

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Объект авторского права  
УДК 543.054: 542.61: 543.062

**ПЛЕШАК**  
**Екатерина Михайловна**

**ЭКСТРАКЦИОННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ  
СИНТЕТИЧЕСКИХ ПИЩЕВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ  
ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ РАЗЛИЧНОГО МАТРИЧНОГО  
СОСТАВА С ИХ ПОСЛЕДУЮЩИМ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ И  
ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата химических наук  
по специальности 02.00.02 – аналитическая химия

Минск, 2025

Работа выполнена в Белорусском государственном университете и в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены»

Научный руководитель – **Лещев Сергей Михайлович**,  
доктор химических наук, профессор,  
профессор кафедры аналитической химии  
Белорусского государственного университета.

Официальные оппоненты: **Косандрович Евгений Генрихович**,  
доктор химических наук, доцент,  
главный технолог ООО «Экохимпром»;

**Агабалаев Александр Андреевич**,  
кандидат химических наук,  
заместитель заведующего лаборатории  
фармакопейного и фармацевтического анализа  
республиканского унитарного  
предприятия «Центр экспертиз и испытаний в  
здравоохранении».

Оппонирующая организация – Учреждение образования  
«Белорусский государственный  
технологический университет»

Защита состоится 8 апреля 2025 г. в 10.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.09 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8 (корпус юридического факультета), ауд. 407.

Телефон ученого секретаря +375 17 209-57-09, e-mail: LoginoNV@bsu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан « 06 » марта 2025 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций,  
доктор химических наук, профессор

Н.В.Логинова

## ВВЕДЕНИЕ

Современное производство пищевых продуктов невозможно представить без применения синтетических красителей (далее – СК). В Республике Беларусь согласно требованиям Технического регламента Таможенного союза в пищевых продуктах допускается содержание СК на уровне 50 – 500 мг/кг в зависимости от вида продукции и СК. Не допускается использование СК в детском питании, какао-продуктах, макаронных изделиях и др. Известны случаи несоблюдения норм, а также использования красителей для фальсификации. Это приводит к проблемам как экономического характера, связанным с реализацией большого объема пищевых продуктов, так и к проблемам продовольственной безопасности. Поэтому необходимы простые, высокочувствительные, универсальные и экспрессные методики совместного определения СК в пищевых продуктах различного матричного состава.

Самыми распространенными методами определения красителей в смеси являются хроматографические методы анализа, но они являются дорогостоящими. Спектрофотометрические методы являются простыми и недорогими, однако уступают хроматографическим по селективности определения. Вместе с тем, если природа красителя известна, они имеют явное преимущество перед хроматографическими по простоте и экспрессности определения. Относительно недорогими являются электрохимические методы, но эффективность их представляется недостаточной. С помощью капиллярного электрофореза возможен анализ смеси, но он отличается длительностью пробоподготовки и анализа, а также низкой чувствительностью.

Важной стадией процедуры определения является пробоподготовка. Чаще всего используют сорбционное концентрирование, экстракцию растворителями. Недостатком сорбционного концентрирования является трудоемкость проведения процесса десорбции, дороговизна сорбента. Экстракция является удобной, быстрой, эффективной, но ее применение для определения СК носит отрывочный характер. Систематическое изучение анионообменной экстракции СК не проводилось. Для успешного применения экстракции при пробоподготовке необходимо знать закономерности экстракции определяемых веществ.

Таким образом, получение систематизированных данных по экстракции СК различными органическими растворителями, а также растворами жидких анионообменников представляет интерес не только в научном плане, но и практическом, так как полученные сведения откроют новые возможности выделения и концентрирования СК из различных объектов. В свою очередь, разработка простых и универсальных методик одновременного определения СК позволит проводить мониторинговые исследования их содержания в пищевых продуктах различного матричного состава.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами и темами.** Работа над диссертацией проводилась в рамках инновационного проекта «Разработать и внедрить методики и государственные стандарты Республики Беларусь определения пищевых добавок синтетических красителей, холина в продуктах питания» (№ государственной регистрации: 20160009 от 18.01.2016).

**Цель и задачи исследования.** *Целью исследования* является разработка на основе систематического изучения экстракции синтетических кислотных красителей экстракционно-хроматографических и экстракционно-фотометрических методик их определения, предусматривающих предварительное концентрирование и очистку аналитов от матричных компонентов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие *задачи* научного и прикладного характера:

– установить закономерности экстракции синтетических красителей из водных растворов органическими растворителями, такими как хлороформ, толуол и изоамиловый спирт, а также растворами жидких анионообменников в них, и рассчитать коэффициенты распределения красителей;

– определить влияние на экстракцию красителей природы растворителя, концентрации и природы жидкого анионообменника, строения молекул экстрагируемых соединений;

– на основе данных по коэффициентам распределения красителей и их зависимостей от вышеуказанных факторов разработать экстракционно-фотометрические методики качественного и количественного определения синтетических красителей в пищевых продуктах с использованием жидких анионообменников;

– разработать оптимальные условия анализа для совместного экстракционно-хроматографического количественного определения 17 синтетических красителей в пищевых продуктах различного матричного состава.

В соответствии с поставленными задачами *объектами исследования* стали 17 наиболее часто используемых синтетических красителей, контролируемых в пищевых продуктах: Е 102 (тартразин), Е 104 (желтый хинолиновый), Е 110 (желтый солнечный закат), Е 121 (цитрусовый красный), Е 122 (азорубин), Е 123 (амарант), Е 124 (понсо 4R), Е 127 (эритрозин), Е 128 (красный 2G), Е 129 (красный очаровательный АС), Е 131 (синий патентованный V), Е 132 (индигокармин), Е 133 (блестящий синий FCF), Е 142 (зеленый S), Е 143 (зеленый прочный FCF), Е 151 (бриллиантовый черный PN), Е 155 (коричневый НТ). Также использовали пищевые продукты: соки, вина, напитки, крема, детское питание, кондитерские изделия, мясные продукты и прочее.

*Предмет исследования* – экстракция синтетических красителей в системах органический растворитель – вода, раствор жидкого анионообменника – вода, а также разработка методик экстракционной пробоподготовки для разделения, концентрирования и выделения из пищевых матриц синтетических красителей при их определении. В качестве растворов жидких анионообменников использованы растворы триоктиламина (ТОА) и триоктилметиламмоний хлорида (ТОМАХ).

**Научная новизна:**

Впервые определены коэффициенты распределения синтетических кислотных красителей различных классов (азосоединения, хинолиновые, ксантеновые, индигоидные, триарилметановые соединения) в экстракционных системах типа органический растворитель и растворы жидких анионообменников в органических растворителях – вода и оценены константы обмена анионов красителей на стандартный хлорид-ион.

Установлены и интерпретированы зависимости коэффициентов распределения красителей от природы фаз экстракционных систем, концентрации и природы анионообменника, а также рН водной фазы.

На основании полученных данных по величинам коэффициентов распределения красителей и их зависимостям от вышеуказанных факторов разработаны новые, эффективные экстракционные методики выделения, концентрирования и последующего фотометрического определения красителей в жидких пищевых продуктах с использованием растворов жидких анионообменников.

