Следует отметить, что при импрегнировании ППУ галловой кислотой контрастность цветового перехода от одной концентрации железа(III) в растворе к другой значительно ниже, чем при использовании в качестве импрегнанта сульфосалициловой кислоты. Устойчивость окраски ППУ при использовании в качестве импрегнанта сульфосалициловой кислоты составляет один месяц, галловой кислоты – две недели.

Визуально-цветометрическое определение железа(III) в промывных водах осуществляли путем сравнения интенсивности окраски ППУ с заранее приготовленной цветовой шкалой. Результаты определения железа(III) в промывных водах гальванических ванн и в общем стоке гальванического цеха до и после заводской станции нейтрализации с помощью аналитических патронов, заполненных импрегнированным пенополиуретаном, в сравнении со стандартным фотометрическим методом представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Визуально-цветометрическое определение Fe(III) в промывных водах с использованием аналитических патронов в сравнении со стандартным фотометрическим методом (n = 3, p = 0,90)

Table 1.

Visual-colorimetric determination of Fe (III) in wash waters using analytical cartridges in comparison with the standard photometric method (n = 3, p = 0.90)

Сточные воды   Waste water	Аналитический патрон с ГК, мг/см <sup>3</sup> Analytical cartridge with HA, mg/cm <sup>3</sup>	Аналитический патрон с СК, мг/см <sup>3</sup> Analytical cartridge with SC, mg/cm <sup>3</sup>	ФЭК, мг/см <sup>3</sup> FEC, mg/cm <sup>3</sup>	Погрешность Accuracy	
				δ <sub>1</sub>	δ <sub>2</sub>
Гальваническая ванна № 8 линия хромирования   Galvanic bath No. 8 chromium plating line	–	0,00050	0,00050 ± 0,0002	–	10
Гальваническая ванна № 2 линия травления   Galvanic bath No. 2 etching line	0,010	0,012	0,012 ± 0,003	16	10
Гальваническая ванна № 3 линия травления   Galvanic bath № 3 etching line	0,012	0,025	0,029 ± 0,008	58	15
Гальваническая ванна № 12 линия цинкования   Galvanic bath No. 12 galvanizing line	0,025	0,050	0,048 ± 0,003	49	4
Гальваническая ванна № 14 линия цинкования   Galvanic bath No. 14 galvanizing line	0,0125	0,025	0,028 ± 0,008	57	11
Сток до станции нейтрализации   Stock to the neutralization station	0,012	0,015	0,018 ± 0,002	33	16
Сток после станции нейтрализации   Stock after neutralization station	–	0, 00050-	0,00040 ± 0,0001	–	-25

Максимальная относительная погрешность определения железа(III) в промывных технологических водах с использованием патронов, импрегнированных ГК достигает 58%, а импрегнированных СК – 25%. Аналогичная закономерность установлена для таблеток. При этом ошибка определения с использованием таблеток на 3–5% выше, чем патронов. Визуально изменение окраски ППУ, импрегнированного ГК, воспринимается хуже, чем СК. Учитывая, что более контрастное изменение окраски минимизирует возможность неоднозначного толкования результата, использование в качестве аналитического реагента сульфосалициловой кислоты более перспективно, чем галловой кислоты. Следует отметить, что яркость окраски ППУ в патронах выше, чем в таблетках.

Чтобы исключить субъективную оценку изменения цвета ППУ в таблетках и аналитических патронах использовали цветометрический метод регистрации интенсивности окраски. Для этого проводили оцифровку тест-шкал с помощью компьютерной программы «Видеоденситометр». По полученным результатам строили градуировочные графики в координатах

яркость – концентрация железа(III). Графики линейны в области малых и больших концентраций железа(III). Уравнения, описывающие градуировочные графики для таблеток и патронов с ППУ, импрегнированными СК, представлены в таблице 2 и применены для сорбционно-цветометрического определения железа(III) в промывных водах гальванических ванн технологических линий.

Результаты визуального и цветометрического определения железа(III) в промывных водах гальванического цеха с помощью аналитических патронов, заполненных импрегнированным СК пенополиуретаном, в сравнении со стандартным фотометрическим (ФЭК) методом, представлены в таблице 3.

