



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 544.725

doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9332

Определение азокрасителей в безалкогольных напитках методом ТСХ

Светлана Александровна Хальзова¹✉, Александр Николаевич Зяблов²

¹Муниципальное унитарное предприятие «Очистные сооружения» Борисоглебского городского округа, Борисоглебск, Россия, ahalzov@mail.ru✉

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация. Разработка методов идентификации и количественного определения азокрасителей в продуктах питания является одной из важных тем в России из-за отсутствия надлежащего внешнего контроля за производителем. Функция контроля возложена на производителя пищевых продуктов, поэтому применение наиболее простых в исполнении методов контроля красителей таких, как тонкослойная хроматография (ТСХ), предпочтительно в условиях производства. Производители безалкогольных напитков часто используют смеси красителей, поэтому перед спектрофотометрическим определением требуется этап разделения. Одним из способов пробоподготовки в аналитической химии применяется метод тонкослойной или бумажной хроматографии, а также твердофазная экстракция (ТФЭ). Целью работы было определение азокрасителей в безалкогольных напитках методом ТСХ с применением компьютерной денситометрии.

Сочетание метода ТСХ и денситометра позволяет измерять интенсивность окраски пятна красителя непосредственно на хроматограмме. Программа «ТСХ-менеджер», которая аналогична работе двухлучевого денситометра, позволяет обрабатывать графические файлы в формате jpeg. Метод ТСХ с применением компьютерной денситометрии использовали для определения концентрации азокрасителей после их экстракции из безалкогольных напитков на оксиде алюминия при pH=2.

В ходе исследования установлено, что экстракция азокрасителей оксидом алюминия при pH 2 позволяет селективно извлекать их из водных растворов при полноте сорбции >92%. Преимущественно процесс сорбции реализуется путем электростатического взаимодействия между брэнстедовскими катионными центрами оксида алюминия и анионными формами азокрасителей, что подтверждается методом ИК-спектроскопии. Данная методика апробирована при определении красителей в безалкогольных напитках «Любимый», «Добрый», «Фритти Лайт Тропик», «Фрутмотив», в которых обнаружены: тартразин E102, желтый «Солнечный закат» E110, азорубин E122, не заявленные в составе напитков. Содержание азокрасителей в некоторых напитках превысило максимально допустимый уровень.

Метод ТСХ с применением ТФЭ и компьютерной денситометрии позволяют проводить определение азокрасителей с высокой селективностью, чувствительностью. Поэтому данный метод можно применять при контроле качества безалкогольных напитков.

Ключевые слова: тонкослойная хроматография, твердофазная экстракция, азокрасители, денситометрия.

Для цитирования: Хальзова С.А., Зяблов А.Н. Определение азокрасителей в безалкогольных напитках методом ТСХ // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2022. Т. 22, № 3. С. 252-260. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9332>

Original article

Determination of azo dyes in non-alcoholic beverages by TLC

Svetlana S. Khalzova¹✉, Alexander N. Zyablov²

¹Municipal unitary enterprise Ochistnye Sooruzheniya of the Borisoglebsk Municipal District of the Voronezh Region, Borisoglebsk, Russian Federation, ahalzov@mail.ru✉

²Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation



Abstract. The development of techniques for the identification and quantification of azo dyes in food is an important issue in Russia due to the lack of proper external control over the manufacturer. The monitoring function is the responsibility of the food manufacturer. Therefore, the easiest dye control methods such as thin layer chromatography (TLC) are preferable for use at the production site. Producers of non-alcoholic beverages often use mixtures of colourants, so it is necessary to separate them before spectrophotometric determination. In analytical chemistry, the methods of sample preparation include thin-layer or paper chromatography, as well as solid-phase extraction (SPE). The aim of this study was to determine azo dyes in non-alcoholic beverages by TLC using computer densitometry.

