






## Исследование химического состава ароматизированных водок и ароматизаторов методом газовой хроматографии

Наталия В. Шелехова	<sup>1</sup>	4953610101@mail.ru	 0000-0001-7735-2942
Любовь И. Скворцова	<sup>1</sup>	4953623751@mail.ru	 0000-0002-6084-7786
Наталья В. Полтавская	<sup>1</sup>	4953623751@mail.ru	 0000-00031266-523X
Мария В. Амелякина	<sup>1</sup>	foodbiotech@ya.ru	 0000-0002-5138-6746
Виктор В. Иванов	<sup>1</sup>	foodbiotech@ya.ru	 0000-0002-6492-7070

<sup>1</sup> ВНИИПБТ - филиал ФГБУН "ФИЦ питания и биотехнологии", ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия

**Аннотация.** Ароматизированные водки демонстрируют стабильный потребительский спрос, что обуславливает актуальность разработки инструментальных методов для определения их химического состава. Введение ароматизаторов в рецептуры ароматизированных водок позволяет производителям формировать новые оригинальные торговые предложения, отличающиеся от традиционных аналогов. Однако, некоторые химические соединения, входящие в состав ароматических композиций, включая носители ароматизаторов, могут вызывать серьезные аллергические реакции. Существующие методики анализа позволяют выявлять носители ароматизаторов (триацетин E1518, бензиловый спирт E1519, 1,2-пропиленгликоль E1520) в винах, коньяках и виски, однако определения их в водках не предусмотрено. В результате проведенных исследований разработана комплексная «Методика одновременного определения массовой концентрации летучих органических микропримесей и носителей ароматизаторов в водках методом газовой хроматографии», которая обеспечивает селективное разделение 24 летучих органических микропримесей: этилового эфира, уксусного альдегида, ацетона, метилацетата, этилацетата, метанола, 2-бутанола, 2-пропанола, изобутилацетата, 2-бутанола, 1-пропанол, этилбутирата, кротональдегида, изобутилового спирта, 1-бутанола, изоамилового спирта, 1-пентанола, этиллактата, 1-гексанола, бензальдегида, 1,2-пропиленгликоля, бензилового спирта, 2-фенилэтанола, триацетина. Экспериментально подтверждено, что разработанная методика перспективна для применения в контроле технологических процессов производства водок при разработке новых рецептов для контроля массовой концентрации носителей 1,2 пропиленгликоля, бензилового спирта и триацетина в составе ароматизаторов. Установлено, что в некоторых образцах водок содержание носителей ароматизаторов (1,2 пропиленгликоля) превышает границы, установленные для напитков Техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 029/2012. Показано, что хроматографический профиль может быть использован в качестве «отпечатка пальцев» или «паспорта качества продукта» для сравнения образцов и выявления отклонений от стандарта. Полученные данные представляют несомненный научный и практический интерес в качестве основы для разработки новых технологий и нормативной документации в области производства ароматизированных алкогольных напитков.

**Ключевые слова:** летучие примеси, триацетин, 1,2-пропиленгликоль, бензалкоголь, носители ароматизаторов, методика, выявление фальсификаций, водка, водка особая, газовая хроматография.

## Investigation of the Chemical Composition of Flavored Vodkas and Food Flavorings Using Gas Chromatography

Natalia V. Shelekhova	<sup>1</sup>	4953610101@mail.ru	 0000-0001-7735-2942
Lyubov I. Skvortsova	<sup>1</sup>	4953623751@mail.ru	 0000-0002-6084-7786
Natalia V. Poltavskaya	<sup>1</sup>	4953623751@mail.ru	 0000-00031266-523X
Maria V. Amelyakina	<sup>1</sup>	foodbiotech@ya.ru	 0000-0002-5138-6746
Victor V. Ivanov	<sup>1</sup>	foodbiotech@ya.ru	 0000-0002-6492-7070

<sup>1</sup> VNIIPBT - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution FITZ Nutrition and Biotechnology, 4B Samokatnaya St. Moscow, 111033, Russia

**Abstract.** Flavored vodkas demonstrate stable consumer demand, which determines the relevance of developing instrumental methods for determining their chemical composition. The introduction of flavorings into the formulations of flavored vodkas allows manufacturers to create new, original commercial offerings that differ from traditional analogs. However, some chemical compounds that are part of flavor compositions, including flavor carriers, can cause serious allergic reactions. Existing analytical methods allow for the identification of flavor carriers (triacetin E1518, benzyl alcohol E1519, 1,2-propylene glycol E1520) in wines, cognacs, and whisky, but their determination in vodkas is not provided for. As a result of the conducted research, a comprehensive "Method for the simultaneous determination of the mass concentration of volatile organic micro-impurities and flavor carriers in vodkas by gas chromatography" has been developed. This method provides qualitative and quantitative analysis and involves the simultaneous selective separation of 24 volatile organic micro-impurities: ethyl ether, acetaldehyde, acetone, methyl acetate, ethyl acetate, methanol, 2-butanone, 2-propanol, isobutyl acetate, 2-butanol, 1-propanol, ethyl butyrate, crotonaldehyde, isobutyl alcohol, 1-butanol, isoamyl alcohol, 1-pentanol, ethyl lactate, 1-hexanol, benzaldehyde, 1,2-propylene glycol, benzyl alcohol, 2-phenylethanol, and triacetin. It has been experimentally confirmed that the developed method is promising for application in the control of technological processes in vodka production, in the development of new formulations, and for monitoring the mass concentration of carriers—1,2-propylene glycol, benzyl alcohol, and triacetin—in the composition of flavorings. It was established that in some vodka samples, the content of flavor carriers (1,2-propylene glycol) exceeds the limits established for beverages by the Technical Regulations of the Customs Union TR CU 029/2012. It is shown that the chromatographic profile can be used as a "fingerprint" or "product quality passport" for comparing samples and identifying deviations from the standard. The obtained data are of undoubted scientific and practical interest as a basis for the development of new technologies and regulatory documentation in the production of flavored alcoholic beverages.

**Keywords:** Volatile impurities, triacetin, 1,2-propylene glycol, benzyl alcohol, flavour carriers, methodology, adulteration detection, vodka, specialty vodka, gas chromatography.

Для цитирования

Шелехова Н.В., Скворцова Л.И., Полтавская Н.В., Амелякина М.В., Иванов В.В. Исследование химического состава ароматизированных водок и ароматизаторов методом газовой хроматографии // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 2. С. 227–237. doi:10.20914/2310-1202-2026-2-227-237

For citation

Shelekhova N.V., Skvortsova L.I., Poltavskaya N.V., Amelyakina M.V., Ivanov V.V. Investigation of the Chemical Composition of Flavored Vodkas and Food Flavorings Using Gas Chromatography. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 2. pp. 227–237. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-2-227-237

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Водка – спиртной напиток, произведённый на основе ректифицированного этилового спирта и исправленной воды, крепостью от 37,5 до 56% об., представляющий собой бесцветный водно-спиртовой раствор с мягким, присущим водке вкусом и характерным водочным ароматом. Выделяют особую водку – напиток крепостью 37,5–45% об. со специфическим ароматом и/или вкусом, получаемым за счёт внесения вкусоароматических компонентов. При проектировании рецептур водок особых, для придания определённых вкусоароматических характеристик, применяют ароматные спирты, настои растительного сырья, пищевые ароматизаторы [1–4].