Впервые разработана селективная и высокочувствительная методика определения запрещенного красителя эритрозина в присутствии других синтетических красителей и антоцианов, а также больших количеств матричных компонентов, таких как каротиноиды, жиры, белки, углеводы и т.д.

Разработана новая методика совместного определения 17 синтетических кислотных красителей в пищевых продуктах различного матричного состава методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Данные по коэффициентам распределения красителей и степеням извлечения их для экстракционных систем толуол, хлороформ, изоамиловый спирт и растворы жидких анионообменников в них – вода. Зависимости коэффициентов распределения от природы органического растворителя, природы и концентрации анионообменника, а также от рН водной фазы, и выбор на их основе оптимальных условий концентрирования и выделения исследуемых аналитов из водных растворов.

2. Разработанные на основе полученных коэффициентов распределения селективные и высокочувствительные методики определения красителей в жидких пищевых продуктах с использованием хлороформных растворов

анионообменников ТОМАХ и ТОА, предусматривающие предварительное удаление гидрофобных и гидрофильных матричных компонентов.

3. Высококчувствительная экстракционно-фотометрическая методика определения запрещенного красителя эритрозина, основанная на его глубокой экстракционной очистке от других красителей и матричных компонентов, характеризующаяся пределом количественного определения от 0,05 до 0,13 мг/кг.

4. Разработанная и аттестованная методика совместного определения 17 синтетических красителей в пищевых продуктах различного матричного состава методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием экстракционной пробоподготовки, характеризующаяся расширенной неопределенностью не более 23 % и пределом количественного определения от 1,0 до 10,0 мг/кг в зависимости от вида красителя.

**Личный вклад соискателя.** Получение экспериментальных данных с использованием методов фотометрии и высокоэффективной жидкостной хроматографии выполнено лично автором. Вклад авторов совместных публикаций по теме диссертационной работы заключается в обсуждении условий постановки эксперимента и результатов исследования. Научным руководителем (д.х.н., профессор Лещев С. М.) оказывалась консультативная помощь в выборе методологии исследования, планировании эксперимента и интерпретации некоторых результатов, а также при подготовке материалов к опубликованию.

**Апробация диссертации.** Результаты диссертационной работы были представлены на следующих международных научных и научно-практических конференциях, республиканских семинарах: «Аналитика РБ – 2018» (Минск, 2018), «Здоровье и окружающая среда» (Минск, 2018, 2019, 2023), «Всероссийская конференция молодых ученых-химиков» (Нижний Новгород, 2019), 2<sup>nd</sup> Food Conference (Севилья, 2019), «Основы здорового питания и пути профилактики алиментарно-зависимых заболеваний» (Москва, 2019), научная сессия Белорусского государственного медицинского университета (Минск, 2019), «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности» (Казань, 2020), «Ломоносов – 2020» (Москва, 2020), «Молодежь в науке» (Минск, 2020), «Химия и химическая технология в XXI веке» (Томск, 2023), 3<sup>rd</sup> Food Chemistry Conference (Дрезден, 2023).

**Опубликованность результатов диссертации.** Основные результаты диссертационной работы отражены в 17 научных публикациях, включающих 4 статьи в рецензируемых научных журналах, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий (3,3 авт. л.); 6 публикаций в сборниках материалов научных конференций; 4 тезисов докладов и 3 патента.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из перечня сокращений и обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения. Полный объем диссертации составляет 138 страниц, в том числе 23 таблицы, 24 рисунка, 12 формул, 7 приложений на 71 страницах. Список использованных источников состоит из 121 наименования на 12 страницах, включая 17 публикаций соискателя на 3 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**Первая глава** содержит информацию об основных тенденциях определения СК в пищевых продуктах. Особое внимание уделено рассмотрению хроматографических и фотометрических методов, которые являются предпочтительными при определении СК. Для пробоподготовки экстракция является перспективным способом выделения, концентрирования и последующего определения веществ кислотной природы, однако процессы экстракции с участием СК носят отрывочный характер.

Во **второй главе** охарактеризованы возможности использованного оборудования и экспериментальные методы определения экстракционных параметров изучаемых соединений, описаны методы расчета коэффициентов распределения, степеней извлечения и констант обмена указанных веществ.

В **третьей главе** проверено, экстрагируются ли исследуемые соединения изоамиловым спиртом, хлороформом, толуолом. Найдено, что изоамиловый спирт и хлороформ плохо извлекают СК из водных растворов ( $pH = 6$ ). Изоамиловый спирт может частично извлекать Е 104, коэффициент распределения ( $D$ ) – 1, а также Е 127 ( $D = 250$ ). Коэффициенты распределения других СК не превышают 0,1. Е 127 эффективно извлекается в виде ионного ассоциата с натрием вследствие его однозарядности и высокой гидрофобности. Очевидно, что для хлороформа и толуола величины  $D$  будут еще намного меньше.

Известно, что при  $pH = 2$  Е 127 находится в молекулярной форме в соответствии с величиной  $pK$ , равной 3,6. Другие СК при этом значении  $pH$  ионизированы, так как содержат в своем составе сульфогруппы, отсюда вытекает принципиальная возможность отделения эритрозина от других красителей. Обнаружено, что константа распределения эритрозина между хлороформом и водой составляет 15, что открывает возможность полного экстракционного извлечения эритрозина при соотношении объемов фаз хлороформ – вода равном 1,5 : 1, при этом хлороформ извлекает более 95 % эритрозина, или при двукратной экстракции при соотношении объемов фаз хлороформ – вода равном 1 : 3.

Что касается экстракционно-фотометрического определения СК в диссертации установлено следующее: усилить экстракцию СК из водных

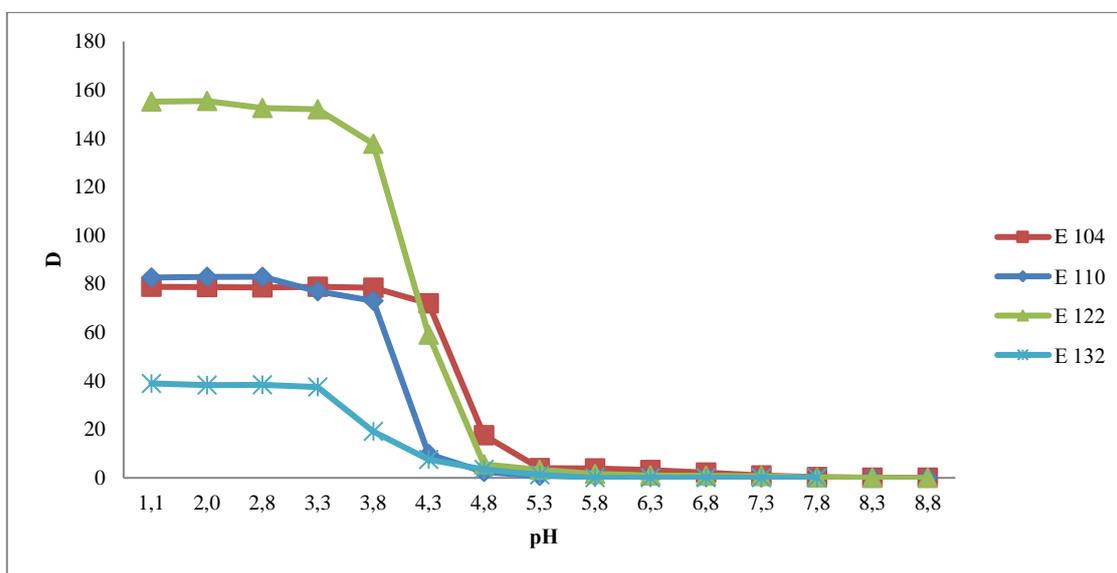
растворов возможно с использованием растворов жидких анионообменников ТОА и ТОМАХ. На примере некоторых красителей в таблице 1 показано, что исследуемые соединения в заметной степени извлекаются толуольным раствором ТОМАХ, однако в большинстве случаев эффективность извлечения недостаточна ( $D < 20$ ). При этом наблюдается существенное дифференцирование коэффициентов распределения. С другой стороны, зависимость роста величин  $D$  от концентрации ТОМАХ в большинстве случаев незначительна, что объясняется эффектом молекулярной ассоциации ТОМАХ с ростом его концентрации в толуоле. Поэтому в качестве растворителя ТОМАХ был применен более активный и летучий растворитель – хлороформ.

