

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-216-227>

Поступила 26.01.2026

Поступила после рецензирования 08.05.2026

Принята в печать 14.05.2026

© Топникова Е. В., Пчелкина В. А., Данилова Е. С., Пирогова Е. Н., Заболотин Г. Ю., 2026

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Открытый доступ

ВЫЯВЛЕНИЕ ФАЛЬСИФИКАЦИИ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ГОВЯЖЬИМ ЖИРОМ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ЖИРОВОЙ ФАЗЫ

Топникова Е. В.¹, Пчелкина В. А.², Данилова Е. С.¹, Пирогова Е. Н.¹, Заболотин Г. Ю.²¹Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

молочный жир,
говяжий жир,
идентификация,
физико-химические
показатели,
жирнокислотный
состав, рамановская
спектроскопия

В статье рассматривается влияние добавленного говяжьего жира на изменение показателей качества жировой фазы молочных продуктов и оценивается возможность их комплексного применения для целей идентификации. Исследовали физико-химические свойства жировой фазы: состав жирных кислот и их соотношение, температуру плавления, йодное число и число Рейхерта–Мейссля, кислотность и органолептические показатели. Дополнительно выполняли спектральный анализ с использованием рамановской спектроскопии. Были проведены сравнительные испытания молочного и говяжьих жиров, модельных смесей жировой фазы фальсифицированного продукта с долей говяжьего жира в жировой фазе от 5 до 30%. Результаты показали достоверное различие молочного и говяжьего жира по всем исследованным показателям. В модельных смесях заданного диапазона достоверные различия с контролем выявлены по органолептическим показателям (при добавлении говяжьего жира 10% и более), числу Рейхерта–Мейссля (при 15% и более) и соотношению $C_{18:0}/C_{14:0}$ (при 5% и более). Йодное число, температура плавления и кислотность жировой фазы не показали значимого отличия фальсифицированной жировой фазы от молочного жира. Основные полосы рамановских спектров исследованных образцов приписаны колебаниями насыщенных и ненасыщенных структур жирных кислот в областях 1265 см^{-1} , 1300 см^{-1} , 1440 см^{-1} , 1650 см^{-1} и 1747 см^{-1} . Спектральный анализ показал значимые различия молочного жира и говяжьих жиров в части интенсивности сигналов спектров. В образце говяжьего жира с эмульгаторами и ароматизатором выявлено отчетливое раздвоение сигнала в области $1720\text{--}1760\text{ см}^{-1}$, а также появление на спектре полосы 1175 см^{-1} , характеризующее колебания карбонильно-сложноэфирной группы глицеринового остова в молекулах глицеридов. В модельных образцах жировой фазы фальсифицированного продукта различия по результатам рамановской спектроскопии выявлены при добавлении более 15% говяжьего жира, что может являться дополнительным критерием оценки жировой фазы продукта после проведения дальнейших системных исследований по данному вопросу.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения Государственного задания № FGUS-2024-0008 ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Received 26.01.2026

Accepted in revised 08.05.2026

Accepted for publication 14.05.2026

© Topnikova E. V., Pchelkina V. A., Danilova, E. S., Pirogova, E. N., Zabolotin G. Yu., 2026

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

DETECTION OF ADULTERATION OF DAIRY PRODUCTS WITH BEEF FAT BY COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE FAT PHASE

Elena V. Topnikova¹, Viktoriya A. Pchelkina², Ekaterina S. Danilova^{1,*},
Ekaterina N. Pirogova¹, Grigoriy Yu. Zabolotin¹¹All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Yaroslavl Region, Russia²V. M. Gorbato Federal Research Center of Food Systems, Moscow, Russia

KEYWORDS:

milk fat, beef fat,
identification,
physico-chemical
indicators, fatty acid
composition,
Raman spectroscopy