В России «водки со вкусами» набирают все большую популярность [5]. Согласно данным Центра исследований федерального и региональных рынков алкоголя (ЦИФРРА) на ароматизированные водки приходится около 15–17% от всего рынка водки в России. В перспективе ожидается дальнейший рост данного сегмента, чему способствуют увеличение спроса на разнообразие вкусов и расширение ассортимента. Кроме того, молодёжь и любители коктейлей всё чаще выбирают ароматизированные варианты вместо классической водки.

Ароматизированная пищевая продукция пользуется устойчивым спросом у потребителей, что обусловлено широким спектром органолептических характеристик, способных удовлетворить различные предпочтения целевой аудитории [6–8]. Введение ароматизаторов в рецептуры водок позволяет производителям формировать новые оригинальные торговые предложения, отличающиеся от традиционных аналогов. Известно, что запахи влияют на эмоции человека, мгновенно вызывая яркое воспоминание и связанные с ним чувства. Так, например, запах свежей выпечки переносит в детство, а аромат хвои напоминает о новогодних праздниках. Использование ароматизаторов позволяет не только расширить ассортимент продукции, но и способствует привлечению новых групп потребителей [9, 10].

Ароматизаторы выступают значимым инструментом в реализации маркетинговых стратегий и в сегменте алкогольных напитков. При разработке состава пищевых ароматизаторов производители используют индивидуальные рецептуры, которые могут различаться в зависимости от желаемых органолептических характеристик конечного продукта [11, 12]. Важно отметить, что в составе ароматических композиций некоторые компоненты, включая

носители ароматизаторов, могут вызывать аллергические реакции, которые могут проявляться разнообразно и зависят от индивидуальной чувствительности организма человека. Среди возможных реакций – дерматологические (покраснение, зуд, сыпь, крапивница, отёчность), респираторные (заложенность носа, насморк, чихание, кашель, одышка, бронхоспазм), системные (ангионевротический отёк, анафилактический шок) и другие (головные боли, тошнота, рвота, диарея) [13]. Поэтому при употреблении продуктов, содержащих ароматизаторы, необходимо учитывать индивидуальные особенности организма. Кроме того, чрезмерное употребление алкоголя, в том числе ароматизированной водки, может привести к негативным последствиям для здоровья, таким как заболевания печени, сердечно-сосудистые проблемы и алкогольная зависимость.

Пищевые ароматизаторы представляют собой сложные многокомпонентные композиции, состав которых является конфиденциальной информацией и не раскрывается производителями. В процессе разработки ароматизаторов производители активно применяют компоненты – носители: триацетин (E1518), бензиловый спирт (E1519), 1,2 – пропиленгликоль (E1520). В соответствии с директивой 2003/114/ЕС в странах Евросоюза установлены ограничения по максимально допустимому содержанию определённых носителей ароматизаторов в напитках, так, содержание бензилового спирта не должно превышать 100 мг/л, 1,2-пропиленгликоля (E1520) – не более 1 г/л напитка. На территории Российской Федерации использование пищевых ароматизаторов также регулируется соответствующей нормативной документацией – Техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 029/2012 [15, 16].

Изучение научной и патентной литературы показало, что известные методики анализа успешно справляются с задачей выявления носителей ароматизаторов в таких напитках, как вина, коньяки и виски [17–21], но область применения этих методик на водки не распространяется. Таким образом, для решения проблемы одновременного определения летучих органических соединений и носителей ароматизаторов в водках требуется разработка специализированной методики.

**Цель исследования** – разработать методику одновременного хроматографического определения летучих органических примесей и носителей ароматизаторов и применить её для изучения химического профиля водок особых.

## Материалы и методы

Объектами исследования служили образцы водок особых, приобретенные методом случайной выборки в розничной торговой сети и модельные водно-спиртовые растворы ароматизаторов. Использовали газовый хроматограф Agilent 6850 (Agilent Technologies, USA) с пламенно-ионизационным детектором с пределом детектирования не более  $5 \times 10^{-12}$  гС/с, свидетельство о поверке № 11–03–2024/322541148.

Режим хроматографирования:

- температура детектора 220–230 °С;
- температура испарителя (инжектора) 110–230 °С;
- коэффициент деления потока 20:1–40:1;
- начальная температура термостата колонок 70–100 °С;
- выдержка 5–7 мин;
- температура термостата колонок в конце анализа 230 °С;
- выдержка 3–5 мин;
- газ носитель – азот;
- скорость потока газа-носителя 0,048–0,072 дм<sup>3</sup>/ч;
- скорость потока водорода 1, 8 дм<sup>3</sup>/ч;
- скорость потока воздуха 18 дм<sup>3</sup>/ч;
- объем пробы 0,2–1,0 мм<sup>3</sup>.

Образцы анализировали не менее 2-х раз в условиях повторяемости в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 5725–1 (пункт 3.14), за результат принимали среднее арифметическое двух параллельных определений.

Подтверждение идентификации целевых аналитов при разработке методики проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии, использовали газовый хроматограф Маэстро 7820 (Agilent Technologies, США Интерлаб, Россия) с масс-селективным детектором, свидетельство о поверке № 18–07–2025/44–265427.

## Результаты и обсуждение

Пищевой ароматизатор – это вкусоароматическое вещество, которое добавляется в продукты питания для придания им аромата и/или вкуса. В состав ароматизаторов входят носители – химические соединения, которые используют для стабилизации и улучшения распределения ароматических соединений в готовой продукции.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований нами составлен перечень целевых аналитов, приготовлены

градуировочные растворы, подобраны режимы хроматографирования и разработана «Методика определения массовой концентрации летучих органических микропримесей в водках методом газовой хроматографии», область применения которой распространяется на водки, водки особые, настойки горькие и предусматривает одновременное селективное разделение 24 летучих органических микропримесей: этилового эфира, уксусного альдегида, ацетона, метилацетата, этилацетата, метанола, 2-бутанона, 2-пропанола, изобутилацетата, 2-бутанола, 1-пропанола, этилбутирата, кротональдегида, изобутилового спирта, 1-бутанола, изоамилового спирта, 1-пентанола, этиллактата, 1-гексанола, бензальдегида, 1,2-пропиленгликоля, бензилового спирта, 2-фенилэтанола, триацетина. Методика может быть использована в контроле технологических процессов производства водок, при разработке новых рецептур, для определения массовой концентрации 1,2-пропиленгликоля, бензилового спирта, триацетина в водках.

С применением разработанной методики получены новые экспериментальные данные о составе летучих примесей водок особых, приобретенных в сети розничной торговли методом случайной выборки (рисунок 1).

В исследованных образцах этиловый эфир, 2-бутанон, изобутилацетат, 2-бутанол, 1-пропанол, этилбутират, кротональдегид, изобутиловый спирт, 1-бутанол, изоамиловый спирт, 1-пентанол, этиллактат, 1-гексанол, бензальдегид, фенилэтанол не обнаружены. Уксусный альдегид зафиксирован в диапазоне массовых концентраций от 1,31 до 2,10 мг/дм<sup>3</sup>, ацетон 0,41–80 мг/дм<sup>3</sup>, этилацетат 0,32–2,08 мг/дм<sup>3</sup>, метиловый спирт 0,00010–0,00410% об., 2-пропанол 0,74–1,16 мг/дм<sup>3</sup>, бензиловый спирт массовой концентрацией 1,10 мг/дм<sup>3</sup> обнаружен в образце № 2. Массовая концентрация 1,2-пропиленгликоля варьировала в диапазоне 580–1112 мг/дм<sup>3</sup>, при этом, в образце водки № 3 массовая концентрация 1,2-пропиленгликоля превышала допустимое значение. Согласно действующему на территории России, Беларуси, Казахстана, Кыргызстана и Армении Техническому Регламенту Таможенного Союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» максимальный уровень содержания компонентов-носителей ароматизаторов в напитках не должен превышать 1 г/л.

