

**АНАЛИТИЧНАЯ ХИМИЯ**  
**ANALYTICAL CHEMISTRY**УДК 543.422.3:663.052  
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-1-58-66>Поступила в редакцию 20.08.2019  
Received 20.08.2019**Е. М. Плешак<sup>1</sup>, С. М. Лещёв<sup>2</sup>, Е. И. Полянских<sup>1</sup>, Л. Л. Бельшева<sup>1</sup>, М. Ф. Заяц<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Научно-практический центр гигиены, Минск, Беларусь<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь**ЭКСТРАКЦИЯ ПИЩЕВЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ  
ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЖИДКИМ ИОНООБМЕННИКОМ**

**Аннотация.** В современном пищевом производстве достаточно широко распространены синтетические красители (СК). Согласно требованиям Технического регламента Таможенного союза содержание СК нормируется, поэтому необходимы универсальные и экспрессные методы анализа. Основной трудностью при определении их в пищевой продукции является отделение от матричных компонентов, таких как белки, жиры, углеводы, антоцианы. С этой целью изучена экстракция часто используемых пищевых синтетических красителей из водных растворов жидким ионообменником – триоктиламином (ТОА), растворенным в хлороформе и толуоле. Рассчитаны коэффициенты распределения ( $D$ ) и степени извлечения ( $R$ , %) Установлено, что ТОА, растворенный в хлороформе, количественно извлекает СК из водных подкисленных растворов, при этом они могут быть полностью реэкстрагированы при  $pH > 8-9$ .

**Ключевые слова:** синтетические красители, экстракция, жидкий ионообменник, спектрофотометрия, коэффициент распределения, пищевые продукты.

**Для цитирования.** Экстракция пищевых синтетических красителей из водных растворов жидким ионообменником / Е. М. Плешак [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 58–66. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-1-58-66>

**Yekatsiaryna M. Pliashak<sup>1</sup>, Sergey M. Leschev<sup>2</sup>, Alena I. Palianskikh<sup>1</sup>, Liudmila L. Belysheva<sup>1</sup>, Mikhail F. Zayats<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Scientific Practical Center of Hygiene, Minsk, Belarus<sup>2</sup>Belarusian State University, Minsk, Belarus**EXTRACTION OF FOOD SYNTHETIC DYES FROM AQUEOUS SOLUTIONS WITH LIQUID ION EXCHANGER**

**Abstract.** Synthetic dyes (SD) are widely used in modern food industry. According to the requirements of the Customs Union Technical Regulation, the content of SD is standardized, therefore, universal and express methods of analysis are needed. The main difficulty in determining them in food products is the separation from the matrix components such as proteins, fats, carbohydrates, anthocyanins. For this purpose, the extraction of commonly used synthetic food dyes from aqueous solutions using a liquid ion exchanger trioctylamine (TOA), dissolved in chloroform and toluene, was studied. Distribution coefficients ( $D$ ) and recovery rates ( $R$ , %) were calculated. It has been established that TOA quantitatively extracts SD from aqueous acidified solutions, while they can be completely reextracted at  $pH > 8-9$ .

**Keywords:** synthetic dyes, extraction, liquid ion changer, spectrophotometry, distribution coefficient, food products

**For citation.** Pliashak Y. M., Leschev S. M., Palianskikh A. I., Belysheva L. L., Zayats M. F. Extraction of food synthetic dyes from aqueous solutions with liquid ion exchanger. *Vestsi Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series, 2020, vol. no. pp. 58–66 (in Russian).* <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-1-58-66>

**Введение.** Современное производство пищевых продуктов невозможно представить без применения пищевых добавок. К распространенным добавкам можно отнести синтетические красители (СК). Их используют производители, так как в условиях пищевых технологий, включающих различные виды термической обработки (кипячение, стерилизацию, жарение и т. д.), а также при хранении продукты питания часто изменяют свою первоначальную окраску, а иногда приобретают неэстетический внешний вид, что делает их менее гастрономически привлекательными [1]. Известны случаи несоблюдения норм и требований, а также использования красителей для фальсификации пищевых продуктов путем их подкрашивания, не предусмотренного рецептурой и технологией. При этом СК могут негативно влиять на организм человека [2].