Таблица 1 – Коэффициенты распределения и степени извлечения красителей в системе толуольный/хлороформный раствор ТОМАХ – вода при соотношении объемов фаз 1 : 1 (исходная концентрация красителей  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л)

Краситель	Концентрация ТОМАХ, моль/л	Толуольный раствор ТОМАХ – вода		Хлороформный раствор ТОМАХ – вода	
		$D$	$R, \%$	$D$	$R, \%$
Красители, содержащие в молекуле две сульфогруппы					
Е 104	$5 \cdot 10^{-3}$	$110 \pm 11$	99	$140 \pm 13$	99
	$2 \cdot 10^{-3}$	$10 \pm 2$	91	$84 \pm 10$	99
Е 110	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \pm 2$	88	$98 \pm 12$	99
	$2 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \pm 0,4$	86	$44 \pm 7$	98
Е 122	$5 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \pm 0,1$	69	$120 \pm 30$	99
	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \pm 0,1$	68	$10 \pm 2$	91
Е 128	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \pm 1$	88	$130 \pm 2$	99
Е 129	$5 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \pm 0,3$	69	$130 \pm 3$	99
	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \pm 0,3$	67	$14 \pm 3$	93
Е 131	$5 \cdot 10^{-3}$	$20 \pm 3$	95	$130 \pm 28$	93
	$2 \cdot 10^{-3}$	$12 \pm 1$	92	$83 \pm 13$	99
Красители, содержащие в молекуле три сульфогруппы					
Е 102	$5 \cdot 10^{-3}$	$110 \pm 9$	99	$12 \pm 3$	92
	$2 \cdot 10^{-3}$	$32 \pm 3$	97	$1,5 \pm 0,3$	59
Е 123	$5 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \pm 0,4$	76	$92 \pm 3$	99
	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \pm 0,2$	73	$44 \pm 7$	98
Е 124	$5 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \pm 0,4$	63	$94 \pm 8$	99
	$2 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \pm 0,2$	43	$42 \pm 13$	98
Е 133	$1 \cdot 10^{-2}$	$12 \pm 1$	93	$86 \pm 3$	99
	$5 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \pm 0,3$	90	$68 \pm 2$	99
	$2 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \pm 0,3$	82	$28,0 \pm 0,4$	97

Сравнительный анализ показал, что хлороформные растворы ТОМАХ, за редкими исключениями (например, Е 102), эффективнее обменивают хлорид-ион на анионы красителей, чем толуольные растворы. При этом хлороформ является нивелирующим ионообменное средство растворителем. Большинство СК эффективно извлекаются хлороформным раствором ТОМАХ с концентрацией  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л ( $D > 90$ ,  $R > 99$  %). При концентрации  $10^{-2}$  моль/л происходит практически полное извлечение всех СК, при этом наименьшие значения  $D$  и  $R$  наблюдаются для красителя Е 102. При увеличении концентрации ТОМАХ можно достигать больших значений  $D$  и  $R$ , а также многократного концентрирования определяемых соединений.

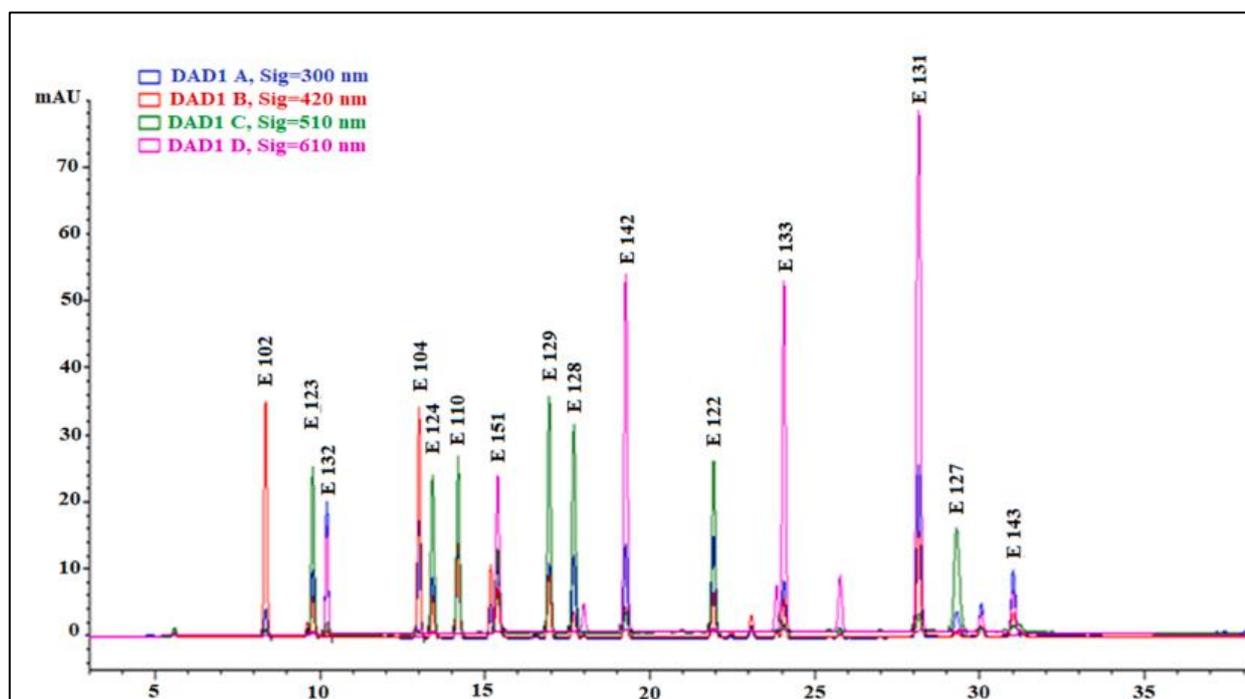
Очевидно, что в кислой среде ТОА, растворенный в хлороформе, может протонироваться и эффективно извлекать анионы СК в органическую фазу. В щелочной среде ТОА практически полностью находится в молекулярной форме и теряет свои анионообменные экстракционные свойства. Такая зависимость экстракционных свойств от рН позволяет извлекать исследуемые красители в кислой среде с последующей реэкстракцией в щелочной среде (эти области отображены как плато на рисунке 1). В случае пищевых продуктов имеется возможность избавиться от мешающего влияния как гидрофильных, так и гидрофобных матричных компонентов (жиры, каротиноиды, углеводы, белки, антоцианы).



**Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов распределения красителей Е 104, Е 110, Е 122, Е 132, содержащих в молекуле две сульфогруппы, от рН (экстрагент – ТОА, растворитель – хлороформ, концентрация экстрагента  $10^{-2}$  моль/л, концентрация красителей  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л, соотношение объемов водная фаза : органическая фаза = 1 : 1)**

Установлено, что максимальные значения  $D$  достигаются при  $pH \leq 2,0$ . В случае увеличения  $pH$  значения  $D$  и  $R$  уменьшаются. При  $pH > 8,0$  красители практически не извлекаются в органическую фазу ( $D < 0,1$ ,  $R < 5\%$ ), поэтому СК могут быть количественно реэкстрагированы в водную фазу. Согласно экспериментальным данным, представленным в диссертации, хлороформ является более активным растворителем по сравнению с толуолом и обеспечивает более высокую степень извлечения СК, аналогично с ТОМАХ, растворенным в хлороформе.

Для экстракционно-хроматографического определения СК в работе разработаны условия пробоподготовки и параметры хроматографирования. В результате разделение проводили на обращенно-фазовой колонке  $C_{18}$  ( $150 \times 4,6$  мм,  $5,0$  мкм, Zorbax XDB, Agilent Technologies) в режиме градиентного элюирования. Подвижная фаза выглядела следующим образом: А –  $1,3\%$  раствор ацетата аммония, Б – метанол : ацетонитрил ( $80 : 20$  об. / об.). Скорость потока составляла  $1,2$  мл/мин. Идентификацию синтетических красителей проводили при их максимальном поглощении:  $420$  нм (Е 102, Е 104),  $510$  нм (Е 110, Е 122, Е 123, Е 124, Е 127, Е 128, Е 129),  $610$  нм (Е 131, Е 132, Е 133, Е 142, Е 151) и  $300$  нм (Е 143). Хроматограмма смеси 15 СК представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Хроматограмма стандартного раствора смеси 15 синтетических красителей концентрацией  $5,0$  мкг/мл каждого**

Изучено влияние состава экстракционной смеси на извлечение СК из высокобелковых пищевых продуктов. Для этого в консервы мясные для детского питания, не содержащие СК, была внесена группа красных пищевых красителей: Е 121, Е 122, Е 123, Е 124, Е 127, Е 128, Е 129 в количестве  $12,5$  мг/кг каждого. В

качестве экстрагентов использована вода, водный раствор аммиака, водно-метанольный раствор аммиака с различным соотношением органической и водной фаз, водно-этанольный раствор аммиака. Результаты после двойной экстракции представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость степени извлечения синтетических красителей из консервов мясных для детского питания от состава экстрагента (n = 3)

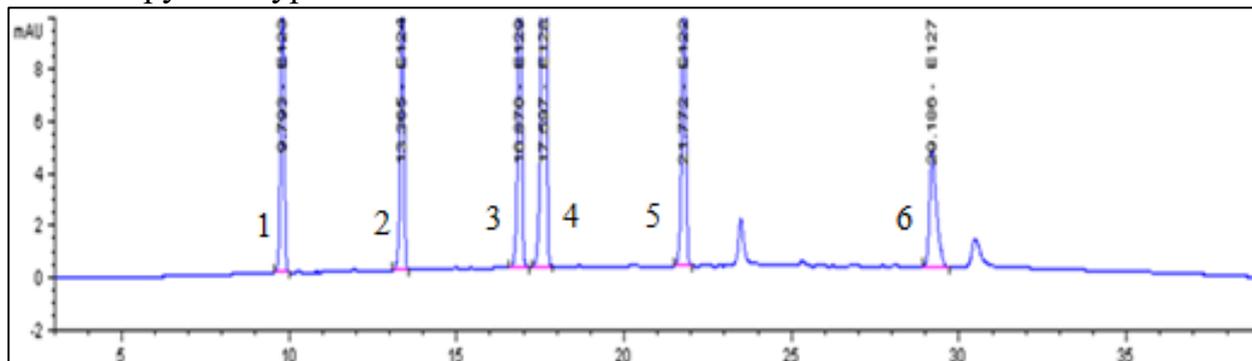
Кра- си- тель	Степень извлечения, %				
	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O : NH <sub>4</sub> OH (99,5 : 0,5 об./ об./ об.)	H <sub>2</sub> O : NH <sub>4</sub> OH : MeOH (69,5 : 0,5 : 30 об./ об./ об.)	H <sub>2</sub> O : NH <sub>4</sub> OH : MeOH (49,5 : 0,5 : 50 об./ об./ об.)	H <sub>2</sub> O : NH <sub>4</sub> OH : EtOH (49,5 : 0,5 : 50 об./ об./ об.)
Е 123	–	78,5 ± 0,9	94,3 ± 0,9	97,1 ± 2,3	84,6 ± 2,4
Е 124	73,1 ± 0,8	85,9 ± 0,8	95,9 ± 1,1	98,2 ± 1,8	87,1 ± 2,0
Е 129	62,1 ± 1,2	67,9 ± 0,8	95,9 ± 0,8	98,9 ± 0,9	86,8 ± 1,8
Е 128	78,4 ± 0,9	88,6 ± 0,8	93,8 ± 0,7	96,9 ± 0,8	84,6 ± 0,7
Е 122	26,9 ± 1,5	72,6 ± 1,1	93,2 ± 0,8	96,7 ± 1,1	84,5 ± 0,9
Е 127	–	–	82,5 ± 1,2	85,1 ± 1,3	78,2 ± 1,8
Е 121	-	–	80,4 ± 2,2	70,2 ± 2,1	72,3 ± 2,8

СК образуют устойчивые комплексы с белками за счет электростатического притяжения между SO<sub>3</sub>-группами красителей и положительно заряженными аминогруппами некоторых аминокислот. Таким образом, использование воды для экстракции СК из мясных консервов для детского питания (содержание белка 13 %) оказалось малоэффективным. Результаты, представленные в таблице 2, свидетельствуют о том, что не все СК извлекались при использовании в качестве экстрагента воды, а коэффициент извлечения был недостаточно высоким (26,9 % – 78,4 %). При добавлении гидроксида аммония в воду СК в комплексе с белком замещаются гидроксид-ионами (OH<sup>-</sup>), при этом повышается эффективность извлечения СК, за исключением красителей Е 127 и Е 121, которые при отсутствии в их структуре SO<sub>3</sub>-групп не вступают в электростатическое взаимодействие. Добавление в экстракционную смесь органического компонента приводит к увеличению степени извлечения СК. Наибольшая степень извлечения (82,3 % – 98,9 %) достигается при использовании водно-метанольного раствора аммиака (H<sub>2</sub>O : NH<sub>4</sub>OH : MeOH (49,5 : 0,5 : 50 об./ об./ об.)).