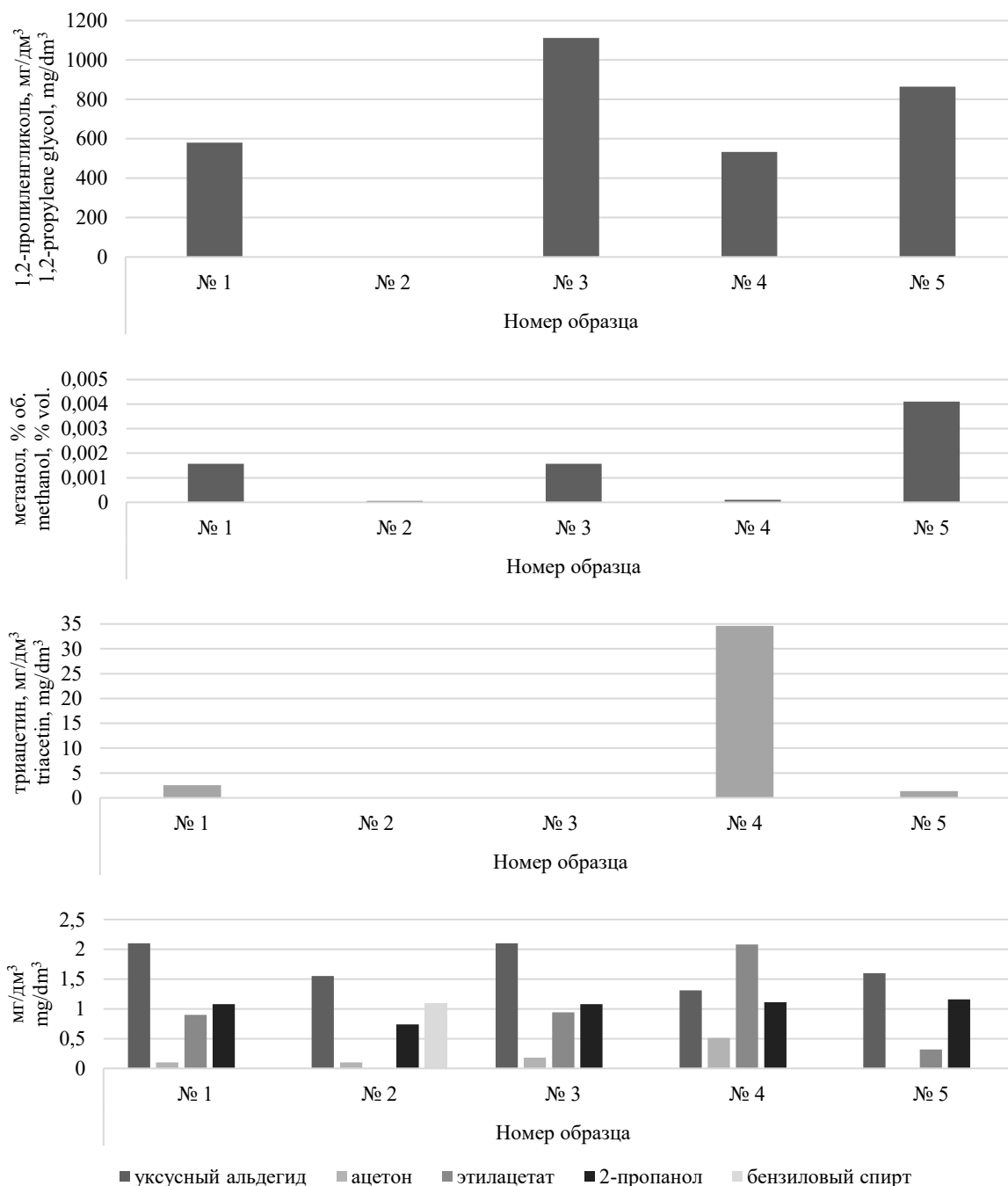


Рисунок 1. Состав летучих органических примесей водок, содержащих в рецептуре ароматизаторы а) 1,2 пропиленгликоль, б) метиловый спирт, в) триацетин, г) остальные компоненты

Figure 1. Volatile Organic Impurity Profiles of Flavored Vodkas Containing a) 1,2 – Propylene Glycol, b) Methanol, v) Triacetin, g) Other Components

Анализ данных, полученных из патентных источников, показал, что при разработке рецептур водок особым широко используются фруктовые, ягодные, цитрусовые, пряные и травяные ароматы, которые наиболее популярны благодаря разнообразию вкусов и способности гармонизировать органолептические характеристики напитка. Среди фруктовых ароматов особенно востребованы: яблоко, груша,

абрикос, персик, ананас, манго, личи, папайя. В категории ягодных ароматов лидирующие позиции занимают: клюква, вишня, брусника, малина, черника, красная и черная смородина, ежевика. Цитрусовая группа характеризуется доминированием аромата лимона, лайма, апельсина, грейпфрута.

Важно отметить, что производители не раскрывают подробный химический состав

ароматизаторов и потребители оценивают их качество на основе данных из декларации соответствия или спецификации. В качестве

иллюстрации в таблице 2 приведены фрагменты спецификации ароматизаторов пищевых «Персик», «Лайм», «Клюква» (таблица 1).

Таблица 1.

## Фрагменты спецификаций на ароматизаторы

Table 1.

## Fragments of flavor specifications

Внешний вид   appearance	Запах   odor	Состав   composition	Носители   carrier substances	Дозировка   quantitation
Ароматизатор пищевой «Персик»   Flavoring agent "Peach" for food products				
прозрачная жидкость от бесцветного до коричневого цвета   Clear liquid ranging from colorless to brown	характерный для ароматизаторов конкретного наименования   Typical for flavorings of a specific designation	вкусоароматические вещества, вкусоароматические препараты   Flavoring substances, flavoring preparations	пропиленгликоль   propylene glycol E1520 ≤ 97,4%, бензиловый спирт   benzyl alcohol E1519 ≤ 0,05%, триацетин   triacetin E1518 ≤ 0,01%.	0,02–0,09%
Ароматизатор пищевой «Лайм»   Flavoring agent "Lime" for food products				
прозрачная жидкость от бесцветного до коричневого цвета   Clear liquid ranging from colorless to brown	характерный для ароматизаторов конкретного наименования   Typical for flavorings of a specific designation	натуральные вкусоароматические вещества, вкусоароматические препараты	пропиленгликоль   propylene glycol E1520 ≤ 69,7%, в качестве носителя вода   serving as a water carrier ≤ 13,7%	0,03–0,05%
Ароматизатор пищевой «Клюква»   Flavoring agent "Cranberry" for food products				
прозрачная жидкость от бесцветного до коричневого цвета   Clear liquid ranging from colorless to brown	характерный для ароматизаторов конкретного наименования   Typical for flavorings of a specific designation	вкусоароматические вещества, вкусоароматические препараты   Flavoring substances, flavoring preparations	пропиленгликоль   propylene glycol E1520 ≤ 86%	0,02–0,06%

На основании литературного обзора, проведенного с целью изучения химического состава водок особых, сформирован перечень, состоящий из 25 образцов промышленных ароматизаторов, в том числе, ароматизаторов: «Абрикос», «Персик», «Лимон», «Лайм», «Клюква», «Брусника». В лабораторных условиях, приготовлены модельные водно-спиртовые 40% растворы имитирующие ароматизированные водки.