Согласно требованиям Технического регламента Таможенного союза в пищевой продукции допускается содержание СК на уровне 50–500 мг/кг. Не допускается использование СК в детском питании, какао-продуктах, макаронных изделиях и др. [3]. Поэтому для эффективного контроля содержания СК необходимы экспрессные и универсальные методы анализа.

Главной трудностью при определении СК является отделение их от матричных компонентов (белки, жиры, сахараиды, антоцианы), содержащихся в соках, винах, кондитерских изделиях, детском питании и т. д. В настоящее время для выделения и концентрирования СК применяют патроны для твердофазной экстракции (ТФЭ) с сорбентом оксидом алюминия [4], с сорбентом полиамидом [5], патроны Диапак-Амин [6], экстракцию в точке помутнения с помощью неионных поверхностно-активных веществ (н-ПАВ) [7], экстракцию гидрофильными растворителями с добавлением высаливателя к раствору красителя [8], извлечение из пищевой матрицы с помощью MeOH:NH<sub>4</sub>OH [9, 10].

Представленные методы выделения СК не являются универсальными, некоторые достаточно сложные в исполнении, включают дорогостоящие расходные материалы. В связи с этим актуальна разработка нового экспрессного метода выделения СК.

Цель работы – изучить экстракцию часто используемых СК жидким ионообменником триоктиламином (ТОА), растворенным в хлороформе и толуоле, для выяснения возможности их селективного извлечения.

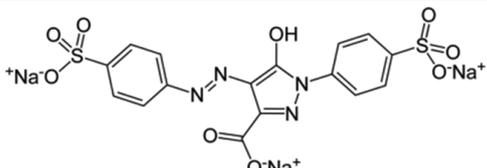
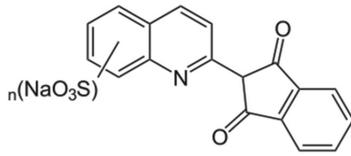
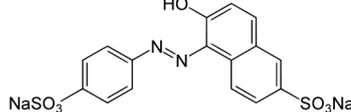
Высокие экстракционные свойства ТОА, малая растворимость в воде являются преимуществами использования его в качестве экстрагента. К достоинствам экстракции можно также отнести простоту метода, быстроту установления равновесия, низкую стоимость используемых реактивов.

**Материалы и методы исследования.** В работе были использованы следующие основные реактивы: Е 102 (тартразин, 85,0 %, AcrosOrganics); Е 104 (желтый хинолиновый, 85,1 %, Chem-ImpexInternational); Е 110 (желтый солнечный закат, 90,0 %, Sigma-Aldrich); Е 122 (азорубин, 90,0 %, Sigma-Aldrich); Е 123 (амарант 85,0 %, Sigma-Aldrich); Е 124 (понсо 4R, 99,0 %, Sigma-Aldrich); Е 128 (красный 2G, 98,0 %, Sigma-Aldrich); Е 129 (красный очаровательный АС, 80,0 %, Sigma-Aldrich); Е 132 (индигокармин, 89,0 %, Sigma-Aldrich); Е 133 (блестящий синий FCF, 86,2 %, Chem-ImpexInternational); Е 142 (зеленый S, 86,5 %, Chem-ImpexInternational); Е 143 (зеленый прочный FCF, 96,0 %, Chem-ImpexInternational); Е 151 (бриллиантовый черный PN, 82,9 %, Chem-ImpexInternational); ТОА (триоктиламин, 98,0 %, Sigma-Aldrich). Формулы исследуемых СК представлены в табл. 1.

Определение оптической плотности растворов осуществлялось с помощью спектрофотометра Cary 50, также использовался рН-метр Orion Star A111, весы аналитические Adventurer OHAUS.