The combination of TLC and densitometry makes it possible to measure the colour intensity of the dye spot directly on the chromatogram. The TLC Manager software, which is similar to the double beam densitometer, allows the processing of graphic files in jpeg format. We used TLC with computer densitometry to determine the concentration of azo dyes after their extraction from non-alcoholic beverages on aluminium oxide at pH=2. We determined that the extraction of azo dyes with aluminium oxide at pH 2 made it possible to selectively extract them from aqueous solutions, and the sorption efficiency was >92%. The sorption process takes place mainly through electrostatic interaction between Bronsted cationic centres of aluminium oxide and the anionic forms of the azo dyes, which has been confirmed by infrared spectroscopy.

This method was validated when determining azo dyes in non-alcoholic beverages Lubimy, Dobry, Fritty Light Tropic, and Frutmotiv. In these beverages, we detected tartrazine E102, Sunset Yellow E110, and azorubine E122, not declared in the composition of the beverages. The content of azo dyes in some beverages exceeded the maximum permissible level. TLC with SPE and computerised densitometry can detect azo dyes with high selectivity and sensitivity. Therefore, this technique can be used in the quality control of non-alcoholic beverages.

Keywords: thin-layer chromatography, solid-phase extraction, azo dyes, densitometry.

For citation: Khalzova S.A., Zyablov A.N. Determination of azo dyes in non-alcoholic beverages by TLC. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*. 2022. 22(3): 252-260. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9332>

Введение

Азокрасители находят широкое применение в пищевой промышленности. Они в отличие от натуральных красителей не теряют окраску в ходе технологической обработки, не обесцвечиваются при хранении. В пищевой промышленности разрешено к применению Российской Федерацией около 60 красителей [1, 2]. Среди синтетических красителей наибольшую группу составляют азокрасители (тартразин E102, желтый «солнечный закат» E110, азорубин E122, амарант E123, понсо 4R E124). При выборе синтетических красителей ориентируются не только на окраску продукта, но и на физико-химические свойства красителей и их дозировку [3, 4]. Рекомендуемые дозировки красителей в безалкогольные и алкогольные напитки: желтые и оранжевые красители – 15-30 г/т, синие и красные – 10-15 г/т [5]. Токсичность синтетических красителей сильно зависит от дозировки и имеет накопительный эффект [6]. В настоящее время разрабатываются или

совершенствуются методы идентификации и определения синтетических красителей в продуктах питания. Тонкослойная хроматография не требует сложного исполнения, дорогих реагентов, поэтому подходит для качественного и количественного определения синтетических красителей [4, 7].

Целью работы было определение азокрасителей в безалкогольных напитках методом ТСХ с применением компьютерной денситометрии.

Экспериментальная часть

Реагенты и аппаратура. В работе использовали красители тартразин (E 102), желтый «солнечный закат» (E 110), азорубин (E 122) степень чистоты 85% (фирмы «Lumex» г. С-Петербург). Рабочие растворы азокрасителей готовили из основного раствора ($C=1$ г/дм³) разбавлением исходного раствора в дистиллированной воде. Твердофазный патрон заполняли γ -оксидом алюминия (ТУ 2163-011-51444844-2005) [8, 9].

В качестве объектов исследования выбрали безалкогольные напитки: нектар

апельсиновый «Любимый», «Фрутмотив» со вкусом вишни, «Фритти Лайт Тропик» и «Добрый - Палпи» – напиток сокодержатель из апельсина с мякотью.

Зависимость степени извлечения азокрасителей оксидом алюминия от pH растворов изучали в статическом режиме. Содержание азокрасителей определяли спектрофотометрически на приборе ПЭ-5300В («ПромЭкоЛаб», г. Санкт-Петербург). Степень извлечения (R , %) рассчитывали по формуле:

$$R, \% = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0 – концентрация азокрасителя в растворе до экстракции, г/дм³; C – концентрация азокрасителя в растворе после экстракции, г/дм³.

Коэффициент распределения красителей (D) в сорбенте находили по уравнению:

$$D = \frac{R, \%}{(100 - R, \%)} \cdot \frac{V}{m}, \quad (2)$$

где V – объем анализируемого раствора, дм³, m – масса навески сорбента, г [8].