Данная экстрагирующая смесь была использована для выделения группы желтых, зеленых, синих, черного и коричневого СК из пищевых матриц сложного состава. Степень извлечения составила более 90 %.

На рисунке 3 представлена хроматограмма экстракта консервы мясной для детского питания с внесением группы красных красителей в количестве 12,5 мг/кг каждого, пики СК четкие, хорошо отделены друг от друга, практически отсутствуют пики примесей, чувствительности методики достаточно, чтобы проводить количественное определение данных пищевых добавок на

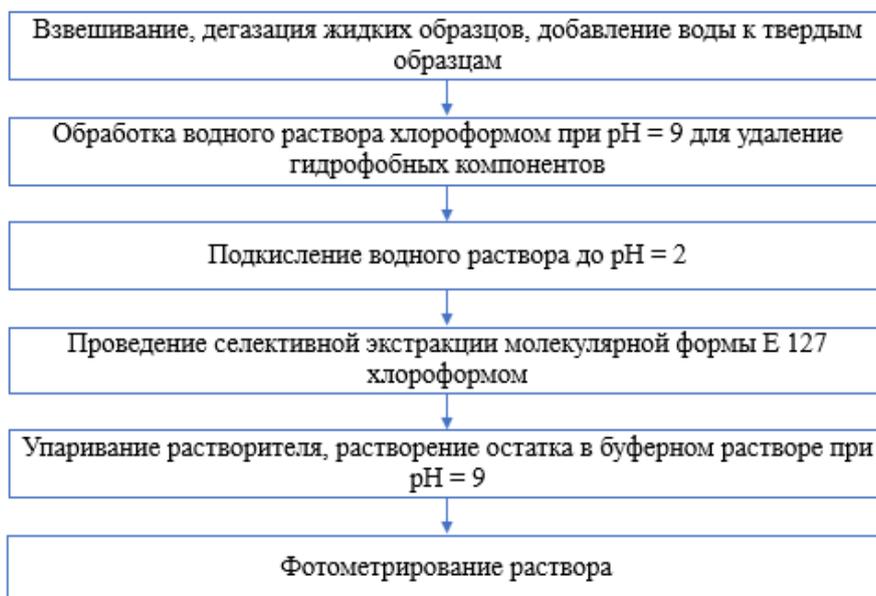
регламентируемом уровне.



**Рисунок 3 – Хроматограмма экстракта консервы мясной для детского питания с внесением группы красных красителей в количестве 12,5 мг/кг каждого (экстрагент: 0,125 % водно-метанольный раствор аммиака, соотношение объемов растворителей 1 : 1), (1 – E 123, 2 – E 124, 3 – E 129, 4 – E 128, 5 – E 122, 6 – E 127)**

На основании полученных экспериментальных данных в **четвертой главе** представлены разработанные новые методики экстракционно-фотометрического и экстракционно-хроматографического определения исследуемых аналитов. В том случае, если природа красителя известна, то нет необходимости использовать дорогостоящее оборудование и большое количество реактивов, соответственно можно применять экспрессные методики экстракционно-фотометрического определения СК, в ином случае – экстракционно-хроматографическое определение.

1. Методика селективного определения молекулярной формы эритрозина (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Схема концентрирования и выделения молекулярной формы эритрозина из пищевых матриц**

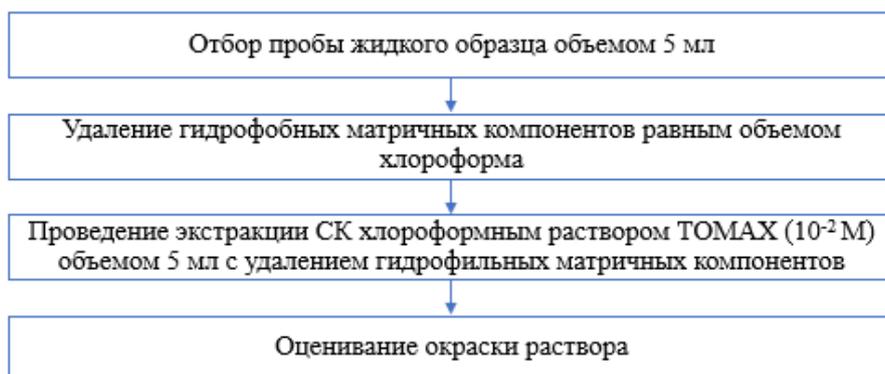
Предел количественного определения Е 127 в жидких пищевых продуктах по разработанному методу, исходя из минимальной регистрируемой оптической плотности 0,02, коэффициента экстинкции ионизированного эритрозина  $22800 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  и концентрирования 25, составляет 0,05 мг/кг, для твердых – 0,13 мг/кг (концентрирование в 10 и более раз). Это значительно меньше, чем при прямом определении методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (1,0 мг/кг) по [З–А]. Относительное стандартное отклонение по результатам 5 параллельных определений составляет 2 % – 3 %.

Предложенная методика обеспечивает глубокую очистку аналита от гидрофобных (окрашенных и неокрашенных) и гидрофильных примесей, кроме того, методика характеризуется очень низким пределом количественного определения, удовлетворительным стандартным отклонением и высокой экспрессностью, а также возможностью использования доступного оборудования.

2. Методики определения красителей, основанные на анионообменной экстракции в жидких пищевых продуктах.

Для определения СК во внелабораторных условиях (например, таможенные испытания) возможно использование следующего предложенного теста с применением хлороформного раствора ТОМАХ. Он заключается в том, что на полоску бумаги наносится хлороформный раствор ТОМАХ, удаляется растворитель. Для качественного определения СК бумага опускается в жидкий образец, далее промывается небольшим объемом воды. В случае присутствия СК бумага окрашивается, и окраска сохраняется после промывания. В данном случае пределы обнаружения кислотных СК в винах, соках, напитках по разработанной методике зависят от молярных коэффициентов светопоглощения красителей, объема пропускаемого через фильтры анализируемого образца (вина, сока, напитка) и сопоставимы с пределами обнаружения СК методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в винах, соках и напитках по ГОСТ 33406 – 2015.

