

## Хроматографические методы в изучении химического состава алкогольных напитков

Геннадий В. Агафонов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:gvagafonov@mail.ru">gvagafonov@mail.ru</a>	 0000-0002-2133-5606
Константин К. Полянский	<sup>2</sup>	<a href="mailto:tovar201@list.ru">tovar201@list.ru</a>	 0000-0002-5659-1423
Наталья В. Шелехова	<sup>3</sup>	<a href="mailto:4953610101@mail.ru">4953610101@mail.ru</a>	 0000-0001-7735-2942
Алла Е. Чусова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:hycovai@mail.ru">hycovai@mail.ru</a>	 0000-0003-1237-4870
Михаил П. Тарарыков	<sup>1</sup>	<a href="mailto:cmitttt@mail.ru">cmitttt@mail.ru</a>	 0000-0001-2254-5293

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

2 Воронежский филиал «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Воронеж

3 ВНИИПБТ – филиал «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»

**Аннотация.** Данная работа проведена с целью изучения возможностей комплексного применения методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза для определения химического состава спиртных напитков на примере водки «Береза». Методом газовой хроматографии выявлены: уксусный альдегид массовой концентрацией 4,18 дм<sup>3</sup>б.с., ацетон 16,7 мг/дм<sup>3</sup>б.с., метиловый спирт 0,00119 об. б.с и 2-пропанол 0,61 мг/дм<sup>3</sup>б.с. Обнаружено превышение показателя массовой концентрации уксусного альдегида, который составляет 4,18 дм<sup>3</sup>б.с. против 3,0 дм<sup>3</sup>б.с. как регламентирует государственный стандарт. Установлены возможные причины повышенного содержания уксусного альдегида и образования ацетона в водке. В качестве референтного использовали метод газовой хромато-масс-спектрометрии, который подтвердил достоверность идентификации более чем на 98%, на основании анализа совпадения библиотечных и экспериментальных масс-спектров. Методом капиллярного электрофореза установлено, что в образце водки присутствуют хлориды, нитраты, формиаты, аммоний, калий, магний, массовая концентрация которых составляет менее 0,5 мг/дм<sup>3</sup> каждого. Кроме того, обнаружены цитраты массовой концентрацией 2,32 мг/дм<sup>3</sup>, кальций 4,11 мг/дм<sup>3</sup>, натрий 14,33 мг/дм<sup>3</sup> и марганец 0,32 мг/дм<sup>3</sup>. Исследование ионного состава березового сока, используемого в качестве ингредиента, при приготовлении водки, показало, что массовая концентрация хлоридов составляет 7,52 мг/дм<sup>3</sup>, сульфатов 18,79 мг/дм<sup>3</sup>, оксалатов 0,24 мг/дм<sup>3</sup>, формиатов 18,84 мг/дм<sup>3</sup>, фторидов 2,02 мг/дм<sup>3</sup>, фумаратов 5,90 мг/дм<sup>3</sup>, малатов 16,60 мг/дм<sup>3</sup>, цитратов 315,72 мг/дм<sup>3</sup>, гликолятов 17,82 мг/дм<sup>3</sup>, ацетатов 33,80 мг/дм<sup>3</sup>, лактатов 10,05 мг/дм<sup>3</sup>, фосфатов 26,38 мг/дм<sup>3</sup>, аммония 1,70 мг/дм<sup>3</sup>, калия 16,87 мг/дм<sup>3</sup>, кальция 83,23 мг/дм<sup>3</sup>, натрия 1,02 мг/дм<sup>3</sup>, магния 18,93±14% мг/дм<sup>3</sup>, марганца 5,21 мг/дм<sup>3</sup>. Присутствие лимонной кислоты массовой концентрацией 315,72 мг/дм<sup>3</sup>, не характерно для березового сока, дает основание полагать, что ее использовали как регулятор кислотности при производстве. Таким образом, причиной повышенного содержания уксусного альдегида и образования ацетона в исследуемом образце могло стать использование березового сока, содержащего лимонную кислоту. Проведенное исследование подтвердило целесообразность использования методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза в комплексе для изучения состава спиртных напитков.

**Ключевые слова:** водка, капиллярный электрофорез, газовая хроматография, хромато-масс-спектрометрия, ионный состав, ацетон, лимонная кислота.

## Chromatographic methods in the study of the chemical composition of alcoholic beverages

Gennady V. Agafonov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:gvagafonov@mail.ru">gvagafonov@mail.ru</a>	 0000-0002-2133-5606
Konstantin K. Polyansky	<sup>2</sup>	<a href="mailto:tovar201@list.ru">tovar201@list.ru</a>	 0000-0002-5659-1423
Natalia V. Shelekhova	<sup>3</sup>	<a href="mailto:4953610101@mail.ru">4953610101@mail.ru</a>	 0000-0001-7735-2942
Alla E. Chusova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:hycovai@mail.ru">hycovai@mail.ru</a>	 0000-0003-1237-4870
Mikhail P. Tararykov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:cmitttt@mail.ru">cmitttt@mail.ru</a>	 0000-0001-2254-5293