ABSTRACT

An effect of added beef fat on changes in quality indicators of the fat phase of dairy products has been examined and the possibility of their complex use for the identification purpose has been assessed. Physico-chemical parameters of the fat phase were assessed: the composition of fatty acids and their ratio, melting temperature, iodine value and the Reichert-Meissl number, acidity and organoleptic properties. In addition, the spectral analysis was carried out with the use of Raman spectroscopy. Comparative examinations of milk and beef fats, model mixtures of the fat phase of the falsified product with a proportion of beef fat in the fat phase from 5 to 30% were carried out. The results showed significant differences between milk and beef fat by all studied indicators. In the model mixtures of the given range, significant differences with the control were revealed for organoleptic parameters (upon addition of beef fat at a level of 10% and higher), the Reichert-Meissl number (at 15% and higher) and a $C_{18:0}/C_{14:0}$ ratio (at 5% and higher). The iodine value, melting temperature, and acidity of the fat phase did not show a significant difference of the falsified fat phase from milk fat. The main bands of Raman spectra of the studied samples were ascribed to vibrations of saturated and unsaturated structures of fatty acids in the regions of 1265 cm^{-1} , 1300 cm^{-1} , 1440 cm^{-1} , 1650 cm^{-1} and 1747 cm^{-1} . The spectral analysis showed significant differences between milk fat and beef fats in terms of the intensity of the spectrum signals. In the sample of beef fat with emulsifiers and flavoring agents, a clear bifurcation of the signal in the region of $1720\text{--}1760\text{ cm}^{-1}$ was observed, as well as the appearance of a band at 1175 cm^{-1} in the spectrum characterizing vibrations of ester carbonyl group of the glycerol backbone in the molecules of glycerides. In the model samples of the fat phase of the falsified product, differences in the results of the Raman spectroscopy were revealed upon adding more than 15% of beef fat, which can be an additional criterion of the assessment of the fatty phase of a product after conducting further systemic investigations on this issue.

FUNDING: The article was prepared within the framework of the State Assignment No. FGUS-2024-0008 of the Federal State Budgetary Scientific Institution “V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems” of the Russian Academy of Sciences.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Топникова, Е. В., Пчелкина, В. А., Данилова, Е. С., Пирогова, Е. Н., Заболотин, Г. Ю. (2026). Выявление фальсификации молочных продуктов говяжьим жиром при комплексной оценке жировой фазы. *Пищевые системы*, 9(2), 216–227. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-216-227>

FOR CITATION: Topnikova, E. V., Pchelkina, V. A., Danilova, E. S., Pirogova, E. N., Zabolotin, G. Yu. (2026). Detection of adulteration of dairy products with beef fat by comprehensive assessment of the fat phase. *Food Systems*, 9(2), 216–227. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-216-227>

1. Введение

При выпуске пищевой продукции в оборот наряду с обеспечением безопасности все большее значение приобретает ее качество и гарантия подлинности. Эти показатели отражают уровень производства и его способность удовлетворять запросы современного потребителя, готового приобретать продукцию по более высокой цене при уверенности в ее качестве и натуральности [1,2].

Качество пищевых продуктов определяется их соответствием совокупности характеристик, обеспечивающих приятные органолептические свойства и удовлетворение потребностей человека в основных пищевых веществах и энергии, включая макро- и микрокомпоненты [3].

Несмотря на общее улучшение состояния молочной отрасли, сохраняется проблема фальсификации продукции [4–6]. Наиболее фальсифицируемым продуктом остается сливочное масло; далее следуют сыры, сметана, творог [4,6,7]. Самым распространенным способом фальсификации считается замена молочного жира растительными [4,6] или животными жирами, в частности говяжьим жиром [8,9]. Поэтому актуальными являются вопросы выявления фальсификации молочной продукции жирами немолочного происхождения.

Особенности определения примеси растительных жиров в жировой фазе молочных продуктов методически достаточно хорошо проработаны и включены в действующие документы по стандартизации, устанавливающие алгоритм выявления подлинности жировой фазы молочных продуктов [10]. Кроме того, они закреплены в методах контроля для отдельных групп продукции, в частности сливочного масла и сыров различных видов. Этот алгоритм включает оценку жирнокислотного состава жировой фазы продукта (ЖКС) с последующим определением стеринового состава при обнаружении отклонений в ЖКС от нормируемых диапазонов. В случае обнаружения фитостеринов, являющихся характерными маркерами растительных жиров, эксперты делают вывод о фальсификации молочного продукта растительными жирами. Следует отметить, что выявление фитостеринов выше допустимого уровня может быть и результатом существенного изменения рационов кормления лактирующих животных или целенаправленной фортификации продуктов этой группой ингредиентов, набирающей популярность в мировой практике [11–14].