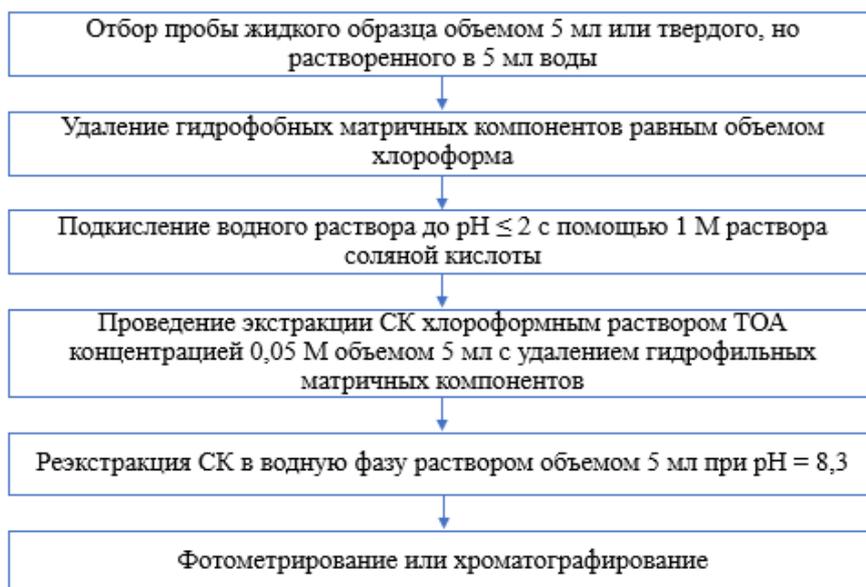
Разработан другой вариант экспресс-теста (рисунок 5) для определения СК в соках, винах, напитках, основанный на селективном извлечении СК из водных матриц с помощью жидкого ионообменника ТОМАХ, растворенного в хлороформе. Селективность обусловлена тем, что природные красители (например, антоцианы) при таких условиях не извлекаются, так как их структура не позволяет участвовать в анионообменной экстракции. Все гидрофобные окрашенные примеси (например, каротиноиды) могут быть удалены с помощью хлороформа в отсутствие ТОМАХ.



**Рисунок 5 – Схема определения красителей, основанная на экстракции их с помощью хлороформного раствора ТОМАХ**

Предел обнаружения способа составляет  $10^{-5} - 10^{-6}$  моль/л. Предварительное концентрирование позволяет снизить предел обнаружения в 10 раз ( $10^{-6} - 10^{-7}$  моль/л). Стандартное отклонение не превышает 1 % – 2 %.

Аналогично разработана методика определения СК в продуктах с помощью жидкого ионообменника ТОА, растворенного в хлороформе, представленная на рисунке 6.



**Рисунок 6 – Схема определения красителей, основанная на экстракции их с помощью хлороформного раствора ТОА**

В данном случае возможно проведение последующей реэкстракции в щелочной среде, что позволяет проводить очистку анализа от гидрофобных и гидрофильных матричных компонентов. Количественное определение соединений возможно с помощью фотометрического или хроматографического метода.

3. Методика определения красителей экстракционно-хроматографическим методом (рисунок 7).



**Рисунок 7 – Схема определения красителей хроматографическим методом**

Таким образом, разработан быстрый и простой количественный метод экстракционно-хроматографического определения 17 синтетических красителей в различных видах пищевых продуктов (молоко, мясные и рыбные продукты, кондитерские изделия, вина, соки, напитки и т.д.), основанный на экстракции синтетических красителей из пищевых продуктов водно-метанольным раствором аммиака с последующей очисткой растворами Карреза I и II, гексаном. Отсутствие необходимости использования дорогостоящих реагентов делает этот метод относительно дешевым. Нижняя граница диапазона определяемых концентраций варьируется от 1 до 10 мг/кг в зависимости от вида красителя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации.

1. Впервые получены экспериментальные данные по величинам коэффициентов распределения и степеней извлечения синтетических красителей в экстракционных системах толуол, хлороформ, изоамиловый спирт и растворы жидких анионообменников в них – вода. Обнаружено, что все красители, за редким исключением, очень плохо извлекаются органическими растворителями, в том числе изоамиловым спиртом, из водных растворов. Найдено, что все изученные синтетические красители извлекаются растворами жидких анионообменников в толуоле и хлороформе, при этом толуольные растворы дифференцируют коэффициенты распределения синтетических красителей,

однако эффективность извлечения ими в большинстве случаев недостаточна ( $D < 20$ ). При переходе к хлороформным растворам анионообменников наблюдается резкий рост  $D$  и одновременно их нивелирование. Интересно, что для синтетических красителей одинаковой зарядности коэффициенты распределения сравнительно мало зависят от природы синтетических красителей. Размах величин  $D$  при фиксированной концентрации экстрагента не превышает одного десятичного порядка. Для системы хлороформный раствор ТОМАХ – вода оценены константы обмена красителей на стандартный хлорид-ион, а также обсуждены возможные причины непостоянства некоторых из них. Полученные данные открывают возможность эффективного экстракционного извлечения и концентрирования синтетических красителей из водных растворов с глубокой очисткой от матричных компонентов (гидрофобных и гидрофильных) [1–А, 2–А, 3–А, 5–А, 6–А, 7–А, 8–А, 10–А, 11–А, 12–А, 13–А, 14–А, 15–А].

2. На основании полученных данных предложена экспресс-методика определения синтетических красителей в соках, винах, напитках, основанная на селективном извлечении синтетических красителей из водных матриц с помощью жидкого ионообменника ТОМАХ, растворенного в хлороформе, концентрацией  $10^{-2}$  моль/л. Селективность обусловлена тем, что природные красители (например, антоцианы) при таких условиях не извлекаются, так как их структура не позволяет участвовать в анионообменной экстракции. Все гидрофобные окрашенные примеси (например, каротиноиды) могут быть удалены с помощью хлороформа в отсутствие ТОМАХ. Предел обнаружения методики составляет  $10^{-5} - 10^{-6}$  моль/л. Стандартное относительное отклонение по результатам 5 параллельных определений составляет 2 % – 3 %. Также указаны возможности использования хлороформного раствора ТОМАХ при определении синтетических красителей во внелабораторных исследованиях (например, таможенные испытания). Разработана методика определения синтетических красителей в пищевых продуктах с использованием хлороформного раствора ТОА, который 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, что позволяет более тонко управлять экстракционным процессом с концентрированием и очисткой анализа от гидрофобных и гидрофильных матричных компонентов. Количественное определение соединений возможно с помощью фотометрического или хроматографического метода [1–А–16–А].

3. Предложена селективная экстракционно-фотометрическая методика определения эритрозина в присутствии других кислотных ионогенных красителей. Предел количественного определения Е 127 в жидких пищевых продуктах составляет 0,05 мг/кг, для твердых – 0,13 мг/кг. Относительное стандартное отклонение по результатам 5 параллельных определений составляет

2 % – 3 %. Предложенная методика обеспечивает глубокую очистку аналита от гидрофобных (окрашенных и неокрашенных) и гидрофильных примесей, кроме того, методика характеризуется очень низким пределом количественного определения, удовлетворительным стандартным отклонением и высокой экспрессностью, а также возможностью использования доступного оборудования [4–А, 9–А, 10–А, 17–А].

4. В результате проведенной работы разработана методика совместного определения 17 синтетических красителей методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием экстракционной пробоподготовки в диапазоне определяемых концентраций аналитов от 1,0 до 250,0 мг/кг (10,0 – 250,0 мг/кг для Е 155). Расширенная неопределенность не превысила 23 %. Разработанная МВИ.МН 5915 – 2017 утверждена в установленном порядке и внесена в реестр средств измерений Республики Беларусь, на ее основе утвержден стандарт СТБ 2547-2019 [3–А, 15–А].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов.**

Разработанная в диссертации методика анализа МВИ. МН 5915-2017 «Массовая концентрация синтетических красителей в пищевой продукции» внедрена в практическую деятельность и используется в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены», ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования», ГУ «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья», ГУ «Минский облЦГЭОЗ», ГУ «Минский городской центр гигиены и эпидемиологии» при проведении контроля качества пищевых продуктов, а также внедрена в учебный процесс Белорусского государственного университета.