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

2 Voronezh branch of "Plekhanov Russian University of Economics", Voronezh

3 VNIIPBT - branch of "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety".

**Abstract.** This work was carried out to study the possibilities of complex application of methods of gas chromatography, chromatography-mass spectrometry, capillary electrophoresis to determine the chemical composition of alcoholic beverages on the example of vodka Bereza. Gas chromatography method revealed: acetic aldehyde mass concentration of 4.18 dm<sup>3</sup>b.s., acetone 16.7 mg/dm<sup>3</sup>b.s., methyl alcohol 0.00119 vol. b.s. and 2 propanol 0.61 mg/dm<sup>3</sup>b.s. The mass concentration of acetic aldehyde was found to be higher than that of acetic aldehyde, which is 4.18 dm<sup>3</sup>b.s. against 3.0 dm<sup>3</sup>b.s. as regulated by the state standard. Possible reasons for the increased content of acetic aldehyde and acetone formation in vodka were established. The method of gas chromatography-mass spectrometry was used as a reference method, which confirmed the reliability of identification by more than 98 %, based on the analysis of the coincidence of library and experimental mass spectra. By capillary electrophoresis method it was found that the vodka sample contains chlorides, nitrates, formates, ammonium, potassium, magnesium, the mass concentration of which is less than 0.5 mg/dm<sup>3</sup> each. In addition, citrates with a mass concentration of 2.32mg/dm<sup>3</sup>, calcium 4.11mg/dm<sup>3</sup>, sodium 14.33mg/dm<sup>3</sup> and manganese 0.32mg/dm<sup>3</sup> were detected. The study of ionic composition of birch sap used as an ingredient in the preparation of vodka showed that the mass concentration of chlorides is 7.52mg/dm<sup>3</sup>, sulfates 18.79mg/dm<sup>3</sup>, oxalates 0.24mg/dm<sup>3</sup>, formates 18.84mg/dm<sup>3</sup>, fluorides 2.02mg/dm<sup>3</sup>, fumarates 5.90mg/dm<sup>3</sup>, malates 16.60mg/dm<sup>3</sup>, citrates 315.72mg/dm<sup>3</sup>, glycolates 17.82mg/dm<sup>3</sup>, acetates 33.80mg/dm<sup>3</sup>, lactates 10.05mg/dm<sup>3</sup>, phosphates 26.38mg/dm<sup>3</sup>, ammonium 1.70mg/dm<sup>3</sup>, potassium 16.87mg/dm<sup>3</sup>, calcium 83.23mg/dm<sup>3</sup>, sodium 1.02mg/dm<sup>3</sup>, magnesium 18.93±14 % mg/dm<sup>3</sup>, manganese 5.21mg/dm<sup>3</sup>. The presence of citric acid with a mass concentration of 315.72mg/dm<sup>3</sup> is not typical for birch sap and suggests that it was used as an acidity regulator during production. Thus, the reason for the increased content of acetic aldehyde and acetone formation in the studied sample could be the use of birch sap containing citric acid. The conducted study confirmed the expediency of using the methods of gas chromatography, chromatography-mass spectrometry and capillary electrophoresis in combination to study the composition of alcoholic beverages.

**Keywords:** vodka, capillary electrophoresis, gas chromatography, chromatography-mass spectrometry, ionic composition, acetone, citric acid.

### Для цитирования

Агафонов Г.В., Полянский К.К., Шелехова Н.В., Чусова А.Е., Тарарыков М.П. Хроматографические методы в изучении химического состава алкогольных напитков // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 164–172. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-164-172

### For citation

Agafonov G.V., Polyansky K.K., Shelekhova N.V., Chusova A.E., Tararykov M.P. Chromatographic methods in the study of the chemical composition of alcoholic beverages. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 164–172. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-164-172

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

## Введение

Водка – спиртной напиток, произведенный на основе ректификованного этилового спирта и исправленной воды, крепостью от 37,5 до 56,0% об., представляющий собой бесцветный водно-спиртовой раствор с мягким, присущим водке, вкусом и характерным водочным ароматом [1]. Технологический процесс приготовления водок включает следующие основные этапы: приготовление исправленной воды, смешивание ректификованного этилового спирта из пищевого сырья с исправленной водой, обработку водно-спиртового раствора активным углем, внесение ингредиентов в соответствии с рецептурой, розлив в потребительскую упаковку, хранение готовой продукции [1–4]. На всех этапах технологического процесса приготовления водок необходим инструментальный контроль [5].

Инструментальные методы контроля широко применяют в различных областях, в том числе и в контроле качества и безопасности алкогольной продукции. Эти методы позволяют выявлять и анализировать различные химические соединения, определять их массовую концентрацию и проверять ее соответствие нормативам. Газовая хроматография применяется для анализа органических соединений, хромато-масс-спектрометрия – для определения масс и структуры веществ, капиллярный электрофорез – для разделения и анализа ионного состава сложных многокомпонентных сред [4–6].

Методы газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза представляют собой мощные инструменты как для скрининга, так и для идентификации целевых аналитов, обеспечивая точные и надежные результаты, которые могут быть использованы в науке и промышленности [7]. Комбинирование этих методов обеспечивает детальное изучение химического состава алкогольной продукции.

Основным положением данного подхода к идентификации спиртных напитков является концепция комплексного исследования, основанного на сочетании газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза, при этом, метод газовой хроматографии используют в целях предварительного анализа для определения массовой концентрации летучих органических примесей, метод хромато-масс-спектрометрии в качестве референтного метода для подтверждения идентификации, метод капиллярного электрофореза для определения катионов, анионов органических и неорганических кислот [8–10]. Эффективность предложенного подхода обеспечивается за счет синергии преимуществ обоих детекторов.

**Цель работы** – теоретически обосновать и экспериментально подтвердить целесообразность комплексного использования методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза для повышения информативности анализа спиртных напитков. На примере образа водки «Береза» выявить причину превышения нормативных показателей по уксусному альдегиду, определить неидентифицированный пик на хроматограмме и установить причину его возникновения.

## Материалы и методы

**Объект исследования.** Образец водки «Береза» (Название изменено, любое совпадение следует считать случайностью.) Состав: вода питьевая исправленная, спирт этиловый ректификованный «Люкс» из пищевого сырья, сок березовый натуральный, сахар, мед натуральный, фруктоза, регулятор кислотности сода пищевая, молочная кислота. Промышленный образец березового сока. Состав: сок березы натуральный, экологически чистый, без консервантов.

Хроматографическое исследование проводили на газовом хроматографе Agilent 6850 (США) с пламенно-ионизационным детектором с пределом детектирования не более  $5 \cdot 10^{-12}$  г/с и капиллярной колонкой HP-FFAP. Условия хроматографирования: температура детектора 210 °С, температура испарителя 115 °С, коэффициент деления потока 25:1, объем пробы 0.7 мм<sup>3</sup>. Начальная температура термостата колонок 80 °С, выдержка 0,1 мин, программирование со скоростью 10 °С до 55 °С (7–8 мин), программирование со скоростью 7 °С до 230 °С (5 мин). Скорость потока газа-носителя (азот) 0.048–0.072 дм<sup>3</sup>/ч, скорость потока воздуха 18 дм<sup>3</sup>/ч, скорость потока водорода 1.8 дм<sup>3</sup>/ч. Время анализа 28 мин.