Выявление примеси животных жиров немолочного происхождения затруднено вследствие отсутствия различий в стерinovом составе [9,10], поэтому их идентификация требует последовательного выполнения большего количества анализов. Сначала оценивают жирнокислотный состав жировой фазы продукта; при выявлении в нем отклонений определяют стеринный состав. В случае отсутствия фитостеринов, являющихся маркерами добавленных растительных жиров, анализируют триглицеридный состав. Известна вариативность молочного жира по триглицеридному составу, что связано с влиянием многих факторов, включая рационы кормления, сезон года, породу животных, особенности трансформации жира в процессе переработки молока на отдельные молочные продукты [15–17]. При оценке триглицеридного состава важным является правильный выбор образца сравнения молочного жира со стандартизованными диапазонами триглицеридов. В связи с этим достоверное определение фальсификации по данному показателю становится весьма сложным как в техническом исполнении, так и в интерпретации полученных результатов, особенно в части небольших добавлений животного жира немолочного происхождения [18]. Поэтому продолжают исследования по разработке альтернативных методов выявления фальсификации, основанных на различных подходах, включая применение более доступных способов оценки качества продукции и внедрение инновационных решений.

Так, например, отдельные авторы рассматривают вопрос быстрого выявления фальсификации немолочных жиров с помощью люминесцентного исследования, не требующего специальной подготовки [19]. Было показано, что фальсифицированная растительными жирами молочная продукция при просмотре в ультрафиолетовом излучении с длиной волны 365 нм люминесцирует ярким голубым цветом, а натуральная имеет желтое свечение. Это позволило рекомендовать данный метод в качестве скринингового для выявления фальсификаций молочных и молочных составных продуктов растительными жирами.

Аmeliным В. Г. и соавторами [20] предложена аутентификация молочной продукции по аналитическому сигналу в цветометрической системе RGB при регистрации флуоресценции образцов под воздействием монохроматического ультрафиолетового света при той же длине волны 365 нм.

Статья [21] посвящена исследованию сочетания оптических и хеометрических методов оценки сливочного масла на предмет наличия немолочных жиров в виде пальмового масла. Авторами была сформирована база данных ИК-спектров масла, применены алгоритмы многомерной регрессии и произведен выбор спектрального интервала, наиболее чувствительного к фактору фальсификации.

Имеются сведения о применении дифференциально-сканирующей калориметрии для выявления фальсификации масла [22], а также методов оценки состава трансизомеров жирных кислот [23]. Синявский Ю. А. и др. в дополнение к определению жирнокислотного состава использовали оценку фосфолипидного состава сливочного масла. Исследованиями показано, что методом спектрального анализа в диапазоне длин волн 200–400 нм можно установить факт фальсификации по отсутствию или слабой выраженности пика фосфолипидов в спектре.

Рядом ученых была предпринята попытка оценить возможность применения для этих целей рамановской спектроскопии [24]. Этот метод представляет собой экспрессный неразрушающий и универсальный метод анализа для идентификации объектов в биологии, медицине, фармации, криминалистике, геммологии и пищевой промышленности [25–28]. Он отличается информативностью и эффективностью, не требует затрат на пробоподготовку и специальные реактивы. По этой причине его рассматривают в качестве альтернативного метода в сравнении с традиционными физико-химическими методами анализа.

Спектрометрические методы основаны на поглощении, излучении или рассеянии в результате взаимодействия электромагнитного излучения с веществом [25]. Электромагнитное излучение, попадая на образец, способствует переходу электронов в состояние с большей энергией. Эти переходы становятся возможным зафиксировать в ультрафиолетовом или видимом диапазоне, вращательные переходы — в микроволновой области, молекулярные и колебательные переходы — в инфракрасной области [26]. Рамановская спектроскопия основана на явлении неупругого рассеяния монохроматического излучения, которое возникает в результате воздействия фотонов светового пучка с молекулами исследуемого образца. Это рассеянное излучение имеет отличающуюся от падающего излучения энергию, его характеризуют как комбинационное рассеяние [26,27].