Для измерения pH растворов использовали pH-метр «МАРК-901» («ВЗОР», Н. Новгород). ИК-спектры красителей и оксида алюминия получены методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) на спектрофотометре «VERTEX-70» с приставкой ATR Platinum (призма алмазная) (производитель «Брукер», Германия) [8].

Метод ТСХ с применением компьютерной денситометрии. Метод анализа водорастворимых азокрасителей основан на извлечении красителей из напитка сорбентами [10], десорбции раствором ам-

миака, а после выпаривания идентификация вещества в тонком слое. Для экстракции азокрасителей из напитков использовали 10 см³ сока, предварительно доведенного до pH=2 раствором 0.1 М HCl [4], затем пропускали через твердофазный патрон, заполненный сорбентом (масса оксида алюминия 7 г), патрон промывали 20 см³ 1% раствора уксусной кислоты, затем 20 см³ дистиллированной воды. Десорбцию азокрасителей проводили 20 см³ водного раствора аммиака массовой концентрации 250 г/дм³ и выпаривали на водяной бане досуха, затем остаток растворяли в 1 см³ дистиллированной воды. Затем на ТСХ пластину последовательно наносили аликвоты красителей и анализируемых растворов $V=1$ мкл микрошприцем «Газохром-101» (ООО «Лабораторные технологии», Дзержинск). Для ТСХ применяли пластины марки «силикагель СТХ-1ВЭ» (ООО НТЦ «Ленхром», С-Петербург). Смесь растворителей бутанол-этилацетат-ледяная уксусная кислота-вода (5:3:3:3) использовали в качестве элюента [4]. Качественный анализ осуществляли по величинам R_f (табл. 1). Для количественного анализа ТСХ пластинки сканировали на планшетном сканере, а затем с помощью компьютерной программы «ТСХ-менеджер» (автор-разработчик И.Н. Плахотный) проводили обработку полученных изображений [11]. Для построения градуировочного графика готовили стандартные растворы красителей в диапазоне концентраций от 0.05 до 1.0 мг/см³.

Спектрофотометрический метод определения констант протолиза. Для определения констант протолиза азокрасителей,

Таблица 1. Значение хроматографической подвижности R_f стандартных синтетических красителей.

Table 1. The value of the chromatographic mobility R_f of standard synthetic dyes.

Наименование синтетического красителя	Индекс	Величина R_f
Гартразин	E102	0.23±0.03
Желтый «солнечный закат»	E110	0.53±0.05
Азорубин, кармуазин	E122	0.63±0.05

имеющих хромофорные группы использовали спектрофотометрию. С помощью растворов 0.1 М HCl, 0.1 М NaOH и буферных растворов, приготовленных из стандарт-титров для рН-метрии (гидротартрат калия $\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6$, насыщенный при 25°C – рН 3.56; гидрофталат калия $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4\text{K}$ 0.05 моль/кг – рН 4.01; дигидрофосфат калия $\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 0.025 моль/кг и гидрофосфат натрия Na_2HPO_4 0.025 моль/кг – рН 6.86; тетраборат натрия 10-водный $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 0.01 моль/кг – рН 9.18) поддерживали необходимое значение рН. Затем регистрировали спектры поглощения индивидуальных растворов, содержащих только один вид ионов, находящихся в равновесии при длине волны для: E102 – 426 нм, E110 – 485 нм и E122 – 516 нм. С использованием эмпирических данных проводили расчет констант протолиза по уравнениям (3) и (4). При этом следует учесть, что уравнение (3) применяется в случае кислотной функциональной группы и уравнение (4) в случае – основной группы:

$$pK_a = pH + \lg \frac{A_1 - A}{A - A_m}, \quad (3)$$

$$pK_a = pH + \lg \frac{A - A_m}{A_1 - A}, \quad (4)$$

где A – оптическая плотность раствора красителя, содержащего обе ионные формы при одной и той же длине волны; A_m и A_1 – оптические плотности при выбранной длине волны, отвечающие полному превращению в одну из крайних ионных форм [12].