Таблица 1. Структурные формулы исследуемых синтетических красителей

Table 1. Structural formulas of studied synthetic dyes

Название красителя		Формула
Е 102	Тартразин	
Е 104	Желтый хинолиновый	
Е 110	Желтый солнечный закат	

Продолжение табл. 1

Название красителя		Формула
E 122	Азорубин	
E 123	Амарант	
E 124	Понсо 4R	
E 128	Красный 2G	
E 129	Красный очаровательный АС	
E 132	Индигокармин	

Окончание табл. 1

Название красителя		Формула
Е 133	Блестящий синий FCF	
Е 142	Зеленый S	
Е 143	Зеленый прочный FCF	
Е 151	Бриллиантовый черный PN	

Исходные водные растворы ( $10^{-3}$  М) были приготовлены с учетом чистоты красителей, далее путем разбавления исходных растворов буферными получили рабочие растворы ( $10^{-4}$  М). В случае водных растворов со значением pH 1,1 навеску СК сразу растворяли в 0,1 М растворе соляной кислоты ( $10^{-3}$  М), разбавление проводили также с помощью соляной кислоты. Значение pH водных растворов СК варьировалось от 1,1 до 9,8. Использовали цитратные, фосфатные и боратные буферные растворы, готовили их согласно литературным данным [11]. В случае экстракции СК с помощью ТОА, растворенном в толуоле, использовали только рабочие растворы СК со значением pH 2,0. Концентрация экстрагента в хлороформе и толуоле изменялась и соответствовала  $10^{-2}$ ,  $2 \cdot 10^{-3}$  М. Дополнительно проводили эксперимент для красителей Е 128, Е 129, Е 142, где концентрация ТОА в хлороформе была  $5 \cdot 10^{-2}$  М, а pH водных рабочих растворов СК был на уровне 2,0. После приготовления всех рабочих растворов красителей снимали спектры поглощения, определяли максимумы поглощения и исходные значения оптических плотностей ( $A$ ).

К  $5 \text{ см}^3$  рабочего раствора СК добавляли  $5 \text{ см}^3$  экстрагента, растворенного в хлороформе или толуоле. Содержимое пробирок взбалтывали до достижения межфазного равновесия в течение

1–2 мин, после расслаивания системы отбирали водную фазу и измеряли значение оптической плотности. Время экстракции установлено экспериментально. В результате были определены коэффициенты распределения ( $D$ ) и степени извлечения ( $R$ , %). Также проводили экстракцию СК хлороформом или толуолом без участия ТОА.

Коэффициенты распределения и степени извлечения рассчитаны по следующим формулам:

$$D = \frac{[\text{Кр}]_{\text{орг}}}{[\text{Кр}]_{\text{вод}}} = \frac{A_{\text{исх}} - A_{\text{пэ}}}{A_{\text{пэ}}} \cdot \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{о}}}, \quad (1)$$

$$R = \frac{D}{D + \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{о}}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $[\text{Кр}]_{\text{орг}}$  и  $[\text{Кр}]_{\text{вод}}$  – равновесные концентрации красителей в органической и водной фазах соответственно;  $A_{\text{исх}}$  и  $A_{\text{пэ}}$  – значения исходных оптических плотностей красителей и после экстракции соответственно;  $V_{\text{в}}$  и  $V_{\text{о}}$  – объемы равновесных водной и органической фаз, см<sup>3</sup>.

Результат исследований представлен в виде:

$$X_{\text{ср}} \pm S \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

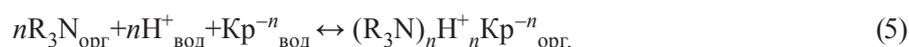
где  $X_{\text{ср}}$  – среднее значение  $D$  или  $R$  трех параллельных определений;  $n$  – число определений, равное трем;  $t_{0,95}$  – коэффициент Стьюдента;  $S$  – выборочное стандартное отклонение, которое рассчитано по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{ср}})^2}{n - 1}}, \quad (4)$$

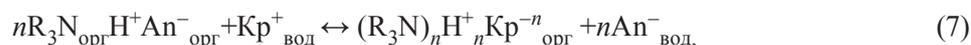
где  $X_i$  и  $X_{\text{ср}}$  –  $i$ -е и среднее значения определения  $D$  или  $R$ .