Дозировку ароматизатора устанавливали в соответствии с указаниями производителя, которые носят рекомендательный характер. В качестве образца контроля (К) использовали исходный водно-спиртовой раствор. Результаты исследований массовых концентраций летучих примесей модельных растворов ароматизаторов представлены в таблице 2.

Таблица 2.

## Состав летучих примесей модельных растворов

Table 2.

## Volatile impurity composition of model solutions

Аналит, мг/дм <sup>3</sup>   Analyte, mg / dm <sup>3</sup>	Контроль   Control (K)	Модельный раствор пищевого ароматизатора   Model solution of a food flavor					
		Абрикос   Apricot	Персик   Peach	Лимон   Lemon	Лайм   Lime	Клюква   Cranberry	Брусника   Lingonberry
Уксусный альдегид   Acetaldehyde	0,051 ± 0,010	0,63 ± 0,13	0,65 ± 0,13	0,74 ± 0,15	0,67 ± 0,13	0,78 ± 0,16	0,72 ± 0,14
Ацетон   acetone		н.о.   n.d.			0,19 ± 0,04	н.о.   n.d.	
Этилацетат   Ethyl acetate	н.о.   n.d.	0,90 ± 0,18	0,52 ± 0,10	н.о.   n.d.			2,48 ± 0,50
Метанол, % об.   Methanol, % ob	0,00044 ± 0,00009	0,00045 ± 0,00009	0,00044 ± 0,00009	0,00046 ± 0,00009	0,00046 ± 0,00009	0,00044 ± 0,00009	0,0046 ± 0,00009
2-пропанол   2-propanol	0,56 ± 0,11	0,55 ± 0,11	0,53 ± 0,11	0,60 ± 0,12	0,61 ± 0,12	0,53 ± 0,11	0,54 ± 0,11
Изобутилацетат   Isobutyl acetate	н.о.   n.d.	0,51 ± 0,10	н.о.   n.d.			н.о.   n.d.	
Этилбутират   Ethyl butanoate		н.о.   n.d.				15,54 ± 3,11	н.о.   n.d.
Кротоновый альдегид   Crotonaldehyde		н.о.   n.d.				18,69 ± 3,74	0,34 ± 0,07
Изоамиловый спирт   Isoamyl alcohol		0,77 ± 0,15				н.о.   n.d.	
1-гексанол   1-Hexanol		н/о   n/o	1,34 ± 0,27	н.о.   n.d.			
Бензальдегид   Benzaldehyde		5,68 ± 1,14	4,45 ± 0,89	н.о.   n.d.	2,48 ± 0,50	0,13 ± 0,03	н.о.   n.d.
1,2 – Пропиленгликоль   1,2 – Propylene glycol		697 ± 139	1329 ± 265	765 ± 153	845 ± 169	1340 ± 268	693 ± 139
Бензиловый спирт   Benzyl alcohol		н.о.   n.d.	0,61 ± 0,12	н.о.   n.d.		0,50 ± 0,10	14,83 ± 2,97
Триацетин   Triacetin	3,76 ± 0,75	н/о   n/o	н.о.   n.d.				

Анализ данных, представленных в таблице 2 показал, что в модельных растворах ароматизаторов «Персик» и «Клюква» массовая концентрация 1,2-пропиленгликоля составила 1329,03 мг/дм<sup>3</sup> и 1340,30 мг/дм<sup>3</sup> соответственно, что превышает значение показателя, регламентированное ТР ТС 029/2012. В этой связи, в целях соблюдения требований нормативной документации, целесообразно использовать ароматизаторы «Персик» и «Клюква» в более низких концентрациях. Таким образом, в ходе проведенных исследований экспериментально подтверждена перспективность применения разработанной нами методики при разработке рецептур водок особых.

Особо пристального внимания заслуживает кротоновый альдегид, обнаруженный в составе ароматизаторов «Клюква» и «Брусника» массовой концентрацией 18,69 мг/дм<sup>3</sup> и 0,34 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Важно отметить, что кротоновый альдегид является сильным лакриматором, относится ко 2-му классу опасности и обладает выраженным общетоксическим и местным раздражающим действием. Известны данные, что кротоновый альдегид может играть роль в развитии онкологических заболеваний и является потенциальным канцерогеном, японские учёные также связывали его с риском развития болезни Альцгеймера [22]. Предельная концентрация в рабочей зоне составляет 0,5 мг/м<sup>3</sup>, в водоемах 0,3 мг/л, ориентировочный безопасный уровень воздействия в атмосферном воздухе – 0,01 мг/м<sup>3</sup> [23]. Использование кротонового альдегида при изготовлении пищевой продукции не допускается.

Следующий этап исследований был направлен на поиск путей контаминации ароматизаторов кротоновым альдегидом. Известно, что кротоновый альдегид может быть синтезирован в результате альдольной конденсации ацетальдегида – основной промышленный метод, кротоновой конденсации, пиролиза солей кротоновой и муравьиной кислот. В природных экосистемах кротоновый альдегид может образовываться в результате метаболизма бактерий. В некоторых растениях кротоновый альдегид содержится в микроколичествах, но может возникать в более высоких концентрациях в результате окисления определённых терпеноидов и жирных кислот при термической обработке. На основании анализа данных из доступных научных источников установлено, что кротоновый альдегид не является характерным компонентом в химическом составе брусники и клюквы [25–28].

В промышленности кротоновый альдегид используют для синтеза пищевых консервантов, в том числе и сорбиновой кислоты, которую

получают конденсацией кетена с кротоновым альдегидом в присутствии кислотных катализаторов. Образующийся при этом лактон 3-гидроксигексеновой кислоты далее гидролизуют и дегидратируют в сорбиновую кислоту. Технические образцы сорбиновой кислоты очищают от побочных продуктов синтеза путём многократной перекристаллизации из этанола с последующей сублимацией в высоком вакууме либо перегонкой с водяным паром или другими высококипящими жидкостями.

Сорбиновая кислота (пищевая добавка E200) и её соли – сорбат натрия (E201), сорбат калия (E202), сорбат кальция (E203) являются противомикробными агентами, часто используемыми в продуктах питания и напитках для предотвращения роста плесени, дрожжей и грибков. В составе жидких пищевых ароматизаторов сорбиновая кислота может использоваться в качестве консерванта, в целях предотвращения микробиологической порчи продукта и сохранения его органолептических характеристик.

На основании вышеизложенного сформулирована гипотеза о том, что причиной контаминации ароматизатора кротоновым альдегидом может быть использование сорбиновой кислоты недостаточной степени очистки. К сожалению, в рамках проведённого эксперимента подтверждение выдвинутой гипотезы оказалось неосуществимым, ввиду отсутствия технической возможности проведения анализа сорбиновой кислоты, используемой в составе исследуемых образцов ароматизаторов.

Ещё одной из возможных версий контаминации может быть предположение о том, что кротоновый альдегид, обладающий высокой реакционной способностью, может образовываться в процессе синтеза ароматических компонентов, используемых при создании рецептур ароматизаторов. В качестве типичного примера синтеза эфиров с риском побочного образования кротонового альдегида можно привести реакцию конденсации ацетальдегида в присутствии спирта.