Погрешность определения железа цветометрическим методом регистрации аналитического сигнала в среднем на 5,5% меньше, чем с визуальной регистрацией сигнала. Сорбционно-цветометрический способ определения железа(III) в водах характеризуется хорошей воспроизводимостью (S<sub>r</sub>, менее 4,2%). Предел обнаружения железа(III) при этом составляет 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, предел определения – 0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 2.  
Уравнения градуировочных графиков для цветиметрического железа(III) (n = 3, P = 0,95)

Table 2.  
The equations of calibration graphs for chromometric iron (III) (n = 3, P = 0.95)

Тест-средство   Test tool	Область концентраций Fe(III) в водном растворе, мг/см <sup>3</sup> Area of Fe(III) concentrations in aqueous solution, mg/cm <sup>3</sup>	Уравнения градуировочных графиков Equations of calibration graphs	R <sup>2</sup>
Аналитический патрон с СК   Analytical cartridge with SC	от 0,0005 до 0,005	$Y = 2924 \cdot X + 1060$	0,986
Аналитический патрон с СК   Analytical cartridge with SC	от 0,005 до 0,05	$Y = 3200 \cdot X + 1048$	0,971
Таблетка ППУ с СК   Tablets PPU with SK	от 0,0005 до 0,005	$Y = 6370 \cdot X + 918$	0,999
Таблетка ППУ с СК   Tablets PPU with	от 0,005 до 0,05	$Y = 1479 \cdot X + 948$	0,974

Таблица 3.  
Сравнительная оценка результатов сорбционно-цветиметрического определения Fe(III)  
в аналитических патронах с СК

Table 3.  
Comparative evaluation of the results of sorption-colorimetric determination of jelly-for (III)  
in analytical cartridges with SC

Промывные воды гальванических ванн   Wash waters of galvanic baths	Визуальный метод, мг/см <sup>3</sup> Visual method, mg/cm <sup>3</sup>	Цветиметрический, мг/см <sup>3</sup> Colorimetric, mg/cm <sup>3</sup>	ФЭК, мг/см <sup>3</sup> FEC, mg/cm <sup>3</sup>	Визуальный метод, δ <sub>1</sub> , % Visual method, δ <sub>1</sub> , %	Цветиметриче- ский метод Colorometric method	
					δ <sub>2</sub> , %	S <sub>r</sub> , %
Травления   Etching	0,050	0,048 ± 0,03	0,045 ± 0,03	11	6	0,9
Обезжиривания   Degreasing	0,025	0,024 ± 0,003	0,020 ± 0,004	25	20	4,2
Промывки   Washing	0,025	0,026 ± 0,001	0,030 ± 0,002	16	15	2,95
Нейтрализации   Neutralization	0,012	0,014 ± 0,003	0,016 ± 0,003	25	12	4,20
Пассивирования   Passivation	0,050	0,047 ± 0,002	0,045 ± 0,002	14	10	3,01

На основании проведенных исследований предложен тест-способ определения железа(III) в промывных водах гальванического производства, позволяющий осуществлять своевременную корректировку состава промывных технологических вод «на месте». В основе метода находится извлечение железа(III) с помощью аналитического патрона, заполненного импрегнированным СК пенополиуретаном, получение окрашенной в красный цвет аналитической формы при pH 3–4, сравнение интенсивности окраски с тест-шкалой. В качестве аналитических патронов используют медицинские шприцы,

вместимостью 2 см<sup>3</sup>, заполненные полосками очищенного пенополиуретана массой 0,17 г, импрегнированные 5% мас. раствором сульфосалициловой кислоты. Проверка правильности тест-метода определения железа(III) методом «введено-найдено» представлена в таблице 4.

Предложена тест-система, для определения железа(III) в промывных водах гальванического производства, включающая цветовую шкалу (1 шт.), аналитические патроны (10 шт.), универсальную индикаторную бумагу (1 упак.), капельницу с ацетатным буферным раствором (1 шт.), инструкцию по применению.

Таблица 4.  
Проверка правильности тест-метода определения Fe(III) в сточных водах гальванического цеха (n = 3, P = 0,90)

Table 4.  
Verification of the correctness of the test method for the determination of Fe(III) in the sewage waters of the galvanic shop (n = 3, P = 0.90)

Введено, мг/см <sup>3</sup> Permission mg/cm <sup>3</sup>	Найдено, мг/см <sup>3</sup> Found, mg/cm <sup>3</sup>		δ, %
	Визуально Visual	Фотоколориметрически Photocolorimetrically	
0,00080	0,0010	0,00088 ± 0,0005	25
0,020	0,0250	0,021 ± 0,002	25
0,040	0,050	0,042 ± 0,04	20

Для определения железа(III):

- в химический стакан помещают 20 см<sup>3</sup> анализируемой воды;
- создают с помощью ацетатного буферного раствора рН 4;
- анализируемый раствор отбирают аналитическим патроном до конца слоя сорбента и выдерживают 5 мин.;

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Singh P.K., Sharma J.L., Singh S.K. Determination of important heavy and transition metals in the surface water of the river Ganges by ion chromatography // International Journal of Environmental Sciences. 2015. V. 5. №5. P. 1022-1029.