Процесс экстракции СК можно представить двумя механизмами:

1) формальный



2) наиболее вероятный



где  $n$  – заряд аниона красителя;  $\text{Кр}^{-n}$  – анион красителя;  $\text{An}^-$  – анион кислоты;  $\text{R}_3\text{N}$  – ионообменник.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования показали, что красители не извлекаются из водных растворов ни хлороформом, ни толуолом, поэтому добавка ион-парного реагента (ТОА) позволяет решить эту проблему. Эффективность распределения в системе определяется способностью экстрагента образовывать устойчивые комплексы, в данном случае ионные ассоциаты. Соответственно можно сделать вывод, что с уменьшением содержания ТОА снижаются значения как  $D$ , так и  $R$  красителей, что и было установлено практически при переходе от концентрации экстрагента от  $10^{-2}$  к  $2 \cdot 10^{-3}$  М.

В результате проведенного эксперимента сделан вывод, что хлороформ является более активным, а также более кислым растворителем по сравнению с толуолом и обеспечивает более высокую степень извлечения СК (табл. 2–4).

Таблица 2. Значения коэффициентов распределения и степеней извлечения при pH 2,0 для красителей, содержащих две сульфогруппы (концентрация экстрагента  $10^{-2}$  М), ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )Table 2. Distribution coefficients and extraction degrees at the pH 2.0 for dyes containing two sulfo groups (concentration of extragent  $10^{-2}$  M), ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )

Краситель	Экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ		Экстрагент – ТОА, растворитель – толуол	
	<i>D</i>	<i>R</i> , %	<i>D</i>	<i>R</i> , %
Е 104	78,6±4,8	98,7±0,1	32,0±8,4	97,0±0,8
Е 110	82,9±5,5	98,81±0,1	30,8±3,0	96,9±0,3
Е 122	155,4±12,4	99,36±0,1	5,2±1,9	83,7±5,0
Е 128	10,5±1,8	91,3±1,3	4,1±1,5	80,0±6,1
Е 129	13,5±1,5	93,1±0,7	3,1±1,3	75,4±8,3
Е 132	39,0±2,5	97,5±0,2	10,2±1,0	91,0±0,8
Е 142	8,1±1,4	88,9±1,6	0,11±0,01	9,9±1,1

Все исследуемые трех- и четырехзарядные СК эффективно ( $D > 20$ ,  $R > 98$ ) извлекаются с помощью ТОА, растворенного в хлороформе, из водных растворов (табл. 3–4).

Таблица 3. Значения коэффициентов распределения и степеней извлечения при pH 2,0 для красителей, содержащих три сульфогруппы (концентрация экстрагента  $10^{-2}$  М), ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )Table 3. Distribution coefficients and extraction degrees at the pH 2.0 for dyes containing three sulfo groups (concentration of extragent  $10^{-2}$  M), ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )

Краситель	Экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ		Экстрагент – ТОА, растворитель – толуол	
	<i>D</i>	<i>R</i> , %	<i>D</i>	<i>R</i> , %
Е 102	112,0±10,7	99,1±0,1	28,0±6,5	96,5±0,7
Е 123	69,0±9,0	98,6±0,2	30,1±4,9	96,8±0,5
Е 124	107,7±15,1	99,1±0,1	23,0±1,1	95,7±0,8
Е 133	44,2±9,1	97,8±0,4	12,2±3,7	92,4±2,0
Е 143	40,7±3,6	97,6±0,2	9,2±2,2	90,1±2,2

Таблица 4. Значения коэффициентов распределения и степеней извлечения при pH 2,0 для красителя, содержащего четыре сульфогруппы (концентрация экстрагента  $10^{-2}$  М), ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )Table 4. Distribution coefficients and extraction degrees at the pH 2.0 for dye containing four sulfo groups (concentration of extragent  $10^{-2}$  M), ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )

Краситель	Экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ		Экстрагент – ТОА, растворитель – толуол	
	<i>D</i>	<i>R</i> , %	<i>D</i>	<i>R</i> , %
Е 151	48,9±3,9	98,0±0,2	12,1±2,9	92,3±1,6

В кислой среде ТОА, растворенный в хлороформе, эффективно извлекает СК в органическую фазу. В щелочной среде ТОА практически полностью находится в молекулярной форме и теряет свои анионообменные экстракционные свойства. Такая зависимость экстракционных свойств от pH позволяет извлекать исследуемые красители в кислой среде с последующей реэкстракцией в щелочной среде (на рис. 1–3 эти области отображены как плато). В случае пищевых продуктов мы можем избавиться от мешающего влияния как гидрофильных, так и гидрофобных матричных компонентов (белки, жиры, углеводы, антоцианы).