Метод рамановской спектроскопии был применен исследователями для установления различий между натуральным сливочным маслом и продуктами, фальсифицированными свиным жиром и маргарином. Также метод использовали для выявления различий между маслом, полученным из молока лактирующих животных с разным типом кормления [24]. С его помощью выявляли подлинность детских молочных смесей, йогурта и сыра [29], определяли фальсификацию сухого молока сывороткой, крахмалом и мальтодекстрином, меламином и мочевиной [30–32], изучали фактор влияния тепловой нагрузки на качество пастеризованного обезжиренного молока [33,34] и изменения содержания лактозы в молоке [35,36]. Наибольший интерес представляет вопрос о возможности использования данного метода для выявления фальсификации масла и других молочных продуктов говяжьим жиром.

Необходимо отметить, что сам по себе говяжий жир характеризуется высокой пищевой ценностью и при условии хорошей очистки обладает приемлемыми органолептическими показателями для жира пищевого назначения. В связи с этим он может использоваться для фальсификации молочной продукции. Вместе с тем особенности его состава предопределяют отличительные физико-химические свойства этого жира [37–39]. В отличие от молочного жира он имеет более высокое содержание насыщенных жирных кислот. Следствием этого является более высокая степень насыщенности триглицеридов и повышенная температура плавления [39]. По этой причине говяжий жир имеет замедленное таяние, что может негативно сказаться на органолептических свойствах продукта, создавая ощущения повышенной вязкости и обволакиваемости. Особенности жирнокислотного состава также могут проявиться в константах, характеризующих природу жира (число Рейхерта–Мейссля, йодное число и пр.), а также в кислотности жировой фазы продукта. Комплексная оценка влияния говяжьего жира на жировую фазу фальсифицированных молочных продуктов с применением традиционных и новых методов исследований способствует выявлению новых подходов к обнаружению говяжьего жира в составе продукта.

Целью исследований является определение влияния добавленного говяжьего жира на изменение комплекса показателей качества жировой фазы молочного продукта для последующего выбора перспективных дополнительных методов его идентификации.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты исследований

Объектами исследования служили модельные образцы жировой фазы молочного продукта, фальсифицированного добавлением говяжьего жира. Их оценивали в сравнении с натуральным молочным жиром и образцами говяжьего жира, характеристики которых приведены ниже:

- ❑ молочный жир (МЖ), выделенный из сладкосливочного масла Традиционного с массовой долей жира 82,5%, произведенного по ГОСТ 32261-2013¹ из сливок коровьего молока;
- ❑ говяжий жир № 1 (ГЖ № 1) по ГОСТ 25292-2017². Состав: жир животный пищевой топленый говяжий (высший сорт), антиокислитель Е321;
- ❑ говяжий жир № 2 (ГЖ № 2) по документу изготовителя. Состав: жир животный пищевой, говяжий высшего сорта, комплексная пищевая добавка (эмульгаторы Е471, Е472, Е322, ароматизатор «Масло сливочное тип “Вологодское”»);
- ❑ опытные модели жировой фазы фальсифицированного продукта с различным соотношением молочного и говяжьего жиров;
- ❑ образцы на основе молочного жира и говяжьего жира № 1: № 3 — с соотношением МЖ/ГЖ 95/5; № 4–90/10; № 5–85/15; № 6–80/20; № 7–75/25; № 8–70/30;
- ❑ образцы на основе молочного жира и говяжьего жира № 2: № 10 — с соотношением МЖ/ГЖ 95/5; № 11–90/10; № 12–85/15; № 13–80/20; № 14–75/25; № 15–70/30.

2.2. Методы исследований

При проведении исследований применялись следующие методы: Органолептические показатели оценивали по ГОСТ 33632-2015³ (при анализе молочного жира и опытных модельных смесей жировой фазы фальсифицированного продукта) и по ГОСТ 8285-91⁴ (при анализе контрольных образцов говяжьего жира). Оценку проводила группа из пяти аттестованных экспертов. Дополнительно к общей оценке вкуса и запаха по 10-балльной шкале описывали основные характеристики объекта с применением профилно-дескрипторного метода. В качестве основных дескрипторов были выбраны характеристики, наиболее полно отражающие выявленные привкусы и запахи. Их оценивали по 5-балльной шкале в зависимости от степени выраженности.