Обсуждение результатов

Одной из задач работы было изучение закономерностей сорбции азокрасителей при изменении рН из безалкогольных напитков. Адсорбент γ -оксид алюминия имеет гетерогенную поверхность с активными центрами (бренстедовские кислотные и основные, льюисовские кислотные) [8]. Заряд поверхности адсорбента зависит от рН среды. Число бренстедовских кислотных центров поверхности увеличивается при уменьшении рН, что

способствует росту общего положительного заряда [8, 13, 14]. На сорбцию азокрасителей сильное влияние оказывает изменение рН среды. Азокрасители в растворе при рН 2-4 находятся в анионной форме в виде 2-4-х зарядных ионов (табл. 2). Поскольку поверхность оксида алюминия при рН 2-4 положительно заряжена, то сорбция идет за счет электростатических взаимодействий анионных форм красителей с сорбентом. В щелочной среде на поверхности оксида алюминия [8] увеличивается количество бренстедовских основных активных центров, в результате чего поверхность приобретает отрицательный заряд, поэтому сорбция отрицательно заряженных форм азокрасителей становится затруднительной [15]. При сорбции азокрасителей из растворов с рН 2-4 степень извлечения составляет 92% (табл. 3). Предположительно на степень сорбции влияет степень симметричности молекулы азокрасителя, количество сульфогрупп в молекуле, их расположение в бензольном кольце. Изменение заряда ионных форм красителей приводит к уменьшению степени извлечения азокрасителей (рис. 1). По полученным результатам исследования было определено оптимальное значение рН, равное 2, для твердофазной экстракции азокрасителей из напитков.

После изучения ИК-спектров оксида алюминия, азорубина и оксида алюминия с адсорбированным красителем обнаружено исчезновение характеристических полос красителя после сорбции. Таким образом, вероятный механизм адсорбции состоит из двух стадий: образования адсорбционной связи и электростатического притяжения аниона (рис. 2). Образование адсорбционной связи идет за счет OH^- и сульфогрупп азокрасителей с активными центрами поверхности оксида алюминия ($1329\text{-}1566\text{ см}^{-1}$) [8, 14].

На рис. 3 представлены возможные взаимодействия OH^- -групп с ионами Al^{3+} по механизму комплексообразования и сопряженной π -системы азокрасителей и

Таблица 2. Величины рК функциональных групп азокрасителей
 Table 2. Values of pK of functional groups of azo dyes

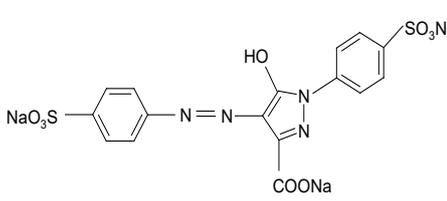
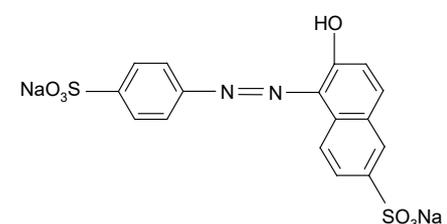
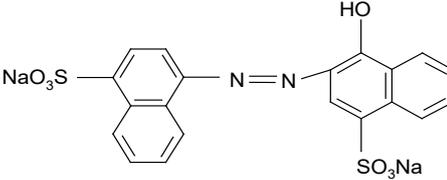
Краситель	Формула	рК	Форма иона
5-Окси-1-(п-сульфо-фенил)-4-[(п-сульфо-фенил)-азо]-пиразол-3-карбоновой кислоты тринатриевая соль; Тартразин; E 102		2.42	Протонирование атома азота азогруппы (H ₂ R ⁻)
		4.42	Переход из двух- в трехзарядный анион
		10.12	Переход из трех- в четырехзарядный анион
2-гидрокси-1-(4-сульфонато-фенилазо)-нафталин-6-сульфонат динатриевая соль; Желтый «Солнечный закат»; E110		2.90	Протонирование атома азота азогруппы (H ₂ R ⁻)
		10.60	Переход из двух- в трехзарядный анион
4-гидрокси-3-(4-сульфо-1-нафтилазо)нафталин-1-сульфонат динатриевая соль; Азорубин; E122		3.88	Протонирование атома азота азогруппы (H ₂ R ⁻)
		8.33	Переход из двух- в трехзарядный анион