Из рис. 1–4 видно, что максимальные значения *D* достигаются при  $\text{pH} \leq 2,0$ . В случае увеличения pH значения *D* и *R* уменьшаются, при  $\text{pH} > 8,0$  установлено, что красители практически не извлекаются в органическую фазу, при этом  $D < 0,1$  и  $R < 5\%$ , поэтому СК могут быть количественно реэкстрагированы из органической фазы в водную при  $\text{pH} > 8-9$ .

Эксперимент показал, что эффективнее из СК, содержащих две сульфогруппы (табл. 2), извлекаются с помощью ТОА, растворенного в хлороформе: Е 104, Е 110, Е 122, Е 132 ( $D > 20$ ,  $R > 97\%$ ). Е 110 и Е 122, Е 104 и Е 132 имеют между собой схожие структуры.

Согласно полученным данным, не все СК извлекаются количественно из водных растворов, а именно Е 128, Е 129, Е 142, поэтому было увеличено содержание ТОА в хлороформе и соответствовало  $5 \cdot 10^{-2}$  М. В результате, что и следовало ожидать, значительно увеличились значения как *D*, так и *R* (табл. 5).

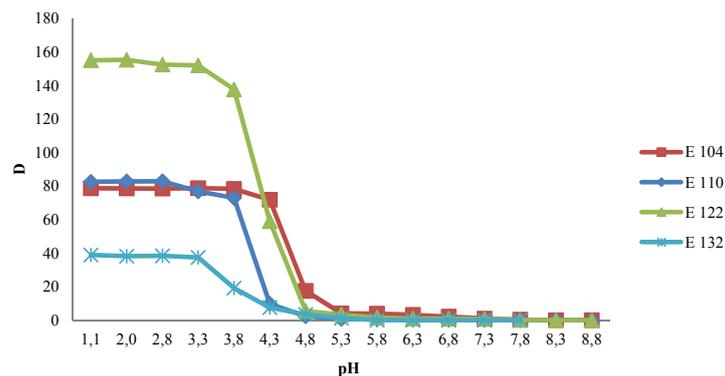


Рис. 1. Зависимость коэффициентов распределения от pH красителей E 104, E 110, E 122, E 132, содержащих две сульфогруппы (экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ, концентрация экстрагента  $10^{-2}$  М, соотношение водная : органическая фазы = 1:1)

Fig. 1. Dependence of distribution coefficients on the pH of dyes E 104, E 110, E 122, E 132 containing two sulfo group in their structure (extragent – TOA, solvent – chloroform, concentration of extragent  $10^{-2}$  M, water phase : organic phase ratio = 1:1)

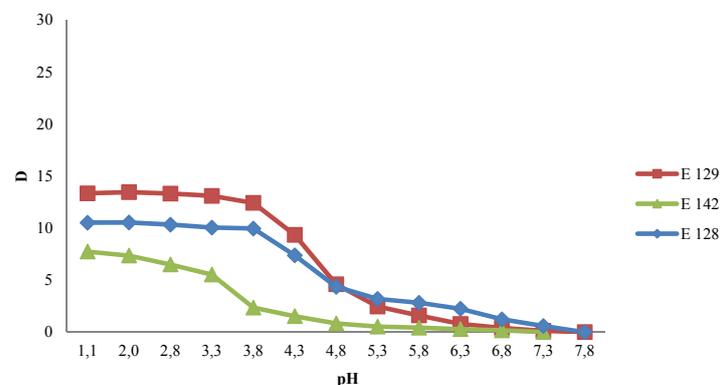


Рис. 2. Зависимость коэффициентов распределения от pH красителей E 128, E 129, E 142, содержащих две сульфогруппы (экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ, концентрация экстрагента  $10^{-2}$  М, соотношение водная : органическая фазы = 1:1)