Исследования, модельных водно-спиртовых растворов ароматизаторов, проведенные методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием, показали, что компонентный состав соединений, влияющих на аромат, представленный в форме хроматографического профиля, позволяет не только определить состав ароматических соединений, но и оценить их соотношение. Хроматографический профиль может быть использован в качестве «отпечатка пальцев» или «паспорта качества продукта» для сравнения образцов и выявления отклонений от стандарта (рисунки 2–5).

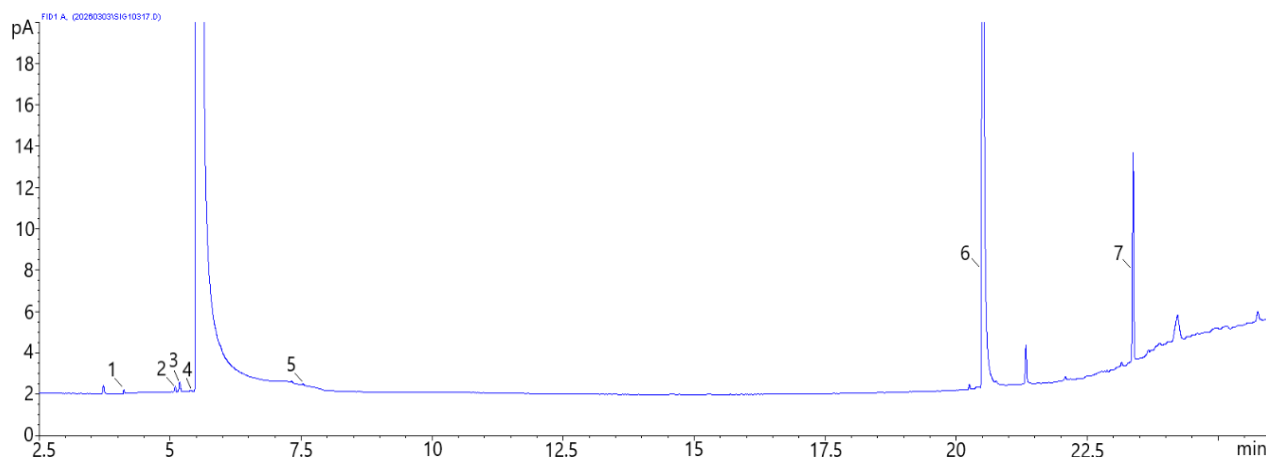


Рисунок 2. Хроматограмма водно-спиртового раствора ароматизатора «Брусника»: 1 – уксусный альдегид, 2 – этилацетат, 3 – метанол, 4 – 2-пропанол, 5 – кротоновый альдегид, 6 – 1,2-пропиленгилколь, 7 – бензиловый спирт  
 Figure 2. Chromatogram of a water-alcohol solution of the "Lingonberry" flavoring: 1 – acetaldehyde, 2 – ethyl acetate, 3 – methanol, 4 – 2-propanol, 5 – crotonaldehyde, 6 – 1,2 – propylene glycol, 7 – benzyl alcohol

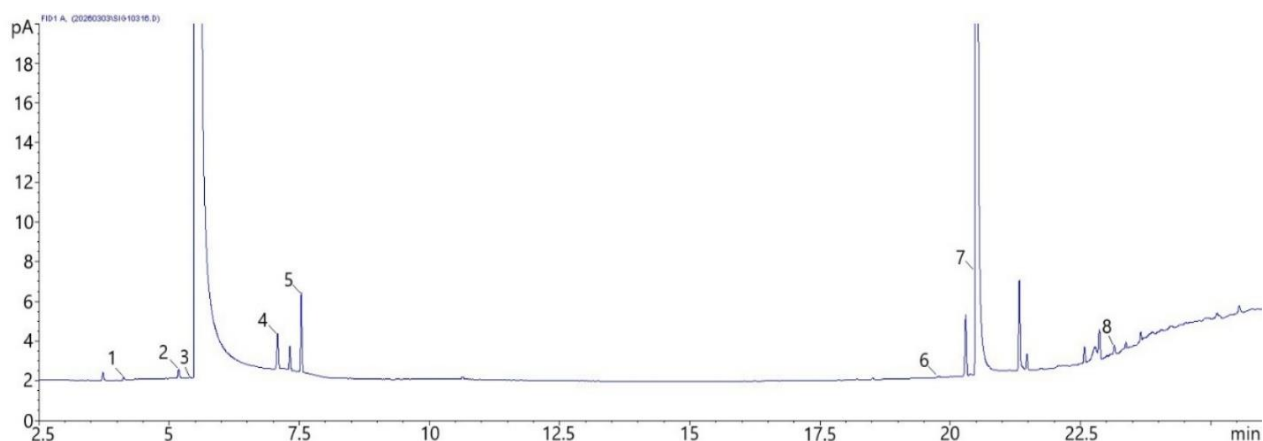


Рисунок 3. Хроматограмма водно-спиртового раствора ароматизатора «Клюква»: 1 – уксусный альдегид, 2 – метанол, 3 – 2-пропанол, 4 – этилбутират, 5 – кротоновый альдегид, 6 – бензальдегид, 7 – 1,2-пропиленгилколь, 8 – бензиловый спирт  
 Figure 3. Chromatogram of a water-alcohol solution of the "Cranberry" flavoring: 1 – acetaldehyde, 2 – methanol, 3 – 2-propanol, 4 – ethyl butyrate, 5 – crotonaldehyde, 6 – benzaldehyde, 7 – 1,2 – propylene glycol, 8 – benzyl alcohol

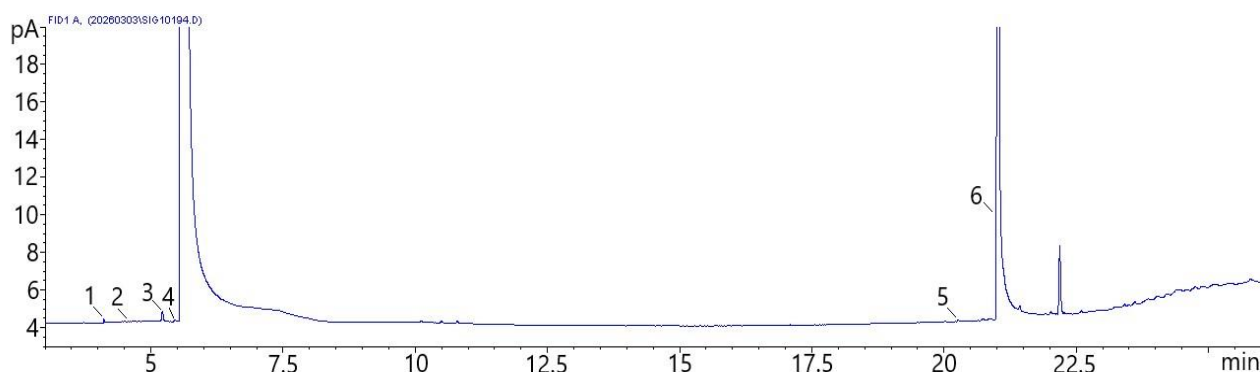


Рисунок 4. Хроматограмма водно-спиртового раствора ароматизатора «Лайм»: 1 – уксусный альдегид, 2 – ацетон, 3 – метанол, 4 – 2-пропанол, 5 – бензальдегид, 6 – 1,2-пропиленгилколь  
 Figure 4. Chromatogram of a water-alcohol solution of the "Lime" flavoring: 1 – acetaldehyde, 2 – acetone, 3 – methanol, 4 – 2-propanol, 5 – benzaldehyde, 6 – 1,2 – propylene glycol