Таблица 3. Степени извлечения (R%) и коэффициенты распределения (D) красителей на сорбенте γ-оксиде алюминия

Table 3. Extraction rates (R%) and distribution coefficients (D) of dyes on γ aluminium oxide sorbent

Краситель	рН	R,%	D, дм ³ /г
E102	1.27	97.1	0.048
E110	4.43	86.0	0.009
E122	1.78	92.3	0.017

гидроксильных групп поверхности, а также наиболее вероятный процесс электростатического взаимодействия положительно заряженной поверхности оксида алюминия с анионными формами азокрасителей [8].

Для определения красителей методом ТСХ необходимо подобрать сорбент и элюент таким образом, чтобы добиться наиболее полного разделения азокрасите-

лей. Отсутствие универсальных сорбентов и растворителей связано с близкими величинами R_f азокрасителей, что мешает их количественному определению с высокой степенью точности [16, 17].

Одним из важных этапов работы был подбор элюентов для наилучшего разделения и устранения размывания зон. Наиболее подходящей элюирующей системой стала смесь растворителей бутанол – этилацетат - вода - ледяная уксусная кислота

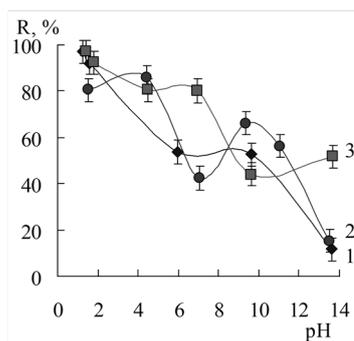


Рис. 1. Зависимость степени извлечения азокрасителей оксидом алюминия от pH: 1 – тартразин E102; 2 – желтый «солнечный закат» E110; 3 – азорубин E122
 Fig. 1. The dependence of the degree of extraction of azo dyes by aluminium oxide on pH: 1 – tartrazine E102; 2 – sunset yellow E110, and 3 – azorubine E122

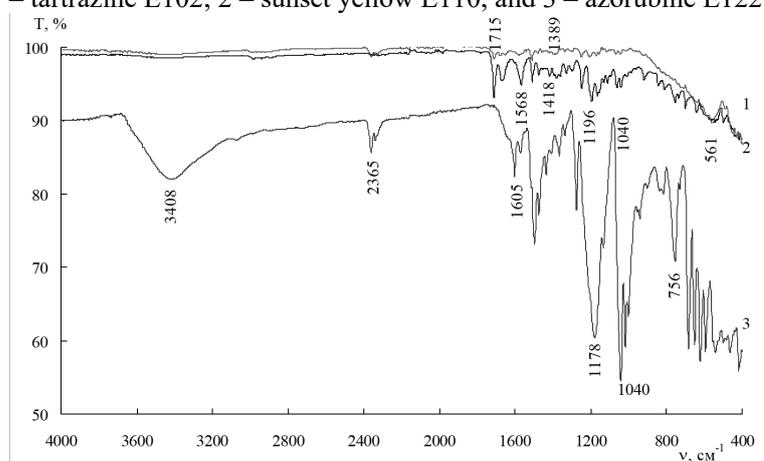


Рис. 2. ИК-спектр красителя азорубина (E122) и оксида алюминия: 1 – оксид алюминия с адсорбированным красителем E 122; 2 – оксид алюминия; 3 – краситель E122
 Fig. 2. IR-spectrum of azorubine dye (E122) and aluminium oxide: 1 – aluminium oxide with adsorbed E 122 dye, 2 – aluminium oxide, 3 – E122 dye