Fig. 2. Dependence of distribution coefficients on the pH of dyes E 128, E 129, E 142 containing two sulfo group in their structure (extragent – TOA, solvent – chloroform, concentration of extragent  $10^{-2}$  M, water phase : organic phase ratio = 1:1)

Таблица 5. Значения коэффициентов распределения и степеней извлечения при pH 2,0 для красителей E 128, E 129, E 142 (концентрация экстрагента  $5 \cdot 10^{-2}$  М), ( $n = 3$ ,  $P = 0,95$ )

Table 5. Distribution coefficients and extraction degrees at the pH 2.0 for dyes E 128, E 129, E 142 (concentration of extragent  $5 \cdot 10^{-2}$  M), ( $n = 3$ ,  $P = 0.95$ )

Краситель	Экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ	
	<i>D</i>	<i>R</i> , %
E 128	78,1±13,5	98,7±0,2
E 129	84,1±8,2	98,8±0,1
E 142	113,7±14,8	99,1±0,1

В связи с полученными экспериментальными данными можно предложить алгоритм методики определения СК в пищевых продуктах: отобрать навеску образца, но в случае сухих продуктов, растворить в воде; провести экстракцию с помощью хлороформа для удаления возможных гидрофобных соединений, а именно липиды, высшие карбоновые кислоты; подкислить водную фазу до  $\text{pH} \leq 2,0$ ; провести экстракцию СК с помощью ТОА, растворенного в хлороформе, тем самым удаляются сахараиды, белки, антоцианы; реэкстрагировать СК в водную фазу при  $\text{pH} > 9,0$ . Далее провести количественное определение СК с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с диодно-матричным детектированием.

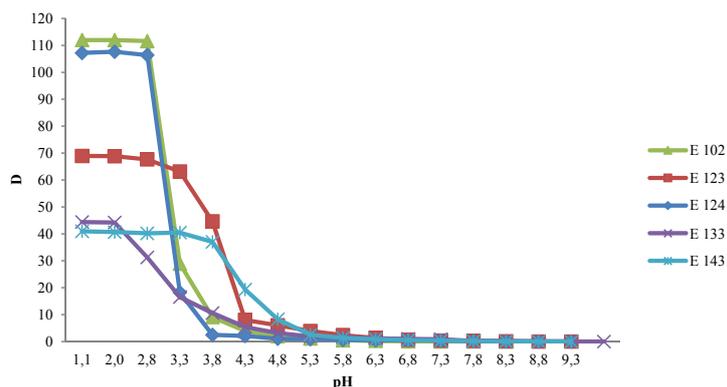


Рис. 3. Зависимость коэффициентов распределения от pH красителей E 102, E 123, E 124, E 133, E 143, содержащих три сульфогруппы (экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ, концентрация экстрагента  $10^{-2}$  М, соотношение водная : органическая фазы = 1:1)

Fig. 3. Dependence of distribution coefficients on the pH of dyes E 102, E 123, E 124, E 133, E 143 containing three sulfo group in their structure (extragent – TOA, solvent – chloroform, concentration of extragent  $10^{-2}$  M, water phase : organic phase ratio = 1:1)

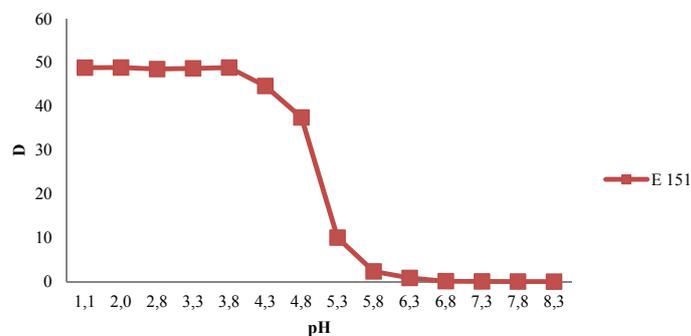


Рис. 4. Зависимость коэффициентов распределения от pH красителя E 151, содержащего четыре сульфогруппы (экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ, концентрация экстрагента  $10^{-2}$  М, соотношение водная : органическая фазы = 1:1)