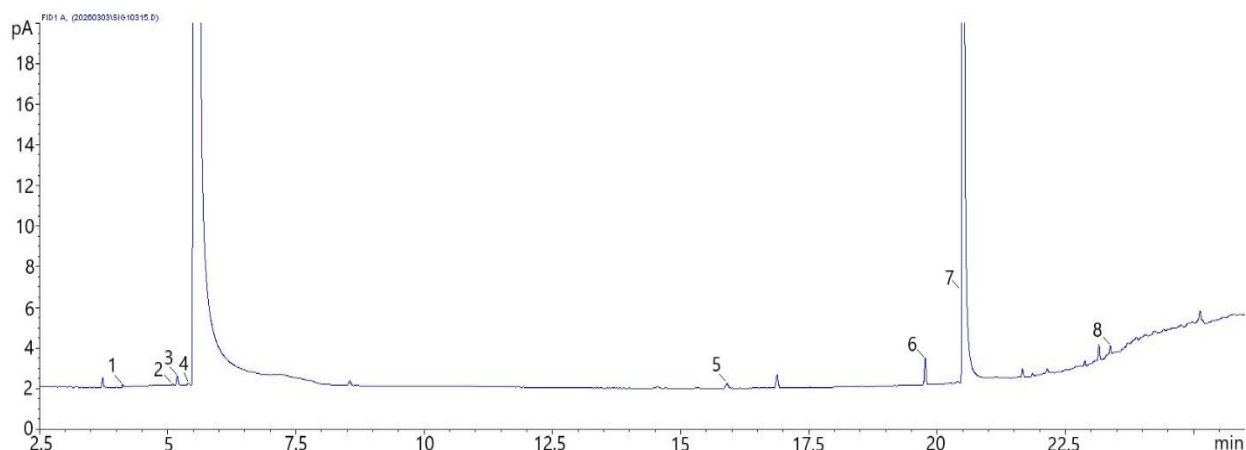


Рисунок 5. Хроматограмма водно-спиртового раствора ароматизатора «Персик»: 1 – уксусный альдегид, 2 – этилацетат, 3 – метанол, 4 – 2-пропанол, 5 – 1-гексанол, 6 – бензальдегид, 7 – 1,2-пропиленгликоль, 8 – бензиловый спирт

Figure 5. Chromatogram of a water-alcohol solution of the "Peach" flavoring: 1 – acetaldehyde, 2 – ethyl acetate, 3 – methanol, 4 – 2-propanol, 5 – 1-hexanol, 6 – benzaldehyde, 7 – 1,2 – propylene glycol, 8 – benzyl alcohol

На хроматограммах модельных водно-спиртовых растворов ароматизаторов были зарегистрированы пики, соответствующие неустановленным компонентам. Присутствие значительного количества неидентифицированных пиков, можно объяснить тем, что ароматизаторы представляют собой сложные композиционные смеси, включающие вещества различных химических классов: альдегиды, кетоны, эфиры, спирты, карбоновые кислоты и другие соединения.

В целях достоверной идентификации неидентифицированных компонентов оптимальным представляется использование метода газовой хромато-масс-спектрометрии, обеспечивающего высокую разрешающую способность и селективность анализа. Реализация данного подхода определена нами в качестве основной методологической стратегии планируемых исследований.

### Заключение

По итогам выполнения исследовательских задач и анализа полученных экспериментальных данных сформулированы следующие основные выводы:

1. Экспериментально подтверждено, что разработанная методика перспективна для применения в контроле технологических процессов производства водок, при разработке новых рецептов, для контроля массовой концентрации носителей 1,2-пропиленгликоля, бензинового спирта и триацетина в составе ароматизаторов.

2. Полученные с применением разработанной методики экспериментальные данные о химическом составе ароматизаторов, представляют несомненный научный и практический интерес в качестве основы для разработки нормативной документации в области производства ароматизированных алкогольных напитков.

3. Результаты исследований могут быть включены в учебную программу в качестве примера современного подхода к анализу химического состава продукции и использованы в образовательной деятельности при подготовке специалистов в области технологии производства алкогольных напитков.

### Благодарность

Исследования выполнены в рамках государственного задания № FGMP-2025-0009.

### Литература

- Петров Д.А., Василевская С.П., Шейда Е.В. Использование добавок в производстве водки особой // Научные исследования 2025. Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Пенза, 12 декабря, 2025. С. 59-61.
- Чепель Н. Использование ароматизаторов в производстве особой водки "Капитан" // Товары и рынки. 2012. № 1 (13). С. 131-138.
- Шелехова Н.В. Хроматографическое определение триацетина, бензинового спирта и 1,2-пропиленгликоля в спиртных напитках // Сорбционные и хроматографические процессы. 2026. Т.26(1). С. 202-216. doi:10.17308/sorpchrom.2026.26/13737
- Скопченко П.А., Гайдеров А.Г. Исследование новых методов использования ароматизаторов в рецептурах водок. Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике. Сборник трудов I международной научно-методической конференции. Уфа, 29-30 апреля, 2014. С. 145-146.
- Оберенко А.В., Качин С.В., Сагалаков С.А., Яковлев А.Д. и др. Исследование состава ароматизаторов для алкогольных напитков домашней выработки // Техника и технология пищевых производств. 2025. Т.55. № 1. С.89-106. doi: 10.21603/2074-9414-2025-1-2559