Температура плавления жира определялась по ГОСТ 32189-2013⁵; кислотность жировой фазы — по ГОСТ Р 55361-2012⁶; число Рейхерта–Мейссля — по ГОСТ Р 70238-2022⁷; йодное число устанавливалось по ГОСТ ISO 3961-2020⁸ с использованием химического метода Вийса и расчетным методом с применением коэффициентов, приведенных в Таблице 1 [39].

Таблица 1. Коэффициенты пересчета ненасыщенных жирных кислот

Table 1. Conversion factors for unsaturated fatty acids

Жирная кислота	Коэффициент пересчета
Миристиолеиновая C _{14:1}	1,056
Пальмитолеиновая C _{16:1}	0,946
Олеиновая C _{18:1}	0,856
Линолевая C _{18:2}	1,725
Линоленовая C _{18:3}	2,605

¹ ГОСТ 32261-2013 «Масло сливочное. Технические условия». — М.: Стандартинформ, 2014. — 17 с.

² ГОСТ 25292-2017 «Жиры животные топленые пищевые. Технические условия». — М.: Стандартинформ, 2014. — 12 с.

³ ГОСТ 33632-2015 «Молочный жир, масло и паста масляная из коровьего молока. Методы контроля органолептических показателей». — М.: Стандартинформ, 2016. — 17 с.

⁴ ГОСТ 8285-91 «Жиры животные топленые. Правила приемки и методы испытания». — М.: Стандартинформ, 2005. — 10 с.

⁵ ГОСТ 32189-2013 «Маргарины, жиры для кулинарии, кондитерской, хлебопекарной и молочной промышленности. Правила приемки и методы контроля». — М.: Стандартинформ, 2014. — 35 с.

⁶ ГОСТ Р 55361-2012 «Жир молочный, масло и паста масляная из коровьего молока. Правила приемки, отбор проб и методы контроля». — М.: Стандартинформ, 2014. — 42 с.

⁷ ГОСТ Р 70238-2022 «Молоко и молочная продукция. Метод идентификации состава жировой фазы и определение массовой доли молочного жира». — М.: Стандартинформ, 2013. — 20 с.

⁸ ГОСТ ISO 3961-2020 «Жиры и масла животные и растительные. Определение йодного числа». — М.: Стандартинформ, 2020. — 13 с.

Определение жирнокислотного состава проводили методом газовой хроматографии по ГОСТ 31665-2012⁹ и ГОСТ 31663-2012¹⁰ на хроматографическом комплексе на хроматографическом комплексе «Хромос GX-1000» (ООО «Хромос», Россия) с пламенно-ионизационным детектором и кварцевой капиллярной колонкой CP — Sil 88 for FAME 100 m × 0.25 mm × 0.2 μm (Agilent Technologies, США). В качестве идентификационной смеси использовали смесь метиловых эфиров жирных кислот Supelco 37 FAME Mix (Sigma-Aldrich, США). Обработку полученных данных проводили методом внутренней нормализации с помощью программы «Хромос».

Математическую обработку полученных данных органолептических и физико-химических показателей исследуемых объектов и построение графиков осуществляли с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2016. Исследования проводили в 3-кратной повторности. Значения показателей для каждого образца представляли в виде среднего значения и стандартного отклонения «Mean ± SD». Для оценки статистически значимых различий между образцами применяли двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями ANOVA. Для проведения парного сравнения выборок использовали апостериорный критерий Тьюки. Статистически значимый результат оценивали при $p \leq 0,05$.

Рамановская спектроскопия проводилась на конфокальном спектрометре Renishaw inVia Reflex (Renishaw plc, Wotton-under-Edge, Великобритания). В качестве источника лазерного излучения использовался лазер с длиной волны 785 нм. Калибровку спектрометра перед каждым исследованием выполняли путем регистрации спектра комбинационного рассеяния кремниевой кристаллической пластины при 520 см⁻¹. Часть образца размером не более 5 × 5 × 5 мм располагали на предметном стекле, обернутом алюминиевой фольгой, и размещали на предметном столике микроскопа спектрометра. Для фокусировки лазера на поверхности образцов применяли объектив с увеличением L50×. Сбор спектров проводили при мощности лазера 100 мВт, время экспозиции 10 с, 3 аккумуляции. Измеряли не менее 10 спектров с разных точек образца в диапазоне обнаружения 800–1800 см⁻¹. Применяемую мощность лазера, время экспозиции, количество аккумуляций тщательно оптимизировали во избежание наступления фотодегradации материала и для получения записи наиболее информативного спектра.