Подробное описание выполнения измерений согласно некоторых разработанных методик помимо публикаций приведено в утвержденной стандартной операционной процедуре (СОП) республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены»: «СОП 10-04/03/095-2023 Способы определения и оценки синтетических красителей в пищевой продукции». Часть также описана в предложении, которое признано рационализаторским в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены»: «Способ качественного экспресс-определения синтетических красителей в пищевой продукции».

Предложенные методики могут применяться в различных лабораториях, занимающихся проблемой контроля синтетических красителей в пищевых продуктах. В таможенной экспертизе могут быть использованы экспресс-методики, не требующие дорогостоящего оборудования и большого количества расходных материалов и реактивов.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

*Статьи в рецензируемых научных журналах, соответствующих пункту 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий*

1–А. Экстракция пищевых синтетических красителей из водных растворов жидким ионообменником / Е. М. Плешак, С. М. Лещев, Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева, М. Ф. Заяц // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 58–66.

2–А. Экстракционно-фотометрическое определение синтетических пищевых красителей в жидких пищевых продуктах / Е. М. Плешак, С. М. Лещев, Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева, М. Ф. Заяц // Аналитика и контроль. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 186–194.

3–А. Development and validation of the HPLC-DAD method for the quantification of 16 synthetic dyes in various foods and the use of liquid anion exchange extraction for qualitative expression determination / A. I. Palianskikh, S. I. Sychik, S. M. Leschev, Y. M. Pliashak, T. A. Fiodarava, L. L. Belyshava // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 369, iss. 9. – Art. № 130947.

4–А. Фотометрическое определение эритрозина в присутствии кислотных синтетических красителей в пищевой продукции / Е. М. Плешак, С. М. Лещев, Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева // Аналитика и контроль. – 2023. – Т. 27, № 2. – С. 108–112.

### *Материалы конференций*

5–А. Экстракция синтетических красителей из водных растворов жидкими ионообменниками / Е. М. Плешак, С. М. Лещев, Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», Минск, 15–16 ноября 2018 года : в 2 т. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены ; редкол.: С. И. Сычик [и др.]. – Минск, 2018. – Т. 2. – С. 131.

6–А. Плешак Е. М. Новые методические подходы к определению содержания синтетических красителей в пищевых продуктах // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», 14–15 ноября 2019 года, г. Минск / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены ; редкол.: С. И. Сычик (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – С. 354–356.

7–А. Плешак Е. М. Способ извлечения из водных растворов синтетических пищевых красителей // Основы здорового питания и пути профилактики алиментарно-зависимых заболеваний : сб. материалов II Шк. молодых ученых, Москва, 23–25 окт. 2019 г. / Федер. исслед. центр питания,

биотехнологии и безопасности пищи. – М., 2019. – С. 87–88.

8–А. Плешак Е. М. Экстракция синтетических пищевых красителей из водных растворов жидкими анионообменниками // *Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020»* / Моск. гос. ун-т [и др.] ; отв. ред.: И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. – М., 2020. – URL: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2020/index.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2020/index.htm) (дата обращения: 06.03.2023).

9–А. Плешак Е. М., Лещев С. М., Бельшева Л. Л. Разработка способа экстракции эритрозина из пищевых матриц // *Химия и химическая технология в XXI веке : Материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых им. выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвящ. 85-летию со дня рождения проф. А. В. Кравцова, 15–19 мая 2023 г.* / Нац. исслед. Том. политехн. ун-т [и др.]. – Томск, 2023. – Т. 1. – С. 449–450.

10–А. Методика экспресс-определения эритрозина (Е 127) в присутствии других синтетических красителей в жидких пищевых продуктах / Е. М. Плешак, С. М. Лещев, Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева // *Сборник материалов международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», Минск, 23–24 ноября 2023 года* / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены ; редкол.: С. И. Сычик [и др.]. – Минск, 2023. – С. 566–567.

#### *Тезисы докладов*

11–А. Закономерности экстракции синтетических красителей из водных растворов различными экстрагентами / Е. М. Плешак, С. М. Лещев, М. Ф. Заяц, Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева, Н. Н. Мурашко // *Шестая республиканская научная конференция по аналитической химии с международным участием «Аналитика РБ-2018»*, Минск, 16–19 мая 2018 г. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2018. – С. 85.

12–А. Особенности экстракции синтетических красителей различными экстрагентами / Е. М. Плешак, С. М. Лещев, Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева // *XXII Всероссийская конференция молодых ученых-химиков (с международным участием)*, Нижний Новгород, 23–25 апреля 2019 г. : тез. докл. / Нац. исслед. Нижегород. гос. ун-т. – Н. Новгород, 2019. – С. 313.

13–А. Плешак Е. М. Экспресс-метод определения синтетических красителей в жидких пищевых продуктах // *Молодежь в науке – 2020 : тез. докл. XVII Междунар. науч. конф. молодых ученых*, Минск, 22–25 сент. 2020 г. : аграр., биол., гуманитар., мед., физ.-мат., физ.-техн., химия и науки о Земле / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых ; редкол.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2020. – С. 536–537.

14–А. Development of quality express method for determination of synthetic dyes in food products using liquid anion exchanger / Y. M. Pliashak, S. M. Leschev, A. I. Palianskikh, L. L. Belysheva // Vth International conference «Actual Scientific & Technical Issues of Chemical Safety» (ASTICS-2020), Kazan, October 6–8, 2020 : book of abstr. / N. N. Semenov Federal Research Center for Chem. Physics [et al.] ; ed.: A. V. Roshchin, E. G. Raevskaya. – Kazan, 2020. – P. 304.

### *Патенты*

15–А. Способ одновременного определения синтетических красителей в пищевой продукции : пат. ВУ 22691 / Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева, Т. А. Федорова, Е. М. Плешак. – Оpubл. 30.12.2019. – 7 с.

16–А. Способ определения кислотных синтетических красителей в винах, соках или напитках : пат. ВУ 23363 / М. Ф. Заяц, С. М. Лещев, Р. А. Юрченко, Л. Л. Бельшева, Е. М. Плешак, Е. И. Полянских. – Оpubл. 30.04.2021. – 6 с.

17–А. Способ селективного экспресс-определения красителя Е 127 в присутствии кислотных ионогенных синтетических красителей в жидких пищевых продуктах : пат. ВУ 24095 / С. М. Лещев, Е. М. Плешак, Е. И. Полянских, Л. Л. Бельшева. – Оpubл. 30.10.2023. – 4 с.