- 6 Сейлханова М.А. Использование натуральных ароматизаторов и специй в производстве варено-копченых изделий из баранины // Электронный сборник статей по материалам CLVII студенческой международной научно-практической конференции, Новосибирск, 15 января, 2026. С. 106-112.
- 7 Бабушкин В.А., Зубкова Ю.С., Линник В.С. Влияние ароматизаторов и их доз на потребление корма свиньями на откорме // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. №2. С.164-167. doi: 10.24412/2311-6447-2021-2-164-167
- 8 Багрянцева О.В. Новые регламенты использования пищевых добавок, ароматизаторов и ферментных препаратов в молочной промышленности // Переработка молока. 2024. №7(297). С. 38-42. doi: 10.33465/2222-5455-2024-7-36-40
- 9 Глумова Н.В., Богодист-Тимофеева Е.Ю., Ножко Е.С. Натуральные ароматизаторы в производстве майонезной продукции // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2019. №1. С. 352-357.
- 10 De Castilhos MBM, de Queiroga APG, Sabino LL, dos Santos JR, Santiago UA, et al. Flavor biochemistry of fermented alcoholic beverages. In book: Natural Flavours, Fragrances, and Perfumes. 2023, С. 91–114. doi:10.1002/9783527824816.ch6
- 11 Николаева Ю.В., Конькова А.Ю., Тарасова В.В. Исследование влияния вкусоароматических ингредиентов на органолептические показатели ароматизаторов // Пищевая промышленность. 2024. № 6. С. 68-71. doi: 10.52653/PPI.2024.6.6.014
- 12 Wu J, Liu Y, Zhao H, Huang M. и др. Recent advances in the understanding of off-flavors in alcoholic beverages: Generation, regulation, and challenges // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. № 103. С. 104117. doi: 10.1016/j.jfca.2021.104117.
- 13 Койнова П.М., Зворыгина В.А., Мажаева Т.В., Козубская В.И., Нефедова Ю.Н. Пищевые добавки в составе напитков и пищевых концентратов и их влияние на здоровье потребителей // Сборник статей X Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Медицинское образование, наука, практика», Екатеринбург, 22-23 апреля, 2025. С. 670-675.
- 14 Оберенко А. В., Селезнев В. М. Ароматизаторы в составе коньяков, изымаемых из незаконного оборота на территории Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2019. №2 (143) С. 144-149.
- 15 Саввина Ю.В., Колесников С.А. Законодательство-2024: ближайшее будущее пищевой промышленности // Контроль качества продукции. 2024. № 5. С. 20-26.
- 16 Смирнов Е.В. Пищевые ароматизаторы: законодательная база, нормирование, применение. // Молочная промышленность. 2020. № 3. С. 42-44.
- 17 Яковлев А.Д. Исследование состава ароматизаторов для алкогольных напитков методом ИК-спектрии НПВО с последующей математической обработкой // Сборник материалов XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный – 2023», Красноярск, 24–29 апреля, 2023. С. 943-945.
- 18 Лисицкая Р.П., Кучменко Т.А. Определение искусственных ароматизаторов в вине с применением пьезосенсоров // Сборник научных статей и докладов XI Международной научно-практической конференции, Воронеж, 4-5 июля, 2024. С. 532-533.
- 19 Шелехова Н.В. Методы газовой хроматографии и капиллярного электрофореза для исследования химического состава выдержанных зерновых дистиллятов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т.24. №4. С. 556-571 doi:10.17308/sorpchrom. 2024.24/12410
- 20 Daute M, Jack F, Baxter I, Harrison и др. Comparison of three approaches to assess the flavour characteristics of scotch whisky spirit // Applied Sciences. 2021. № 11(4). С. 1410. doi:10.3390/app11041410
- 21 Ma L, Gao W, Chen F, Meng Q. HS-SPME and SDE combined with GC-MS and GC-O for characterization of flavor compounds in Zhizhonghe Wujiapi medicinal liquor // Food Research International. 2020. № 137. С. 109590. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109590
- 22 Лопухов Л.В., Лайков А.В., Салафутдинов И.И., Романова В.А. и др. Исследование воздействия акролеина и кротонового альдегида в российской популяции при переходе с обычных сигарет на электронную систему нагревания табака // Ученые записки казанского университета. серия естественные науки. 2023. Т. 165, кн. 2. С. 190–203. doi:10.26907/2542-064X.2023.2.190-203
- 23 Peng J, Yang Y, Zhou Y, Hocart CH и др. Headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry with selected ion monitoring for the determination of four food flavouring compounds and its application in identifying artificially scented rice // Food Chemistry. 2020. № 313. С. 126136. doi:10.1016/j.foodchem. 2019.126136
- 24 Amundsen M., Jaakola L., Aaby K., Martinussen I. и др. Effect of ripening temperature on the chemical composition of lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.) of northern and southern origin // Food Research International. 2023 Т. 167. С. 112738. doi:10.1016/j.foodres.2023.112738.
- 25 Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Немзер Б.В. Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность. влияние потребления ягод на здоровье человека // Аналитика. 2019. Т9. №.3 С. 222-231. doi:10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230
- 26 Erndwein, L., Kawash, J., Knowles, S. и др. Cranberry fruit epicuticular wax benefits and identification of a wax-associated molecular marker // BMC Plant Biol. 2023. №. 23. С. 181. doi:10.1186/s12870-023-04207-w
- 27 Zucca F. Alcohol Reduction: Product Challenges, Approaches, and Application of Flavors. In book: Flavor-Associated Applications in Health and Wellness Food Products. 2024, С.225-250. doi:10.1007/978-3-031-51808-9\_10
- 28 Тананыкина С.Д. Определение искусственных ароматизаторов // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Современные направления развития бизнеса: конвергенция, стратегия и новые отраслевые альянсы», Москва, 17 ноября, 2024. С. 269-273.

## References

- 1 Petrov D.A., Vasilevskaya S.P., Sheida E.V. Use of additives in the production of specialty vodka. Scientific Research 2025. Collection of articles of the XIX International Scientific and Practical Conference. In 2 parts. Penza, December 12, 2025. pp. 59-61. (in Russian)
- 2 Chepel N. Use of flavorings in the production of specialty vodka "КАПИТАН". Goods and Markets. 2012. No. 1 (13). pp. 131-138. (in Russian)