Хромато-масс-спектрометрическое исследование проводили на газовом хроматографе Маэстро 7820 с масс-селективным детектором (Россия, США) и капиллярной колонкой HP-FFAP. Условия хроматографирования: газ-носитель гелий, скорость потока 0.6 мл/мин, температура испарителя 130 °С, объем дозирования пробы 0.5 мкл, начальная температура термостата 75 °С программа подъема температуры до 220 °С, время анализа 15 мин, энергия ионизирующих электронов 70 эВ, температура интерфейса 210 °С, температура ионного источника 220 °С, режим регистрации – сканирование по полному ионному току в режиме SCAN в диапазоне массовых чисел  $m/z$  19–400. Идентификацию проводили сопоставлением полученных масс-спектров с соответствующими данными библиотеки, с использованием программного обеспечения NIST11.

Электрофоретическое исследование проводили на системе капиллярного электрофореза PrinCE750 (Нидерланды) с кондуктометрическим детектором с пределом детектирования  $10^{-7} - 10^{-9}$  моль/л и полым кварцевым капилляром с внутренним диаметром 50 мкм, общей длиной 110 см, эффективной длиной 14 см. Рабочий электролит: 30 мМоль/дм<sup>3</sup> L-Histidine, 30 мМоль/дм<sup>3</sup> 2-Morpholinoethanesulfonic acid Monohydrate, 2 мМоль/дм<sup>3</sup> 18-crown. Условия анализа: напряжение +25кВ, температура капилляра +21°C, ввод пробы гидродинамический 30мБарв течении 40 с, время анализа 22 мин.

### Результаты и обсуждение

При проведении настоящего исследования реализован подход, основанный на сочетании современных инструментальных методов анализа.

Предложенный подход позволяет достичь более точных результатов и увеличить надежность идентификации спиртных напитков. Он также позволяет определить массовую концентрацию органических примесей, которые могут влиять на качество и безопасность продукта. Использование различных методов анализа в комбинации позволяет получить наиболее полную информацию о составе спиртных напитков и идентифицировать все компоненты. Это может быть важно в том числе и для выявления фальсификаций алкогольной продукции или нарушения требований к качеству. Таким образом, в целом, предложенный подход к идентификации спиртных напитков обеспечивает более полное и надежное аналитическое исследование продукта. Для реализации предложенного подхода составлен алгоритм идентификации (рисунок 1).

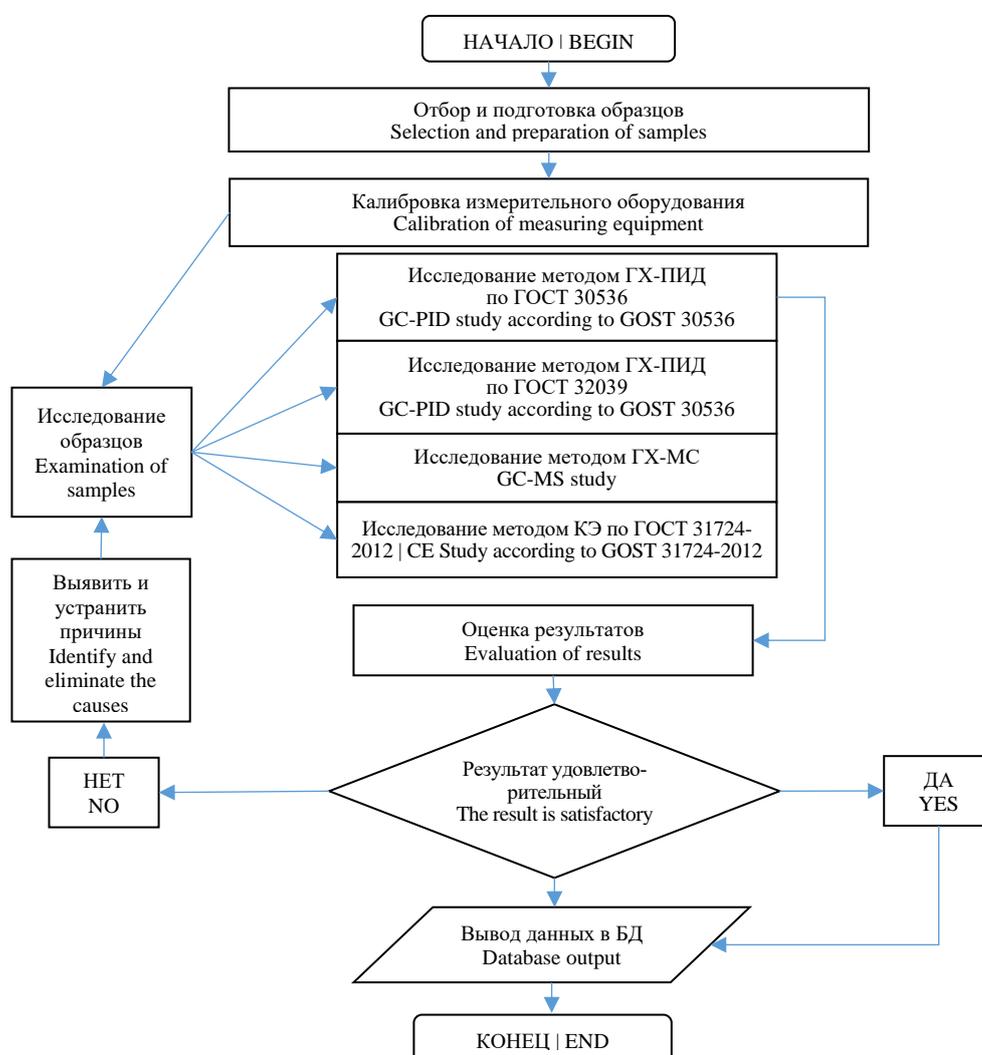


Рисунок 1. Принципиальный алгоритм проведения исследований водок методом газовой газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза

Figure 1. Principle algorithm of vodka studies by gas chromatography, chromatography-mass spectrometry, capillary electrophoresis methods

Следует отметить, что разработанный алгоритм идентификации может быть более сложным и содержать дополнительные шаги в зависимости от специфики задачи. Предлагаемый алгоритм представляет общий подход и может быть настроен и модифицирован в соответствии с конкретными требованиями и условиями задачи. Необходимо подчеркнуть, что перспективным направлением развития данной тематики является использование искусственного интеллекта в контроле качества и безопасности алкогольной продукции.