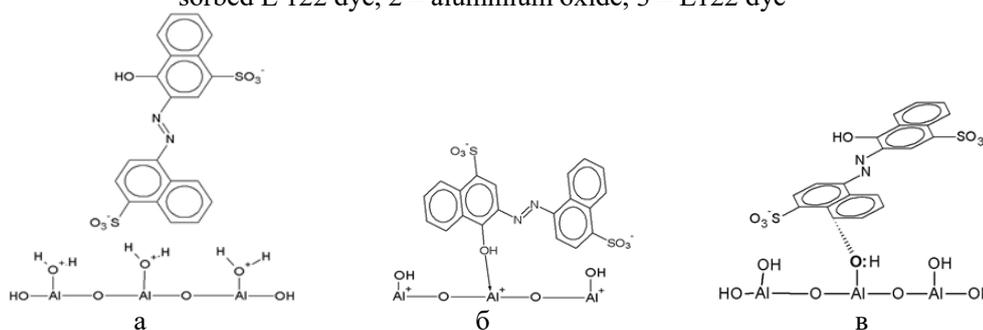


Рис. 3. Схема сорбционных процессов, протекающих на поверхности оксида алюминия на примере азорубина E122: а – электростатические взаимодействия с кислотными центрами поверхности; б – образование координационной связи; в – взаимодействия сопряженной π-системы красителя и гидроксильных групп поверхности

Fig. 3. Scheme of sorption processes occurring on the surface of aluminium oxide based on the example of azorubine E122: a – electrostatic interactions with acidic sites of the surface, б – formation of coordination bond, c – interactions of conjugated π-system of dye with hydroxyl groups of the surface

в соотношении 5:3:3:3 (значение полярности 5.81). Полученные R_f для синтетических красителей представлены в таблице 1.

Результаты определения синтетических красителей в безалкогольных напитках в соответствии с выбранными усло-

Таблица 4. Содержание синтетических красителей в напитках
 Table 4. Synthetic colourings in beverages

Название напитка	Метод определения красителей	Содержание красителя в напитке, С · 10 ⁻² мг/см ³			Кратность превышения
		Е102 (МДУ*= 5 · 10 ⁻² мг/см ³)	Е110 (МДУ*= 1.5 · 10 ⁻² мг/см ³)	Е122 (МДУ*= 1.5 · 10 ⁻² мг/см ³)	
«Фрутомотив» со вкусом вишни	ТСХ	-	-	2.9±0.3	1.9
	СФ	-	-	2.75±0.08	1.8
«Фритти Лайт Тропик»	ТСХ	4.3±0.4	7.5±0.8	-	5.0
	СФ	3.98±0.12	7.64±0.23	-	5.1
«Любимый» апельсин	ТСХ	0.65±0.07	-	-	-
	СФ	0.59±0.02	-	-	-
«Добрый» апельсин	ТСХ	-	0.64±0.06	-	-
	СФ	-	0.52±0.02	-	-

«-» – не обнаружены; * – максимально допустимый уровень

виями хроматографирования представлены в таблице 4.

Содержание красителя в растворе после экстракции определяли спектрофотометрически с использованием градуировочных графиков. Предварительно проводился качественный анализ с применением ТСХ на наличие красителей в напитках. Результаты определения представлены в таблице 4.

В процессе исследования в напитках были обнаружены красители, не заявленные производителем в составе своей продукции: «Фрутомотив» – азорубин Е122, «Любимый» - тартразин Е102, «Добрый» – желтый «Солнечный закат» Е110, «Фритти Лайт Тропик» – желтый «Солнечный закат» Е110, тартразин Е102. Содержание красителей в ряде напитков превышает МДУ (табл. 4).

Заключение

По результатам проведенных испытаний выявлено, что использование твердо-

Список литературы

1. Шаулина Л.П., Корсун Л.Н. Контроль качества и безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья: учеб. пособие. Иркутск. ИГУ. 2011. 111 с.