Fig. 4. Dependence of distribution coefficients on the pH of dye E 151 containing four sulfo group in their structure (extragent – TOA, solvent – chloroform, concentration of extragent  $10^{-2}$  M, water phase : organic phase ratio = 1:1)

**Выводы.** Найдено, что хлороформный раствор ТОА эффективно извлекает из водных подкисленных растворов 13 синтетических красителей, при этом коэффициенты распределения более 20, степени извлечения более 97 %. Возможно проведение последующей рекстракции в щелочной среде. В результате двух стадий произойдет одновременное удаление как гидрофильных, так и гидрофобных матричных компонентов пищевых продуктов.

### Список использованной литературы

1. Мурсалова, М. Г. Пищевые красители / М. Г. Мурсалова, С. З. Саидалиева // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов : материалы V Всерос. науч. конф., Махачкала, 27 окт. 2015-28 окт. 2016 г. / ФГБОУ ВО «Дагестанский гос. технол. ун-т» [и др.] ; редкол.: Т. А. Исмаилов (гл. ред.) [и др.]. – Махачкала, 2016. – С. 177.
2. Шаулина, Л. П. Контроль качества и безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья : учеб. пособие / Л. П. Шаулина, Л. Н. Корсун. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. – 111 с.
3. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств : ТР ТС 029/2012 : принят 20.07.2012 : вступ. в силу 01.07.2013 / Евраз. экон. комис. – Минск : Экономэнерго, 2012. – 308 с.
4. Продукты пищевые. Методы идентификации и определения массовой доли синтетических красителей в карамели : ГОСТ 32050-2013. – Введ. 01.01.14. – М. : Стандартинформ, 2014. – 24 с.
5. Identification and determination of 34 water-soluble synthetic dyes in foodstuff by high performance liquid chromatography-diode array detection-ion trap time-of-flight tandem mass spectrometry / X. Q. Li [et al.] // Food chemistry. – 2015. – Vol. 182. – P. 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.019>
6. Чибисова, М. В. Определение синтетических красителей в пищевых продуктах методами тонкослойной хроматографии, УФ- и ИК-спектроскопии / М. В. Чибисова, В. Г. Березкин // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2011. – Т. 11, № 2. – С. 219–228.

7. Определение содержания синтетических красителей в продуктах питания / Н. Б. Шестопалова [и др.] // Экологические проблемы промышленных городов : сб. науч. тр. по материалам 6-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Саратов, 10–12 апр. 2013 г. : в 2 ч. / Саратов. гос. ун-т ; под ред. Е. И. Тихомировой. – Саратов, 2013. – Ч. 1. – С. 314–315.
8. Коренман, И. Я. Извлечение моноазокрасителей гидрофильными экстрагентами из водных сред / И. Я. Коренман, П. Т. Суханов, Н. Ю. Санникова // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 3. – С. 115–117.
9. Simultaneous determination of synthetic colorants in yogurt by HPLC / W. Bento [et al.] // Food Chemistry. – 2015. – Vol. 183. – P. 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.050>
10. Методика контроля содержания синтетических красителей в пищевой продукции / Е. И. Полянских [и др.] // Хим. Безопасность. – 2019. – Т. 3, № 1 (5). – С. 166–181.
11. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1971. – 456 с.