На первом этапе исследования методом газовой хроматографии в соответствии с ГОСТ 30536–2013 «Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический экспресс-метод. Определения содержания токсичных микропримесей» [11], который регламентирует определение уксусного альдегида (ацетальдегид), метилацетата, этилацетата, 2-пропанола, 1-пропанола, изобутанола, 1-бутанола и изоамилола в диапазоне от 0,5 мг/дм<sup>3</sup> до 10,0 мг/дм<sup>3</sup> б.с. и метилового спирта в диапазоне от 0,0001% об. б.с. до 0,0500% об. б.с. в водках, водках особых и этиловом ректифицированном спирте из пищевого сырья (рисунок 2).

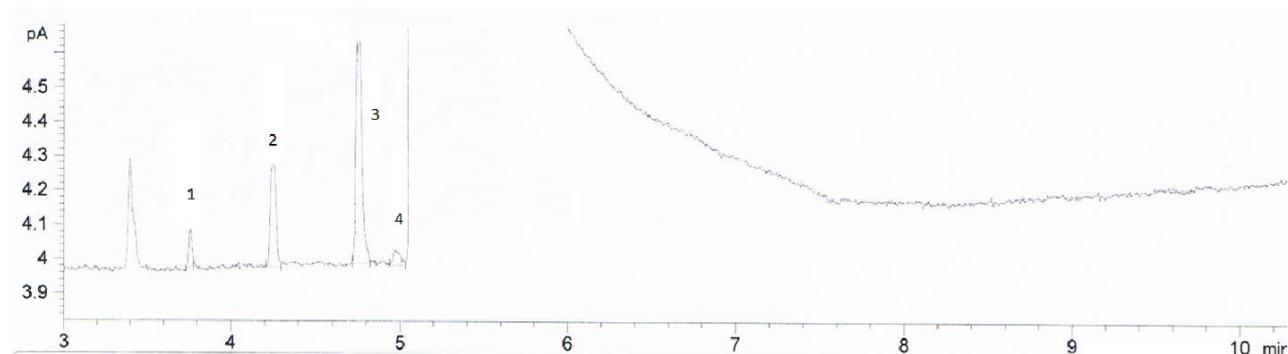


Рисунок 2. Хроматограмма водки «Береза»: 1 – 1-уксусный альдегид (ацетальдегид), 2 – неидентифицированный пик, 3 – метанол, 4 – 2-пропанол

Figure 2. Chromatogram of vodka "Birch": 1 - 1 acetic aldehyde (acetaldehyde), 2 - unidentified peak, 3 - methanol, 4 - 2 propanol

Установлено, что в образце присутствует уксусный альдегид (ацетальдегид) массовой концентрацией  $4,18 \pm 0,63 \text{ мг/дм}^3$  б.с., метиловый спирт  $0,00119 \pm 0,00018\%$  об. б.с., 2-пропанол  $0,61 \pm 0,092 \text{ мг/дм}^3$  б.с. Кроме того, обнаружен неидентифицированный пик. Следует отметить превышение показателя «массовая концентрация уксусного альдегида», который составляет  $4,18 \pm 0,63 \text{ мг/дм}^3$  б.с., тогда как нормативный документ ГОСТ 12712–2013 «Водки и водки особые. Общие технические условия» [12] регламентирует содержание уксусного альдегида для водок из спирта «Люкс» не более  $3,0 \text{ мг/дм}^3$ . Дальнейшие исследования водки «Береза» проводились с целью выявления причины превышения нормативных показателей по уксусному альдегиду, идентификации неидентифицированного пика, обнаруженного на хроматограмме и установление причины его возникновения.

В соответствии с составленным алгоритмом проведено исследования образца водки «Береза». В целях идентификации неидентифицированного пика, проведено исследование образца в соответствии с ГОСТ 32039–2013 «Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический метод определения подлинности» [13]. Стандарт предназначен для исследовательских работ и накопления статистических данных, распространяется на водки и водки особые, спирт

этиловый ректифицированный из пищевого сырья и устанавливает газохроматографический метод определения содержания токсичных микропримесей, не характерных для водки и спирта. Проведенное исследование водки Береза, кроме уксусного альдегида, метилового спирта, 2-пропанола, позволило идентифицировать ацетон массовой концентрацией  $16,7 \pm 2,5 \text{ мг/дм}^3$  б.с., не определяемый по ГОСТ 30536–2013.

В целях подтверждения достоверности идентификации в качестве референтного метода был выбран метод газовой хромато-масс-спектрометрии [14]. Методом хромато-масс-спектрометрии с применением библиотеки масс-спектров NIST 11 подтвержден качественный состав представленного образца (рисунок 3).

Проведена идентификация полученных масс-спектров путем сравнения с масс-спектрами библиотеки. При сопоставлении библиотечного и экспериментального масс-спектров индивидуальные химические соединения считали идентифицированными, если экспериментальные спектры, соответствовали не менее, чем на 90%, масс-спектрам известных химических соединений, зарегистрированных в библиотеке NIST 11. В качестве иллюстрации на рисунке 4 отображены экспериментальный и библиотечный масс-спектры ацетона (рисунок 4).