Предварительную обработку спектров, которая включала коррекцию базовой линии с использованием интеллектуальных полиномиальных алгоритмов, сглаживание с применением алгоритма Савицкого–Голея [40] и нормализацию, выполняли в программе Renishaw WiRE 5.2 (Renishaw plc, Wotton-under-Edge, UK).

Также проводили анализ образцов по жирнокислотному профилю (Oil shape, OS), определяемому на основе данных спектроскопии, согласно методике, изложенной в [41]. На первом этапе определяли девять соотношений интенсивностей сигналов 970 см⁻¹, 1265 см⁻¹, 1650 см⁻¹, 1300 см⁻¹, 1440 см⁻¹ и 1747 см⁻¹: $I_1 = I_{970}/I_{1265}$, $I_2 = I_{970}/I_{1440}$, $I_3 = I_{970}/I_{1747}$, $I_4 = I_{1265}/I_{1300}$, $I_5 = I_{1265}/I_{1440}$, $I_6 = I_{1265}/I_{1747}$, $I_7 = I_{1650}/I_{1300}$, $I_8 = I_{1650}/I_{1440}$, $I_9 = I_{1650}/I_{1747}$.

Показатель OS рассчитывали по формуле:

$$OS = \sqrt[9]{\prod_{x=1}^9 I_x} \times I_x \text{ (усл. ед.)}, \quad (1)$$

где I_x — соотношение интенсивностей сигналов (от I_1 до I_9).

Числовые характеристики спектров (наименование пиков, их площадь, высота, ширина, интенсивность) обрабатывали в Microsoft Excel 2016. Обработка данных методом PCA проводилась в программе Origin Pro 2021 (OriginLab Corporation). Сравнение полученных результатов осуществляли в программе Statistica 10.0 с помощью непараметрического теста Краскела–Уоллиса с использованием критерия Данна. Различия считали достоверными и признавали наличие связи между показателями на уровне вероятности, не превышающей 0,05.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Органолептические показатели

Данные органолептической оценки вкуса и запаха исследованных образцов приведены на Рисунке 1. Экспертами выявлено, что контрольные образцы молочного и говяжьего жиров обладали

⁹ ГОСТ 31665-2012 «Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот». — М.: Стандартинформ, 2013. — 8 с.

¹⁰ ГОСТ 31663-2012 «Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот». — М.: Стандартинформ, 2013. — 8 с.