## РЕЗЮМЕ

Плешак Екатерина Михайловна

### Экстракционное выделение и концентрирование синтетических пищевых красителей из пищевых продуктов различного матричного состава с их последующим фотометрическим и хроматографическим определением

**Ключевые слова:** *синтетические красители, экстракция, хроматография, фотометрия*

**Объекты исследования:** 17 синтетических красителей (далее – СК), контролируемых в пищевой продукции: Е 102 (тартразин), Е 104 (желтый хинолиновый), Е 110 (желтый солнечный закат), Е 121 (цитрусовый красный), Е 122 (азорубин), Е 123 (амарант), Е 124 (понсо 4R), Е 127 (эритрозин), Е 128 (красный 2G), Е 129 (красный очаровательный АС), Е 131 (синий патентованный V), Е 132 (индигокармин), Е 133 (блестящий синий FCF), Е 142 (зеленый S), Е 143 (зеленый прочный FCF), Е 151 (бриллиантовый черный PN), Е 155 (коричневый НТ). Также использовали пищевые продукты: соки, вина, крема, детское питание, кондитерские изделия, мясные продукты и прочее.

**Предмет исследования:** экстракция СК в системах органический растворитель – вода, раствор жидкого анионообменника – вода, а также разработка методик экстракционной пробоподготовки для разделения, концентрирования и выделения из пищевых матриц СК при их определении.

**Цель работы:** разработка на основе систематического изучения экстракции синтетических кислотных красителей экстракционно-хроматографических и экстракционно-фотометрических методик, предусматривающих предварительное концентрирование и очистку аналитов от матричных компонентов.

**Методы исследования:** хроматография, фотометрия.

**Полученные результаты:** разработана методика совместного определения 17 СК методом ВЭЖХ; разработана экспресс-методика определения СК в соках, винах, напитках, основанная на селективном извлечении СК из водных матриц с помощью жидкого ионообменника ТОМАХ; разработана методика определения СК в пищевых продуктах с использованием хлороформного раствора ТОА, который эффективно извлекает из водных подкисленных растворов 13 СК; разработана экстракционно-фотометрическая методика определения Е 127 в присутствии других кислотных красителей.

**Рекомендации по использованию:** методики могут применяться в лабораториях, занимающихся определением СК в пищевой продукции.

**Область применения:** определение СК в пищевых продуктах.

## РЭЗІЮМЭ

Пляшак Кацярына Міхайлаўна

### Экстракцыйнае вылучэнне і канцэнтраванне сінтэтычных харчовых фарбавальнікаў з харчовых прадуктаў рознага матрычнага складу з іх наступным фотаметрычным і храматаграфічным вызначэннем

**Ключавыя словы:** *сінтэтычныя фарбавальнікі, экстракцыя, храматаграфія, фотаметрыя*

**Аб'екты даследавання:** 17 сінтэтычных фарбавальнікаў (СФ), утрыманне якіх кантралююць у харчовай прадукцыі: Е 102 (тартразін), Е 104 (жоўты хіналінавы), Е 110 (жоўты сонечны захад), Е 121 (цытрусавы чырвоны), Е 122 (азарубін), Е 123 (амарант), Е 124 (понса 4R), Е 127 (эрытразін), Е 128 (чырвоны 2G), Е 129 (чырвоны чароўны АС), Е 131 (сіні патэнтаваны V), Е 132 (індыгакармін), Е 133 (бліскучы сіні FCF), Е 14 (зялёны S), Е 143 (зялёны трывалы FCF), Е 151 (брыльянтавы чорны PN), Е 155 (карычневы НТ). Таксама выкарыстоўвалі харчовыя прадукты: сокі, віны, крэму, дзіцячае харчаванне, кандытарскія вырабы, мясныя прадукты і іншае.

**Прадмет даследавання:** экстракцыя СФ у сістэмах арганічны растваральнік вада, раствор вадкага аніёнаабменніка – вада, а таксама распрацоўка метадык экстракцыйнай пробападрахтоўкі для падзелу, канцэнтравання і вылучэнні з харчовых матрыц СФ пры іх вызначэнні.

**Мэта працы:** распрацоўка экстракцыйных метадык пробападрахтоўкі для колькаснага фотаметрычнага і храматаграфічнага вызначэння кіслотных іёнагенных сінтэтычных фарбавальнікаў у харчовых прадуктах.

**Метады даследавання:** храматаграфія, фотаметрыя.

**Атрыманыя вынікі:** распрацавана метадыка сумеснага вызначэння 17 СФ метадам ВЭВХ; распрацавана экспрэс-метадыка вызначэння СФ у соках, вінах, напоях, заснаваная на селектыўным выманні/ выцягванні СФ з водных матрыц з дапамогай вадкага іёнаабменніку ТАМАХ; распрацавана метадыка вызначэння СФ у харчовых прадуктах з выкарыстаннем хлараформнага раствору ТАА, які эфектыўна здабывае (выцягвае) з водных падкісленых раствораў 13 СФ; распрацавана экстракцыйна-фотаметрычная метадыка вызначэння Е 127 у прысутнасці іншых кіслотных фарбавальнікаў.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні:** метадыкі могуць прымяняцца ў лабараторыях, якія займаюцца вызначэннем СФ у харчовай прадукцыі.

**Вобласць ужывання:** вызначэнне СФ у харчовых прадуктах.

## SUMMARY

Pleshak Ekaterina Mikhailovna

### **Extraction separation and concentration of synthetic food dyes from food products of various matrix compositions with their subsequent photometric and chromatographic determination**

**Key words:** synthetic dyes, extraction, chromatography, photometry

**Subjects of the research:** 17 synthetic dyes (SD) controlled in food products: E 102 (tartrazine), E 104 (quinoline yellow), E 110 (sunset yellow), E 121 (citrus red), E 122 (azorubine), E 123 (amaranth), E 124 (ponceau 4R ), E 127 (erythrosine), E 128 (red 2G), E 129 (allura red AC), E 131 (patent blue V), E 132 (indigo carmine), E 133 (brilliant blue FCF), E 142 (green S ), E 143 (green durable FCF), E 151 (brilliant black PN), E 155 (brown HT). We also used food products: juices, wines, drinks, creams, baby food, confectionery, meat products, etc.

**Objects of the research:** development based on a systematic study of the extraction of SD dyes using extraction-chromatographic and extraction-photometric methods, involving preliminary concentration and purification of analytes from matrix components.

**The purposes of the research:** development of extraction methods for sample preparation for quantitative photometric and chromatographic determination of acidic ionogenic SD in food products.

**Research methods:** chromatography, photometry.

**Obtained results:** a method for the joint determination of 17 SD using HPLC; an express method for determining SD in juices, wines, and beverages has been developed, based on the selective extraction of SD from aqueous matrices using a liquid ion exchanger TOMAC; a method has been developed for the determination of SD in food products using a chloroform solution of TOA, which effectively extracts 13 SD from aqueous acidified solutions; a selective extraction-photometric method for the determination of E 127 in the presence of other acidic ionogenic dyes has been developed.

**Recommendations for use:** The methods can be used in laboratories dealing with SD in food products.

**Application field:** determination of SD in food products.



Подписано в печать 25.02.2025. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,5.  
Тираж 60 экз. Заказ 25.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика  
в республиканском унитарном предприятии  
«Издательский центр Белорусского государственного университета».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.  
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.