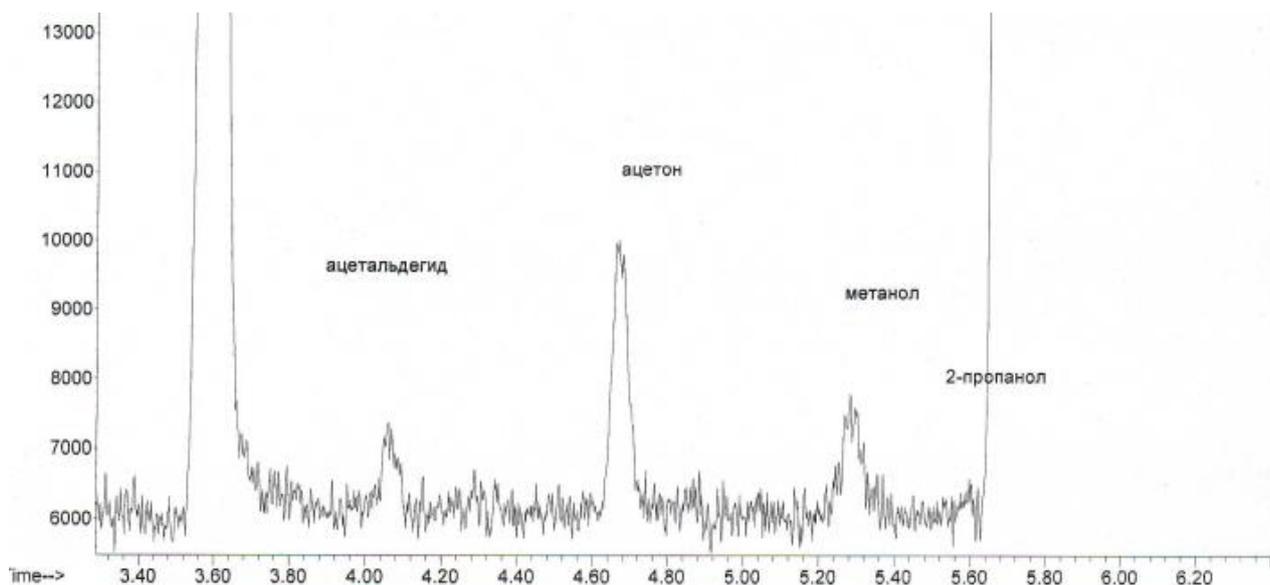


Рисунок 3. Хроматограмма водки «Береза»

Figure 3. Chromatogram of "Birch" vodka

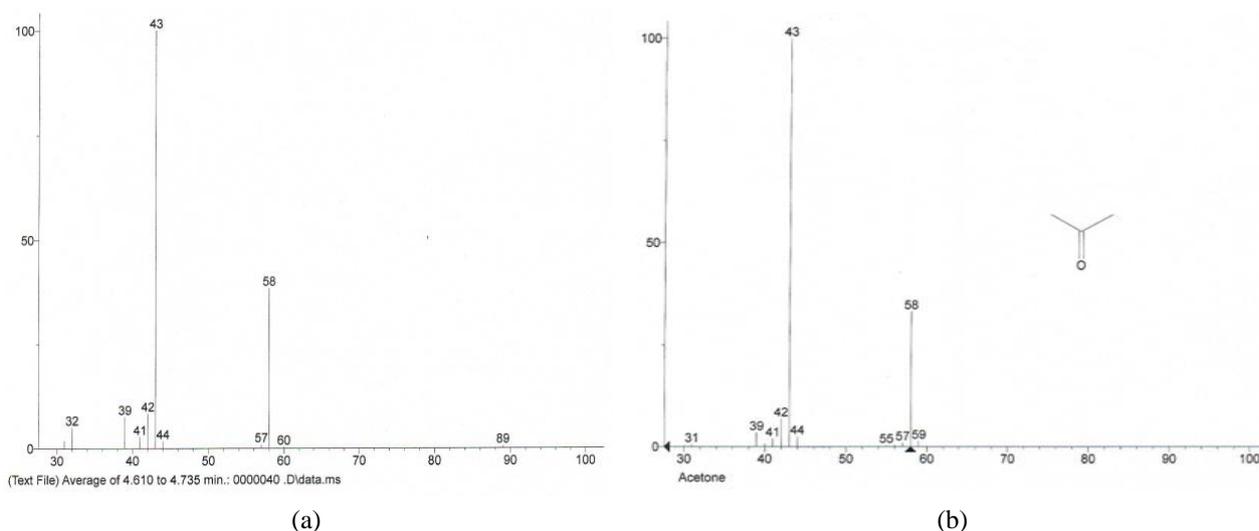


Рисунок 4. Масс-спектр ацетона: (а) – экспериментальный; (б) – библиотечный  
Figure 4. Acetone mass spectrum: (a) - experimental; (b) - library spectrum

Таким образом, методом газовой хромато-масс-спектрометрии экспериментально подтверждено присутствие в исследуемом образце уксусного альдегида, ацетона, метилового спирта, 2-пропанола. Следует отметить, что ацетон не является характерной примесью спирта этилового ректифицированного и водок, приготовленных на его основе.

Ацетон (пропан-2-он, диметилкетон) – жидкость с характерным резким запахом и температурой кипения 58.08 °С, хорошо растворима в воде, спиртах и эфирах, обладает способностью к окислению и восстановлению, вступает в реакции альдольной и кротоновой конденсации. Ацетон является естественным метаболитом

организма человека и животных, однако, при накоплении в высоких концентрациях может приводить к развитию кетоацидоза [15, 16].

В литературе представлены разноречивые сведения о влиянии ацетона в водке на организм человека [15, 16]. Известно, что ацетон может содержаться во многих спиртных напитках, полученных методом дистилляции, в том числе в коньяках, виски, кальвадосе, роме и других напитках. Однако, данные в пользу того, что дистиллированные напитки оказывают более выраженное токсичное действие на организм человека – отсутствуют [17].

Исследования, направленные на изучение причин образования ацетона в водках, проведенные группой исследователей ВНИИПБТ

под руководством доктора технических наук, профессора, академика РАН Полякова В.А., показали, что «внесение лимонной кислоты способствует значительному образованию ацетона в водках при хранении, внесение натурального меда и аскорбиновой кислоты практически не оказывает влияния на образование ацетона. Однако, внесение уксусной и аскорбиновой кислот может способствовать существенному увеличению уксусного альдегида» [17].

На основании вышеизложенного, можно предположить, что причиной повышенного содержания уксусного альдегида и образования ацетона в исследуемом образце водки «Береза» может является наличие лимонной кислоты

в составе напитка. Важно отметить, что на этикетке водки «Береза» в информации о составе отсутствуют сведения о наличии лимонной кислоты.