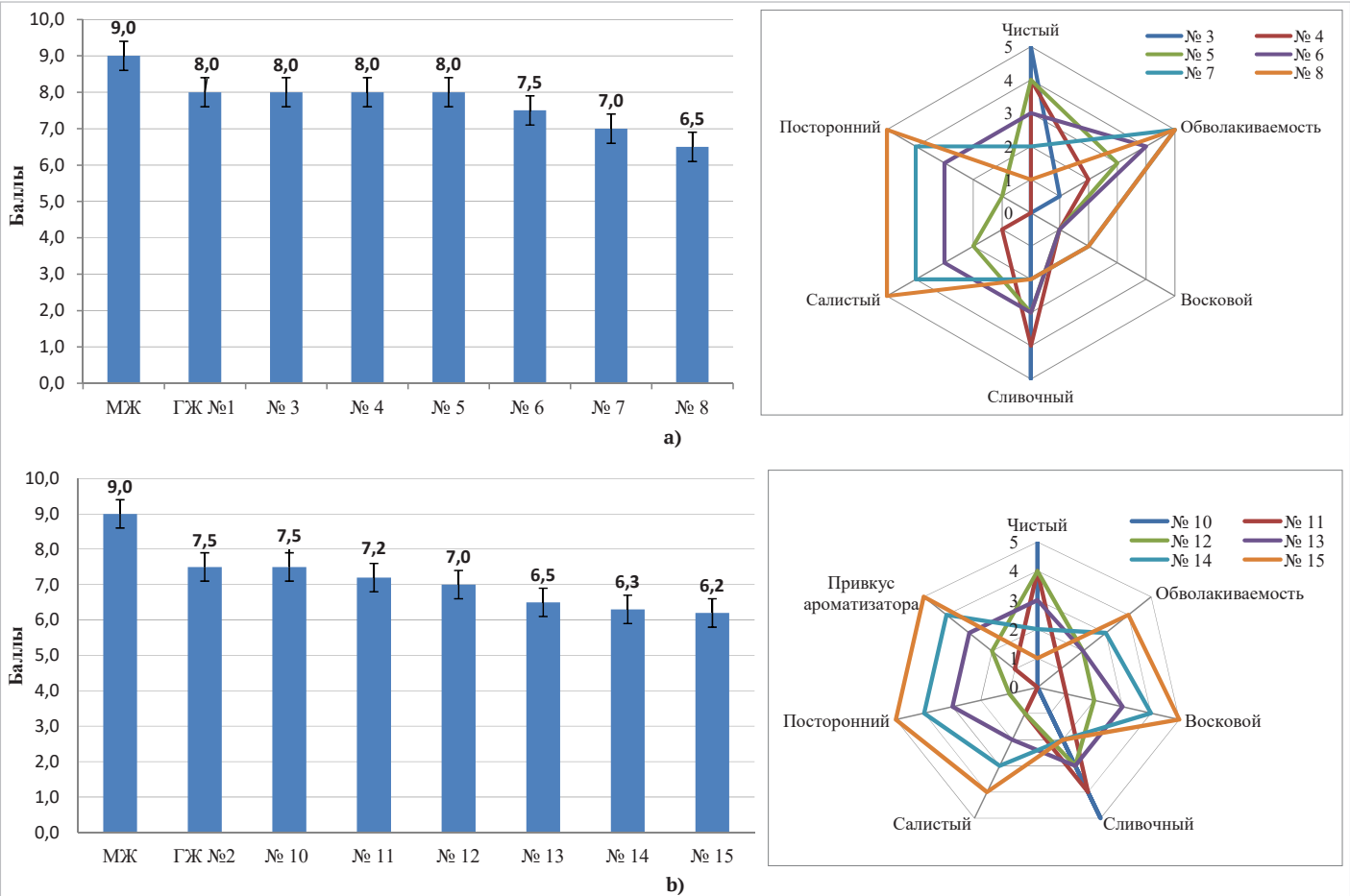


Рисунок 1. Диаграммы органолептической оценки (в баллах) и дескрипторов вкуса контрольных образцов моделей жировой фазы продукта с говяжьим жиром № 1 а) и говяжьим жиром № 2 б)
Figure 1. Organoleptic score and flavor descriptor diagrams for control samples and the model samples of the fat phase of the product with beef fat No.1 a) and beef fat No.2 b)

чистым вкусом с характерными привкусами для данных видов жиров с присвоением высоких балловых оценок (на уровне 8–9 баллов). Молочный жир характеризовался чистым вкусом с легким привкусом выптопленного жира. В говяжьем жире № 1 отмечен чистый вкус с легким характерным привкусом говяжьего жира, выптопленного из свежего сырья, а в образце № 2 этот привкус был нивелирован ароматизатором, входящим в его состав. При этом балловая оценка образца говяжьего жира № 2 была снижена за счет излишней выраженности ароматизатора с профилем, отличающимся от натурального молочного жира и указанного в маркировке типа ароматизатора. Исследованные говяжьи жиры также отличались от молочного более замедленным таянием, создающим ощущение обволакиваемости. Большая ее выраженность проявлялась в образце ГЖ № 2. В моделях жировой фазы фальсифицированного продукта по мере увеличения дозы внесения говяжьего жира № 1 (Рисунок 1а) отмечалась более выраженная интенсивность привкуса добавленного жира, которая при дозе 5–10% была охарактеризована экспертами как легкий посторонний привкус и ощущение обволакиваемости. Эти характеристики при увеличении дозы внесения до 30 % переросли в посторонний и салистый привкусы на фоне снижения выраженности сливочного вкуса вследствие уменьшения доли молочного жира. По мере увеличения дозы внесения говяжьего жира № 2 (Рисунок 1б) сначала появилось замедленное таяние и слабая обволакиваемость, которые далее переросли в выраженную обволакиваемость и восковой привкус; одновременно усиливался посторонний привкус, связанный с большей выраженностью привкуса нетипичного ароматизатора. Проявление характерных привкусов в виде воскового, обволакиваемости и салистости можно связать, в первую очередь, с достоверными различиями в температурах плавления молочного жира и исследованных образцов говяжьего жира (Таблица 2). Причем это различие более заметно в отношении образца говяжьего жира № 2. Однако вследствие нивелирования ароматизатором указанные привкусы отмечены дегустаторами при более высокой дозе его внесения — 10–15 %.