2 Lin K., Ma J., Yuan D., Feng S. et al. Sequential determination of multi-nutrient elements in natural water samples with a reverse flow injection system // Talanta. 2017. V. 167. P. 166171.

3 Дидух С.Л., Лосев В.Н., Мухина А.Н., Максимов Н.Г. и др. Сорбционно-фотометрическое определение железа с использованием кремнезема с функциональными группами нитрозо-R-соли // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72. № 1. С. 50-56.

4 Фарус О.А. Создание и оценка эффективности твердофазных тест-систем на основе наноструктурированного силикатного материала для определения ионов железа(III) // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 6. № 10. С. 45-48.

5 Vallejosá S., Muñozá A., García F. C., Colloñi R. et al. Colorimetric detection, quantification and extraction of Fe(III) in water by acrylic polymers with pendant Kojic acid motifs // Sensors and Actuators B: Chemical. 2016. V. 233. № 5. P. 120126.

6 Калинкина С.П., Казакова А.А., Суханов П.Т., Ильин А.Н. Визуальные и цветометрические экспресс-способы суммарного определения дубильных веществ в растительном сырье // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 2 (68). С. 223-229.

7 Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Рудакова Л.В., Чан Х.Д. Определение бисфенола А, триклозана и нонилфенола в материалах и экстрактах методом ТСХ, совмещенным с цифровой цветометрией // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. № 5. С. 686-694.

- сравнивают интенсивность окраски ППУ в аналитическом патроне с цветовой шкалой;
- делают заключение о содержании железа в анализируемой воде.

#### Заключение

Разработанный тест-метод с применением ППУ позволяет анализировать промывные технологические воды и стоки гальванического цеха до и после станции нейтрализации в месте отбора проб без использования сложных приборов и высокой квалификации оператора. Время анализа составляет 7–10 мин., относительная погрешность определения не превышает 25%.

*Работа выполнена в рамках НИОКР по ГК № 4.2186.2014/К по теме «Разработка и конструирование мобильного комплекса для экологического мониторинга состояния водных объектов с возможностью концентрирования органических и неорганических загрязнителей на месте» от 17.07.2014 г.*

8 Санникова Н.Ю., Губин А.С., Репин П.С., Попова Л.В. и др. Применение ПК при обработке хроматограмм в тонком слое // В книге: V Международная конференция-школа по химической технологии ХТ'16, сборник тезисов докладов сателлитной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. 2016. С. 226-227.

9 Рудакова Л.В., Рудаков О.Б. Определение парацетамола и салицилата натрия с применением ТСХ. цифровой цветометрии // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2015. № 2. С. 35-41.

10 Марченко Д.Ю., Петров С.И., Санджиева Д.А., Дедов А.Г. Экспресс-метод количественного определения нитритов методом компьютерной цветометрии с использованием новых реагентных композиций // Химическая технология. 2015. Т.16. № 3. С. 186-192.

11 Trigo-López M., Munoz A., Ibeas S., Serna F. et al. Colorimetric detection and determination of Fe(III), Co(II), Cu(II) and Sn(II) in aqueous media by acrylic polymers with pendant terpyridine motifs // Sensors and Actuators B: Chemical. 2016. V. 226. P. 118126.

12 Дедов А.Г., Перевертайло Н.Г., Некрасова В.В., Белоусова Е.Е. и др. Тест-средства для определения соединений железа, марганца и N-метиланилина в товарных бензинах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. №2. С. 75-84.

13 Моросанова Е.И. Тест системы для химического анализа: характеристики и область использования // Контроль качества продукции. 2012. № 1. С. 15-20.

14 Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Аналитика 1. Общие теоретические основы. Качественный анализ. М.: ГЭотар-Медиа, 2014. 668 с.

## REFERENCES

1 Singh P.K., Sharma J.L., Singh S.K. Determination of important heavy and transition metals in the surface water of the river Ganges by ion chromatography. *International Journal of Environmental Sciences*. 2015. vol. 5. no. 5. pp. 1022-1029.