В этой связи целесообразно проведение исследования образца методом капиллярного электрофореза, который позволяет определять, в том числе и лимонную кислоту. С применением метода капиллярного электрофореза по ГОСТ 31724–2012 «Водки, водки особые и вода для их приготовления. Определение массовой концентрации катионов, аминов, анионов неорганических и органических кислот методом капиллярного электрофореза» [18] исследован образец водки «Береза» (рисунок 5).

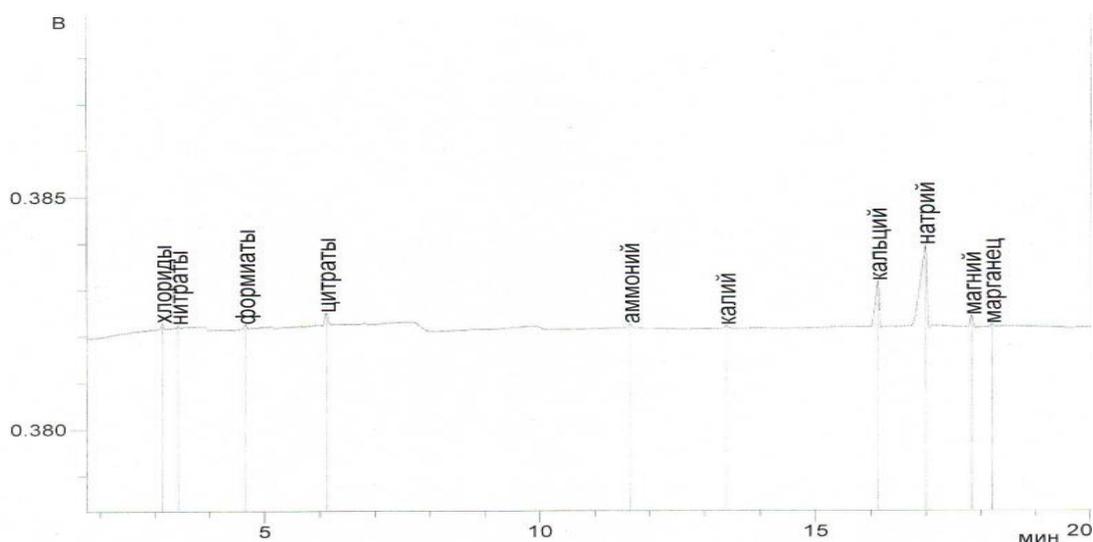


Рисунок 5. Электрофореграмма водки «Береза»

Figure 5. Electrophoregram of "Birch" vodka

Установлено, что в образце присутствуют хлориды, нитраты, формиаты, аммоний, калий магний, массовая концентрация которых составляет менее 0,5 мг/дм<sup>3</sup> каждого. Кроме того, обнаружены цитраты (лимонная кислота) массовой концентрацией 2,32±0,33 мг/дм<sup>3</sup>, кальций 4,11±0,58 мг/дм<sup>3</sup>, натрий 14,33±2,01 мг/дм<sup>3</sup> и марганец 0,32±0,05мг/дм<sup>3</sup>.

В целях выявления возможных путей внесения лимонной кислоты проведены исследования ионного состава березового сока, используемого при приготовлении купажа водки «Береза». Показано на рисунке 6, что массовая концентрация хлоридов в исследуемом образце составляет 7,52±10,05мг/дм<sup>3</sup>, сульфатов 18,79±2,63 мг/дм<sup>3</sup>, оксалатов 0,24±0,04мг/дм<sup>3</sup>, формиатов 18,84±2,64мг/дм<sup>3</sup>, фторидов 2,02±0,28мг/дм<sup>3</sup>, фумаратов 5,90±0,82мг/дм<sup>3</sup>, малаатов 16,60±2,32мг/дм<sup>3</sup>, цитратов 315,72±44,2мг/дм<sup>3</sup>, гликолятов 17,82мг/дм<sup>3</sup>±2,49, ацетатов 33,80±4,73мг/дм<sup>3</sup>, лактатов

10,05±1,41мг/дм<sup>3</sup>, фосфатов 26,38±3,69% мг/дм<sup>3</sup>, аммония 1,70±0,24 мг/дм<sup>3</sup>, калия 16,872,36мг/дм<sup>3</sup>, кальция 83,23±11,65% мг/дм<sup>3</sup>, натрия 1,02±0,14мг/дм<sup>3</sup>, магния 18,93±2,65мг/дм<sup>3</sup>, марганца 5,21±0,73мг/дм<sup>3</sup>.

Анализ информации научных источников показал, что лимонная кислота массовой концентрацией 315,72 ±44,2 мг/дм<sup>3</sup> не является характерным компонентом березового сока [19, 20].

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что образец березового сока содержит катионы, анионы неорганических и органических кислот, в том числе и цитрат-ионы, массовой концентрацией 315,72 ±14% мг/дм<sup>3</sup>. В этой связи, с высокой степенью вероятности можно предположить, что лимонную кислоту производители березового сока использовали в качестве регулятора кислотности. Важно отметить, что данный факт не нашел отражения на этикетке емкости березового сока.