- 3 Shelekhova N.V. Chromatographic Determination of Triacetin, Benzyl Alcohol and 1,2-propylene glycol in Alcoholic Beverages. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2026. Vol. 26, No 1. pp. 202-216. doi: 10.17308/sorpchrom.2026.26/13737 (in Russian)
- 4 Skopchenko P.A., Gaiderov A.G. Investigation of new methods for using flavorings in vodka formulations // *Innovations and High Technologies in Education and Economy. Proceedings of the I International Scientific and Methodological Conference*. Ufa, April 29-30, 2014. pp. 145-146. (in Russian)
- 5 Oberenko A.V., Kachin S.V., Sagalakov S.A., Yakovlev A.D., Kozel N.A. Investigation of the composition of flavorings for homemade alcoholic beverages // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025. Vol. 55. No. 1. pp. 89-106. doi: 10.21603/2074-9414-2025-1-2559 (in Russian)
- 6 Seilkhanova M.A. Use of natural flavorings and spices in the production of cooked-smoked mutton products // *Electronic collection of articles based on the materials of the CLVII Student International Scientific and Practical Conference, Novosibirsk, January 15, 2026*. pp. 106-112. (in Russian)
- 7 Babushkin V.A., Zubkova Yu.S., Linnik V.S. Influence of flavorings and their doses on feed intake by fattening pigs // *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Food Products*. 2021. No. 2. pp. 164-167. doi: 10.24412/2311-6447-2021-2-164-167 (in Russian)
- 8 Bagryantseva O.V. New regulations for the use of food additives, flavorings, and enzyme preparations in the dairy industry // *Milk Processing*. 2024. No. 7(297). pp. 38-42. DOI: 10.33465/2222-5455-2024-7-36-40 (in Russian)
- 9 Glumova N.V., Bogodist-Timofeeva E.Yu., Nozhko E.S. Natural flavorings in the production of mayonnaise products // *Electronic network polythematic journal "Scientific Works of KubSTU"*. 2019. No. 1. pp. 352-357. (in Russian)
- 10 De Castilhos MBM, de Queiroga APG, Sabino LL, dos Santos JR, Santiago UA, et al. Flavor biochemistry of fermented alcoholic beverages. In book: *Natural Flavours, Fragrances, and Perfumes*. 2023, pp. 91–114. doi: 10.1002/9783527824816.ch6
- 11 Nikolaeva Yu.V., Konkova A.Yu., Tarasova V.V. Investigation of the influence of flavoring ingredients on the organoleptic characteristics of flavorings. *Food Industry*. 2024. No. 6. pp. 68-71. doi: 10.52653/PPI.2024.6.6.014 (in Russian)
- 12 Wu J, Liu Y, Zhao H, Huang M, et al. Recent advances in the understanding of off-flavors in alcoholic beverages: Generation, regulation, and challenges. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021. No 103. pp. 104117. doi: 10.1016/j.jfca.2021.104117.
- 13 Koinova P.M., Zvorygina V.A., Mazhaeva T.V., Kozubskaya V.I. et al. Food additives in beverages and food concentrates and their impact on consumer health. *Collection of articles of the X International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Medical Education, Science, Practice"*, Yekaterinburg, April 22-23, 2025. pp. 670-675. (in Russian)
- 14 Oberenko A.V., Seleznev V.M. Flavorings in the composition of cognacs seized from illegal circulation in the Krasnoyarsk Territory. *Bulletin of KrasGAU*. 2019. No. 2 (143). pp. 144-149. (in Russian)
- 15 Savvina Yu.V., Kolesnikov S.A. Legislation-2024: the near future of the food industry. *Product Quality Control*. 2024. No. 5. pp. 20-26. (in Russian)
- 16 Smirnov E.V. Food flavorings: legislative framework, standardization, application. *Dairy Industry*. 2020. No. 3. pp. 42-44. (in Russian)
- 17 Yakovlev A.D. Investigation of the composition of flavorings for alcoholic beverages by ATR IR spectrometry with subsequent mathematical processing / A. D. Yakovlev. *Collection of materials of the XIX International Scientific Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists "Prospect Svobodny – 2023"*, Krasnoyarsk, April 24–29, 2023. pp. 943-945. (in Russian)
- 18 Lisitskaya R.P., Kuchmenko T.A. Determination of artificial flavorings in wine using piezosensors. *Collection of scientific articles and reports of the XI International Scientific and Practical Conference, Voronezh, July 4-5, 2024*, pp. 532-533. (in Russian)
- 19 Shelekhova N.V. Methods of gas chromatography and capillary electrophoresis for the study of the chemical composition of aged grain distillates. *Sorption and Chromatographic Processes*. 2024. Vol. 24. No. 4. pp. 556-571. doi: 10.17308/sorpchrom.2024.24/12410 (in Russian)
- 20 Daute M, Jack F, Baxter I, Harrison et al. Comparison of three approaches to assess the flavour characteristics of scotch whisky spirit. *Applied Sciences*. 2021. No 11(4). pp. 1410. doi:10.3390/app11041410
- 21 Ma L, Gao W, Chen F, Meng Q. HS-SPME and SDE combined with GC-MS and GC-O for characterization of flavor compounds in Zhizhonghe Wujiaji medicinal liquor. *Food Research International*. 2020. No.137. pp. 109590. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109590
- 22 Lopukhov L.V., Laikov A.V., Salafutdinov I.I., Romanova V.A., Lopukhov V.L., Grigoryeva T.V., Gaisina L.R., Osloпова Yu.V., Safina D.D., Valeeva I.Kh., Abdulkhakov S.R., Faizullin R.I., Kiyasov A.P. Investigation of the effects of acrolein and crotonaldehyde in the Russian population when switching from conventional cigarettes to an electronic tobacco heating system // *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*. 2023. Vol. 165, Book 2. pp. 190–203. doi: 10.26907/2542-064X.2023.2.190-203 (in Russian)
- 23 Peng J, Yang Y, Zhou Y, Hocart CH et al. Headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry with selected ion monitoring for the determination of four food flavouring compounds and its application in identifying artificially scented rice. *Food Chemistry*. 2020. No 313. Pp. 126136. doi:10.1016/j.foodchem. 2019.126136
- 24 Amundsen M., Jaakola L., Aaby K., Martinussen I. et al. Effect of ripening temperature on the chemical composition of lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.) of northern and southern origin. *Food Research International*. 2023 Vol. 167. pp. 112738. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112738.
- 25 Yashin A.Ya., Vedenin A.N., Yashin Ya.I., Nemzer B.V. Berries: chemical composition, antioxidant activity, impact of consumption of berries on health of the person. *Analytics*. 2015. Vol. No. 3. pp. 222-231. doi:10.22184/2227-572X.2019.09.3.222.230 (in Russian)
- 26 Erndwein, L., Kawash, J., Knowles, S. et al. Cranberry fruit epicuticular wax benefits and identification of a wax-associated molecular marker. *BMC Plant Biol*. 2023. No. 23. pp. 181. doi: 10.1186/s12870-023-04207-w

27 Zucca F. Alcohol Reduction: Product Challenges, Approaches, and Application of Flavors. In book: Flavor-Associated Applications in Health and Wellness Food Products. 2024, pp.225-250. doi: 10.1007/978-3-031-51808-9\_10

28 Tananykina S.D. Determination of artificial flavorings // Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference "Modern Directions of Business Development: Convergence, Strategy and New Industry Alliances", Moscow, November 17, 2024. pp. 269-273. (in Russian)

#### Сведения об авторах

**Наталья В. Шелехова** д.т.н., Заведующий, Лаборатория хроматографии, ВНИИПБТ - филиал ФГБУН "ФИЦ питания и биотехнологии", ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Россия, 111033, 4953610101@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7735-2942>

**Любовь И. Скворцова** научный сотрудник, Лаборатория хроматографии, ВНИИПБТ - филиал ФГБУН "ФИЦ питания и биотехнологии", ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Россия, 111033, 4953623751@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

**Наталья В. Полтавская** младший научный сотрудник, Лаборатория хроматографии, ВНИИПБТ - филиал ФГБУН "ФИЦ питания и биотехнологии", ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Россия, 111033, 4953623751@mail.ru

<https://orcid.org/0000-00031266-523X>

**Мария В. Амелякина** к.т.н., старший научный сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, ВНИИПБТ - филиал ФГБУН "ФИЦ питания и биотехнологии", ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Россия, 111033, foodbiotech@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

**Виктор В. Иванов** к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, ВНИИПБТ - филиал ФГБУН "ФИЦ питания и биотехнологии", ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Россия, 111033, foodbiotech@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

#### Вклад авторов

**Наталья В. Шелехова** общее руководство исследованиями, анализ полученных результатов, формулирование выводов, написание рукописи, несет ответственность за плагиат

**Любовь И. Скворцова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Наталья В. Полтавская** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты

**Мария В. Амелякина** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты

**Виктор В. Иванов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Natalia V. Shelekhova** Dr. Sci. (Tech), Head, Chromatography Laboratory, VNIIPBT - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution FITZ Nutrition and Biotechnology, 4B Samokatnaya St. Moscow, 111033, Russia, 4953610101@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7735-2942>

**Lyubov I. Skvortsova** researcher, Chromatography Laboratory, VNIIPBT - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution FITZ Nutrition and Biotechnology, 4B Samokatnaya St. Moscow, 111033, Russia, 4953623751@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

**Natalia V. Poltavskaya** Junior researcher, Chromatography Laboratory, VNIIPBT - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution FITZ Nutrition and Biotechnology, 4B Samokatnaya St. Moscow, 111033, Russia, 4953623751@mail.ru

<https://orcid.org/0000-00031266-523X>

**Maria V. Amelyakina** PhD (Eng.), Senior researcher, Department of Food Industry Equipment and Membrane Technologies, VNIIPBT - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution FITZ Nutrition and Biotechnology, 4B Samokatnaya St. Moscow, 111033, Russia, foodbiotech@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

**Victor V. Ivanov** PhD (Eng.), Leading researcher, Department of Food Industry Equipment and Membrane Technologies, VNIIPBT - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution FITZ Nutrition and Biotechnology, 4B Samokatnaya St. Moscow, 111033, Russia, foodbiotech@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

#### Contribution

**Natalia V. Shelekhova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Lyubov I. Skvortsova** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Natalia V. Poltavskaya** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Maria V. Amelyakina** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Victor V. Ivanov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/03/2026	После редакции 06/04/2026	Принята в печать 30/04/2026
Received 21/03/2026	Accepted in revised 06/04/2026	Accepted 30/04/2026