2 Lin K., Ma J., Yuan D., Feng S. et al. Sequential determination of multi-nutrient elements in natural water samples with a reverse flow injection system. *Talanta*. 2017. vol. 167. pp. 166171

3 Didukh S. L., Losev V. N., Mukhina A. N., Maksimov N. G. Sorption-photometric determination of iron using silica with functional groups, nitroso-R-salt. *Zhurnal analiticheskoi khimii* [Journal of analytical chemistry] 2017. vol. 72. no. 1. pp. 50-56. (in Russian)

4 Farus O. A. Creation and evaluation of the effectiveness of solid-phase test systems based on nanostructured silicate material to determine the ions of iron(III). *Uspekhi sovremennoi nauki I obrazovaniya* [Successes of modern science and education] 2016. vol. 6. no. 10. pp. 45-48. (in Russian)

5 Vallejosá S., Muñozá A., Garcíaá F. C., Colleonih R. et al. Colorimetric detection, quantification and extraction of Fe(III) in water by acrylic polymers with pendant Kojic acid motifs. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2016. vol. 233. no 5. pp. 120126

6 Kalinkina S. P., Kazakova A. A., Sukhanov P. T., Piyin A. N. Visual and chromaticity Express ways total determination of tannins in herbal raw material. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of the Voronezh state University of engineering technologies] 2016. no. 2 (68). pp. 223-229. (in Russian)

7 Rudakov O. B., Khorokhordina E. A., Rudakova L. V., Chan K. D. Determination of bisphenol A, triclosan and Nonylphenol in materials and extracts by TLC, combined with the digital citometria. *Sorbtsionnye I khrotograficheskie protsesy* [Sorption and chromatographic processes] 2016. vol. 16. no. 5. pp. 686-694. (in Russian)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Павел Т. Суханов** д.х.н., профессор, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, pavel.suhanov@mail.ru

**Светлана П. Калинкина** доцент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,

**Карина С. Сердюкова** студент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,  
**Александр Н. Ильин** аспирант, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,

## КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Павел Т. Суханов** консультация в ходе исследования, корректировал рукопись до подачи в редакцию

**Светлана П. Калинкина** подготовила рукопись, несёт ответственность за плагиат, обзор литературных источников по исследуемой проблеме

**Карина С. Сердюкова** провела эксперимент

**Александр Н. Ильин** провел апробацию, выполнил расчёты

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 11.01.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 01.02.2017

8 Sannikova N. Yu., Gubin A. S., Repin P. S., Popova L. V. et al. The use of PC in the processing of the chromatogram in thin layer. V Mezhdunarodnaya konferentsiya-shkola po khimicheskoi tekhnologii [V International conference-school of chemical technology CHT'16, book of abstracts satellite conferences of the twentieth Mendeleev Congress on General and applied chemistry] 2016. pp. 226-227. (in Russian)

9 Rudakova L. V., Rudakov O. B. Determination of paracetamol and salicylate of sodium with the use of TLC .digital citometria. *Vestnik VGU* [Bulletin of Voronezh state University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy] 2015. no. 2. pp. 35-41. (in Russian)

10 Marchenko D. Yu., Petrov S. I., Sandzhieva D. A., Dedov A. G. A rapid method for the quantitative determination of nitrites by the method of computer citometria using the new reagent compositions. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical technology] 2015. vol. 16. no. 3. pp. 186-192. (in Russian)

11 Trigo-López M., Munoz A., Ibeas S., Serna F. et al. Colorimetric detection and determination of Fe(III), Co(II), Cu(II) and Sn(II) in aqueous media by acrylic polymers with pendant terpyridine motifsso *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2016. vol. 226. pp. 118126.

12 Dedov A. G., Perevertaylo N. G., Nekrasov V. V., Belousova E. E. et al. Test means for the determination of compounds of iron, manganese and N-methylaniline in commercial gasolines. *Zavodskaya laboratoriya*. [Diagnostics of materials] 2012. vol. 78, no. 2. pp. 75-84. (in Russian)

13 Morosanova E. I. Test system for chemical analysis: characteristics and field of application. *Kontrol' kachestva produktii* [Control Quality product]. 2012. no. 1. pp. 15-20. (in Russian)

14 Kharitonov Yu. Ya. *Analiticheskaya khimiya* [Analytical chemistry. Analytcs 1. The General theoretical framework. Qualitative analysis] Moscow, GEOTAR-Media, 2014. 668 p. (in Russian).

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Pavel T. Sukhanov** doctor of chemical sciences professor, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, pavel.suhanov@mail.ru

**Svetlana P. Kalinkina** associate professor, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia,

**Karina S. Serdyukova** student, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia,

**Alexander N. P'in** graduate student, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia,

## CONTRIBUTION

**Pavel T. Sukhanov** consultation during the study, corrected the manuscript before submission to the editor

**Svetlana P. Kalinkina** wrote the manuscript, responsible for plagiarism, the review of the literature on an investigated problem

**Karina S. Serdyukova** conducted an experiment

**Alexander N. P'in** pent testing, performed calculations

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.11.2017

ACCEPTED 2.1.2017