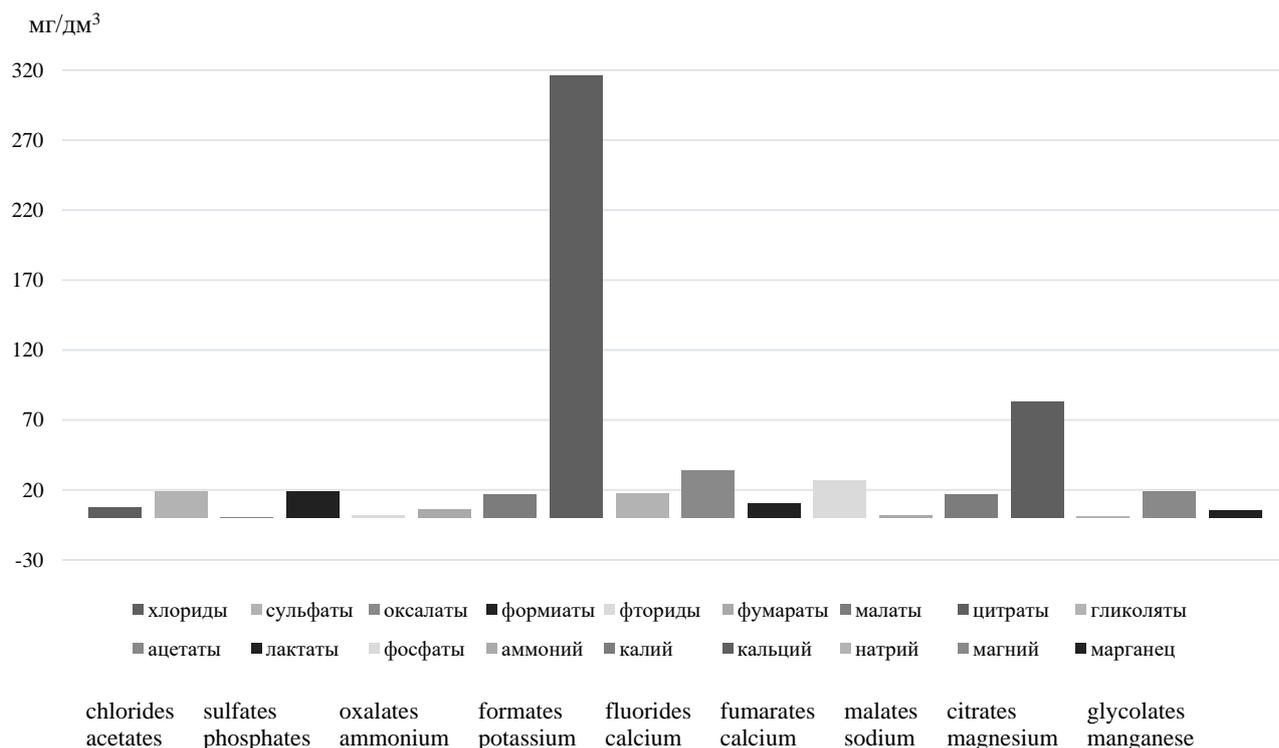


Рисунок 6. Ионный состав березового сока

Figure 6. Ionic composition of birch sap

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что целесообразно учитывать возможное влияние ингредиентов на ионный состав спиртных напитков. Это позволит более точно контролировать и регулировать химический состав спиртных напитков в целях обеспечения выпуска продукции с заданными качественными характеристиками. Кроме того, исследование химического состава полуфабрикатов на всех стадиях технологического процесса будет способствовать соответствию требованиям и нормативам по содержанию определенных веществ в алкогольных напитках.

### Заключение

В процессе исследований предложен новый комплексный подход к определению химического

состава водок. Составлен принципиальный алгоритм комплексного исследования водок методом газовой газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, капиллярного электрофореза. На примере водки «Береза» изучен химический состав летучих органических примесей и ионный состав спиртного напитка.

Установлены возможные причины повышенного содержания уксусного альдегида и образования ацетона в водке. Показано, что комплексное использование инструментальных методов анализа позволяет не только установить химический состав спиртного напитка, но и выявить причины образования некоторых химических соединений, образующихся в процессе хранения.

### Литература

- 1 ГОСТ 33880–2016. Напитки спиртные. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2019. 12с.
- 2 Агафонов Г.В. Инновационные решения в технологии производства алкогольной продукции // Материалы LVI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2017 год. 2018. С. 59-59.
- 3 Новикова И.В., Агафонов Г.В., Яковлев А.Н., Чусова А.Е. Технологическое проектирование производства спиртных напитков. Санкт-Петербург: Лань, 2015. 384 с.
- 4 Яровенко В.Л. Справочник технолога ликероводочного производства; под ред. В.Л. Яровенко, И.И. Бурачевского. М.: ВО «Агропромиздат», 1988. 205 с.
- 5 Шелехова Н.В., Поляков В.А. Совершенствование системы контроля технологических процессов производства спиртных напитков // Пиво и напитки. 2017. № 1. С 34–36.
- 6 Шелехова Н.В. Экспресс метод определения анионов в алкогольных напитках на основе сочетания КЭ-КД // Сорбционные и хроматографические процессы. 2023. Т. 23. № 2. С. 199–215.
- 7 Якуба Ю.Ф., Темердашев З.А. Хроматографические методы в анализе и идентификации виноградных вин // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 4. С. 288–301.

- 8 Шелехова Н.В. Экспресс-метод определения летучих органических примесей в спиртных дистиллированных напитках на основе сочетания ГХ/ПИД и ГХ/МСД // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т.22. № 1. С. 58–68. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9021
- 9 Лебедев А.Т. Современная масс-спектрометрия в России и в мире // Мир измерений. 2013. № 11. С. 4–9.
- 10 Buglass A.J. Handbook of alcoholic beverages: Technical, analytical and nutritional aspects. JohnWiley&Sons, 2011. 1208 p. doi: 10.1002/9780470976524
- 11 ГОСТ 30536–2013. Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический экспресс-метод определения содержания токсичных микропримесей. Москва: Стандартинформ, 2014. 33 с.
- 12 ГОСТ 12712–2013. Водки и водки особые. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014. 6 с.
- 13 ГОСТ 32039–2013. Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический метод определения подлинности.
- 14 Рудаков О.Б., Никитина С.Ю. Тренды в аналитическом контроле качества питьевого этанола. Аналитика и контроль. 2017. Т.21. №3. С.180-196. <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.3.010>
- 15 Савчук С.А., Нужный В.П. К вопросу об идентификации природы этилового спирта. Ацетон в водках и спиртах различного происхождения // Партнеры и конкуренты. 2005. №. 1. С. 32-38.
- 16 Нужный В.П., Савчук С.А. Токсичность алкогольных напитков и ацетон // Токсикологический вестник. 2005. №. 6. С. 22-24.
- 17 Поляков В.А., Абрамова И.М., Зенина Г.П., Шелехова Т.М. и др. Образование ацетона и других микропримесей в водках в процессе хранения // Пиво и напитки. 2014. № 6. С. 10–13.
- 18 ГОСТ 31724–2012. Водки, водки особые и вода для их приготовления. Определение массовой концентрации катионов, аминов, анионов неорганических и органических кислот методом капиллярного электрофореза. Москва: Стандартинформ, 2013. 47 с.
- 19 Лисова О.С., Царалунга В.В., Прохорова Н.Л. Проблемы и перспективы заготовки березового сока в лесах Воронежской области // НАУ. 2015. № 10–1 (16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-zagotovki-berezovogo-soka-v-lesah-voronezhskoy-oblasti>
- 20 Янин Е.П. Химические элементы в березовом соке как индикаторы техногенного загрязнения окружающей среды // Экологическая экспертиза. 2012. № 1. С. 101–112.