## References

1. Mursalova M.G., Saidalieva S. Z. Pishchevye krasiteli [Food dyes] *Povyshenie kachestva i bezopasnosti pishchevykh produktov : materialy V Vseros. nauch. konf., Makhachkala, 27 okt. 2015–28 okt. 2016 g.* [Improving food quality and safety. Materials of the V All-Russian Scientific Conference]. Makhachkala, 2016, p. 177 (in Russian).
2. Shaulina L. P., Korsun L. N. *Quality control and food safety of food raw materials*. Irkutsk, ISU Publ., 2011. 111 p. (in Russian).
3. TR TS 029/2012. *Safety requirements of food additives, flavorings and processing aids*. Minsk, Ekonomenergo Publ., 2012. 308 p. (in Russian).
4. State Standart 32050-2013. *Food products. Methods of identification and determination of the mass fraction of synthetic dyes in caramel*. Moscow, Standartinform, 2014. 24 p. (in Russian).
5. Li X. Q., Zhang Q. H., Ma K., Li H. M., Guo Z. Identification and determination of 34 water-soluble synthetic dyes in foodstuff by high performance liquid chromatography–diode array detection–ion trap time-of-flight tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, 2015, vol. 182, pp. 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.019.6>
6. Chibisova M. V., Berezkin V. G. Definition of synthetic dyes in food by thin-layer chromatography, UV- and IR-spectroscopy. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie processy = Sorption and Chromatographic Processes*, 2011, vol. 11, no 2, pp. 219–228 (in Russian).
7. Shestopalova N. B., Chernova R. K., Zhukova D. V., Tokareva M. E. Determination of synthetic dyes in food. *Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov : sb. nauch. tr. po materialam 6-i Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Ch. 1* [Environmental problems of industrial cities: 6th all-Russian scientific and practical conference with international participation. Part. 1]. Saratov, 2013, pp. 314–315 (in Russian).
8. Korenman Y. I., Sukhanov P. T., Sannikova N. Y. Extraction of monoazo dyes by hydrophilic extractants from aqueous solutions. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2012, no. 3, pp. 115–117 (in Russian).
9. Bento W., Lima B. P., Paim A. P. S. Simultaneous determination of synthetic colorants in yogurt by HPLC. *Food Chemistry*, 2015, vol. 183, pp. 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.050>
10. Palianskikh A. I., Belyshava L. L., Fiodarava T. A., Filatchankava E. V., Pliashak Y. M. Control procedure for synthetic dyes content in food products. *Khimicheskaya bezopasnost' = Chemical Safety Science*, 2019, vol. 3, no 1 (5), pp. 166–181 (in Russian).
11. Lurie Yu.Yu. *Handbook of analytical chemistry*. Moscow, Khimiya Publ., 1971. 456 p. (in Russian).

## Информация об авторах

*Плешак Екатерина Михайловна* – соискатель кафедры аналитической химии БГУ (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь); мл. науч. сотрудник. Научно-практический центр гигиены (ул. Академическая, 8, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [epleshak@mail.ru](mailto:epleshak@mail.ru)

*Лещёв Сергей Михайлович* – д-р. хим. наук, профессор. Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [leschev.sergey54@gmail.com](mailto:leschev.sergey54@gmail.com)

*Полянских Елена Ильинична* – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник. Научно-практический центр гигиены (ул. Академическая, 8, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [alena.ip@mail.ru](mailto:alena.ip@mail.ru)

*Бельшева Людмила Леонидовна* – зав. лаб. Научно-практический центр гигиены (ул. Академическая, 8, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [lbelysheva@gmail.com](mailto:lbelysheva@gmail.com)

*Заяц Михаил Федорович* – канд. хим. наук, зав. кафедрой. Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [mikhail\\_zayats@tut.by](mailto:mikhail_zayats@tut.by)

## Information about the authors

*Yekatsiaryna M. Pliashak* – doctoral student at the Department of analytical chemistry of Belarusian State University (Leningradskaya str., 14, 220030, Minsk, Republic of Belarus), Junior Researcher. Scientific Practical Center of Hygiene (8, Akademicheskaya Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [epleshak@mail.ru](mailto:epleshak@mail.ru)

*Sergey M. Leshev* – D. Sc. (Chemistry), Professor. Belarusian State University (14, Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [leschev.sergey54@gmail.com](mailto:leschev.sergey54@gmail.com)

*Alena I. Palianskikh* – Ph. D. (Chemistry), Senior Researcher. Scientific Practical Center of Hygiene (8, Akademicheskaya Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [alena.ip@mail.ru](mailto:alena.ip@mail.ru)

*Liudmila L. Belusheva* – Head of the Laboratory. Scientific Practical Center of Hygiene (8, Akademicheskaya Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [lbelysheva@gmail.com](mailto:lbelysheva@gmail.com)

*Mikhail F. Zayats* – Ph. D. (Chemistry), Head of the Department. Belarusian State University (14, Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [mikhail\\_zayats@tut.by](mailto:mikhail_zayats@tut.by)