фазной экстракции азокрасителей оксидом алюминия при рН 2 позволяет селективно извлекать их из водных растворов при полноте сорбции >92%. Преимущественно процесс сорбции реализуется путем электростатического взаимодействия между брэнстедовскими катионными центрами оксида алюминия и анионными формами азокрасителей. Отработанные нами условия хроматографирования и спектрофотометрического определения красителей позволяют проводить измерения с высокой степенью избирательности и чувствительности.

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.

2. Маюрникова Л.А., Куракин М.С. Пищевые и биологически активные добавки: учебное пособие. Кемерово. КТИПШ. 2006. 124 с.

3. Донченко Л.В., Надыкта В.Д. Безопасность пищевого сырья и продуктов



питания. М. Пищевая промышленность. 1999. 352 с.

4. Хальзова С.А., Зяблов А.Н., Селеменов В.Ф. Определение синтетических красителей методом ТСХ // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2014. Т. 14. № 3. С. 544-547.

5. Пищевые добавки и контаминанты / Всемирная организация здравоохранения, Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. М. Весь мир. 2007. 495 с.

6. Санитарные правила и нормы: гигиенические требования по применению пищевых добавок: [нормативное изд.]. М. Омега-Л. 2007. 274 с.

7. ГОСТ Р 54491-2011. Консервы фруктовые. Метод определения наличия хинолиновых, триарилметановых и азокрасителей. М. 2012. 12 с. (Стандарт-информ).

8. Хальзова С.А. Дисс. канд. хим. наук. Воронеж. 2017, 157 с.

9. Хальзова С.А., Зяблов А.Н. Идентификация синтетических красителей E102, E110, E124 в безалкогольных напитках методом ТСХ с применением компьютерной денситометрии // «Теория и практика хроматографии», тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием посвященной памяти профессора М.С. Вигдергауза, 24-30 мая 2015 г. Самара. 2015. С. 114.

10. Сапрыкин Л.В., Сапрыкина Л.В. Методология аналитического применения твердофазной экстракции // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2007. Т. 7. № 3. С. 379-409.

11. WEB страница Плахотного И.Н. Режим доступа: <http://www.garryc2008.narod.ru> (дата обращения: 14.02.2014).

12. Альберт А., Сергент Е. Константы ионизации кислот и оснований: пер. с англ.; под ред. Б.А. Порай-Кошица. М. Химия. 1964. 180 с.

13. Marchese L., Bordiga S., Coluccia S. Structure of the surface sites of – Al₂O₃ as determined by high-Resolution transmission

electron microscopy, computer modeling and infrared spectroscopy of adsorbed CO // *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*. 1993. Vol. 89. P. 3483-3491.

14. Чукин Г.Д. Строение оксида алюминия и катализаторов гидрообессеривания. Механизмы реакций. М. Паладин. ООО «Принта». 2010. 288 с.

15. Лисичкина Г.В. Химия привитых поверхностных соединений. М. ФИЗМАТЛИТ. 2003. 592 с.

16. Морозова Г.Н. Идентификация синтетических пищевых красителей методом ТСХ // *Вопросы питания*. 1977. № 1. С. 85-87.

17. Малахова И.И., Красиков В.Д., Пацовский А.П., Кулев Д.Х. Патент РФ. № 2177150. 2000.

References

1. SHaulina L.P., Korsun L.N. Kontrol' kachestva i bezopasnosti pishchevyh produktov i prodovol'stvennogo syr'ya: ucheb. posobie. Irkutsk. IGU. 2011. 111 p. (In Russ.)

2. Mayurnikova L.A., Kurakin M.S. Pishchevye i biologicheski aktivnyye dobavki: uchebnoe posobie. Kemerovo. KTIPISSHCH. 2006. 124 p. (In Russ.)

3. Donchenko L.V., Nadykta V.D. Bezopasnost' pishchevogo syr'ya i produktov pitaniya. Moskva, Pishhevaya promyshlennost'. 1999. 352 p. (In Russ.)