#### References

- 1 GOST 33880–2016. Alcoholic drinks. Terms and Definitions. (in Russian).
- 2 Agafonov G.V. Innovative solutions in the technology of alcohol production. Materials of the LVI reporting scientific conference of teachers and researchers of VSUET for 2017. 2018. pp. 59-59. (in Russian).
- 3 Novikova I.V., Agafonov G.V., Yakovlev A.N., Chusova A.E. Technological design for the production of alcoholic beverages. St. Petersburg, Lan, 2015. 384 p. (in Russian).
- 4 Yarovenko V.L. Directory of distillery production technologist; edited by V.L. Yarovenko, I.I. Burachevsky. M., VO "Agropromizdat", 1988. 205 p. (in Russian).
- 5 Shelekhova N.V., Polyakov V.A. Improving the control system for technological processes in the production of alcoholic beverages, Beer and drinks. 2017. no. 1. pp. 34–36. (in Russian).
- 6 Shelekhova N.V. Express method for determining anions in alcoholic beverages based on the EC-CD combination. Sorption and chromatographic processes. 2023. vol. 23. no. 2. pp. 199–215. (in Russian).
- 7 Yakuba Yu.F., Temerdashev Z.A. Chromatographic methods in the analysis and identification of grape wines. Analytics and control. 2015. vol. 19. no. 4. pp. 288–301. (in Russian).
- 8 Shelekhova N.V. Express method for determining volatile organic impurities in distilled alcoholic beverages based on a combination of GC/FID and GC/MSD. Sorption and chromatographic processes. 2022. vol. 22. no. 1. pp. 58–68. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9021 (in Russian).
- 9 Lebedev A.T. Modern mass spectrometry in Russia and in the world. World of measurements. 2013. no. 11. pp. 4–9. (in Russian).
- 10 Buglass A.J. Handbook of alcoholic beverages: Technical, analytical and nutritional aspects. JohnWiley&Sons, 2011. 1208 p. doi: 10.1002/9780470976524
- 11 GOST 30536–2013. Vodka and ethyl alcohol from food raw materials. Gas chromatographic express method for determining the content of toxic microimpurities. Moscow, Standartinform, 2014. 33 p. (in Russian).
- 12 GOST 12712–2013. Vodkas and vodkas are special. General technical conditions. (in Russian).
- 13 GOST 32039–2013. Vodka and ethyl alcohol from food raw materials. Gas chromatographic method for determining authenticity. (in Russian).
- 14 Rudakov O.B., Nikitina S.Yu. Trends in analytical quality control of drinking ethanol. Analyticsandcontrol. 2017; 21(3):180-196. <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.3.010>
- 15 Savchuk S.A., Nuzhny V.P. On the issue of identifying the nature of ethyl alcohol. Acetone in vodkas and alcohols of various origins. Partners and competitors. 2005. no. 1. pp. 32-38. (in Russian).
- 16 Nuzhny V.P., Savchuk S.A. Toxicity of alcoholic beverages and acetone. Toxicological Bulletin. 2005. no. 6. pp. 22-24. (in Russian).
- 17 Polyakov V.A., Abramova I.M., Zenina G.P., Shelekhova T.M. et al. Formation of acetone and other microimpurities in vodkas during storage. Beer and drinks. 2014. no. 6. pp. 10–13. (in Russian).
- 18 GOST 31724–2012. Vodkas, special vodkas and water for their preparation. Determination of the mass concentration of cations, amines, anions of inorganic and organic acids by capillary electrophoresis. Moscow, Standartinform. 2013. 47 p. (in Russian).
- 19 Liso O.S., Tsaralunga V.V., Prokhorova N.L. Problems and prospects for collecting birch sap in the forests of the Voronezh region. NAU. 2015. no. 10–1 (16). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-zagotovki-berezovogo-soka-v-lesah-voronezhskoy-oblasti>
- 20 Yanin E.P. Chemical elements in birch sap as indicators of technogenic environmental pollution. Ecological Expertise. 2012. no. 1. pp. 101–112. (in Russian).

**Сведения об авторах**

**Геннадий В. Агафонов** д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gvagafonov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2133-5606>

**Константин К. Полянский** д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», ул. Карла Маркса, 67а, г Воронеж, 394030, Россия, tovar201@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5659-1423>

**Наталья В. Шелехова** д.т.н. заведующий лаборатории, лаборатория хроматографии, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии - филиал ФГБУН "Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи", ул. Самокатная, 4 Б, г. Москва, 111033, Россия, 4953610101@mail.ru

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

**Алла Е. Чусова** к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

**Михаил П. Тарарыков** магистрант, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, cmitttt@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-2254-5293>

**Вклад авторов**

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Gennady V. Agafonov** Dr. Sci. (Engin.), professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gvagafonov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2133-5606>

**Konstantin K. Polyansky** Dr. Sci. (Engin.), professor, commerce and commodity science department, Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov", st. Karla Marksa, 67a, Voronezh, 394030, Russia, tovar201@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5659-1423>

**Natalia V. Shelekhova** Dr. Sci. (Engin.), professor, chromatography laboratory, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, 4 B Samokatnaya St., Moscow, 111033, Russia, 4953610101@mail.ru

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

**Alla E. Chusova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

**Mikhail P. Tararykov** master student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, cmitttt@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-2254-5293>

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 18/01/2024	<b>После редакции</b> 05/02/2024	<b>Принята в печать</b> 23/02/2024
<b>Received</b> 18/01/2024	<b>Accepted in revised</b> 05/02/2024	<b>Accepted</b> 23/02/2024