4. Hal'zova S.A., Zyablov A.N., Selenenev V.F. Opredelenie sinteticheskikh krasitelej metodom TSKH. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*. 2014; 14(3): 544-547. (In Russ.)

5. Pishchevye dobavki i kontaminanty / Vsemirnaya organizaciya zdavoohraneniya, Prodovol'stvennaya i sel'skohozyajstvennaya organizaciya OON. M. Ves' mir. 2007. 495 p. (In Russ.)

6. Sanitarnye pravila i normy: gigenicheskie trebovaniya po primeneniyu pishchevyh dobavok: [normativnoe izd.]. M. Oмега-L. 2007. 274 p. (In Russ.)

7. GOST R 54491-2011. Konservy fruktovye. Metod opredeleniya nalichiya



hinolinovyh, triarilmetanovyh i azo-krasitelej. M. 2012. 12 p. (Standart-inform). (In Russ.)

8. Khal'zova S.A. Diss. kand. him. nauk. Voronezh. 2017. 157 p. (In Russ.)

9. Khal'zova S.A., Zyablov A.N. Identifikatsiya sinteticheskikh krasitelej E102, E110, E124 v bezalkogol'nyh napitkakh metodom TSKH s primeneniem komp'yuternoj densitometrii, "Theory and practice of chromatography", abstracts of reports of the All-Russian conference with international participation dedicated to the memory of Professor M.S. Vigdergauz, May 24-30. 2015. Samara. 2015. P. 114.

10. Saprykin L.V., Saprykina L.V., Metodologiya analiticheskogo primeneniya tverdogaznoj ekstrakcii. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2007; 7(3): 379-409. (In Russ.)

11. WEB stranica Plahotnogo I.N. Available at: <http://www.garyc2008.narod.ru> (accessed 14 February 2014). (In Russ.)

12. Al'bert A., Serzhent E. Konstanty ionizatsii kislot i osnovanij: per. s angl.; pod

red. B.A. Poraj-Koshica. M. Himiya. 1964. 180 p. (In Russ.)

13. Marchese L., Bordiga S., Coluccia S., Structure of the surface sites of $-Al_2O_3$ as determined by high-Resolution transmission electron microscopy, computer modeling and infrared spectroscopy of adsorbed CO. *J. of the Chemical Society, Faraday Transactions*. 1993; 89: 3483-3491. <https://doi.org/10.1039/FT9938903483>

14. Chukin G.D. Stroenie oksida al'yuminiya i katalizatorov gidroobesseri-vaniya. Mekhanizmy reakcij. M. Paladin. OOO «Printa». 2010. 288 p. (In Russ.)

15. Lisichkina G.V. Himiya privityh poverhnostnyh soedinenij. M. FIZMATLIT. 2003. 592 p. (In Russ.)

16. Morozova G.N. Identifikatsiya sinteticheskikh pishchevyh krasitelej metodom TSKH. *J. Nutrition issues*. 1977; 1: 85-87. (In Russ.)

17. Malahova I.I., Krasikov V.D., Pacovskij A.P., Kulev D.H. Patent RF. no 2177150. 2000. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

С.А. Хальзова – инженер по промстокам МУП «Очистные сооружения» БГО ВО; Борисоглебск;

А.Н. Зяблов – д.х.н., профессор кафедры аналитической химии ВГУ; Воронеж, тел. +7(473)220-89-32.

S.A. Khalzova – industrial waste engineer of the Municipal Unitary Enterprise "Treatment facilities" BGO VO; Borisoglebsk, e-mail: ahalzov@mail.ru

A.N. Zyablov – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Analytical Chemistry of VSU; Voronezh.

Статья поступила в редакцию 06.04.2022; одобрена после рецензирования 01.06.2022; принята к публикации 17.06.2022.

The article was submitted 06.04.2022; approved after reviewing 01.06.2022; accepted for publication 17.06.2022.