Таблица 2. Показатели температуры плавления жировой фазы исследованных образцов

Доля ГЖ в смеси, %	Показатель температуры плавления, °С		
	МЖ (контроль)	ГЖ № 1	ГЖ № 2
	33,5 ± 3,4 ^{ab}	41,5 ± 4,2 ^a	44,0 ± 4,4 ^b
5	—	34,0 ± 3,4	34,0 ± 3,4
10	—	34,5 ± 3,5	34,5 ± 3,5
15	—	35,0 ± 3,5	35,5 ± 3,6
20	—	35,5 ± 3,6	36,5 ± 3,7
25	—	36,0 ± 3,6	37,0 ± 3,7
30	—	36,5 ± 3,7	38,0 ± 3,8

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение». Одинаковой буквой обозначены образцы, имеющие достоверные различия с контрольным образцом молочного жира ($p \leq 0,05$). Остальные показатели в столбцах не различаются с контролем ($p > 0,05$).

Несмотря на достоверные различия в температурах плавления говяжьего и молочного жира при исследованных дозах внесения говяжьего жира, достоверного различия данного показателя в жировых смесях не выявлено. Это связано с высокой погрешностью этого метода оценки. Следовательно, влияние на органолептический профиль жировой фазы проявляется раньше, чем выявляются различия по температуре плавления жира, что согласуется с данными [42].

3.2. Физико-химические показатели

Кислотность жировой фазы рассматривается исследователями [10] как показатель предварительного выявления фальсификации жировой фазы молочной продукции в случае, если он имеет пониженное значение. Это связано с тем, что в процессе изготовления немолочные жиры, используемые для пищевых целей,

проходят последовательные процессы технологической обработки, направленные в т.ч. на удаление из жира свободных жирных кислот (СЖК) [37–39]. Последние приносят посторонние привкусы в жировое пищевое сырье, тем самым снижая его технологичность и возможность использования в более высоких дозах внесения, поэтому их удаление считается важной технологической задачей при получении жиров высокой степени очистки. Динамика изменения кислотности жировой фазы как показателя, отражающего наличие СЖК в исследуемых образцах, приведена на Рисунке 2.

Анализ изменения кислотности жировой фазы образцов (Рисунок 2) показывает, что, несмотря на существенные различия показателя у говяжьих и молочного жиров, достоверные различия ($p \leq 0,05$) в жировой фазе продукта по данному показателю в рамках эксперимента обнаружены только при замещении молочного жира говяжьим жиром № 1 на 25–30 % и говяжьим жиром № 2 на 20–30 %. При этих уровнях замещения кислотность снижалась до 1,3–1,4 °К. Вместе с тем известно, что колебание кислотности молочного жира может быть более вариабельно (от 1,2 до 3,5 °К) [39,42]. Поэтому чем меньше различие между кислотностями молочного жира и используемого для фальсификации говяжьего жира, тем меньше вероятность его обнаружения в жировой фазе фальсифицируемого продукта по данному показателю.

Изменение физико-химических констант жировой фазы по мере увеличения доли добавленного говяжьего жира приведено в Таблице 3. В качестве констант для сравнения взяты йодное число, характеризующее степень ненасыщенности жира, и число Рейхерта–Мейссля, характеризующее наличие в нем низкомолекулярных летучих жирных кислот.

Выявлены статистически значимые различия показателя йодного числа молочного жира и говяжьих жиров № 1 и № 2 ($p \leq 0,05$), что объяснимо разницей в содержании насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в данных жирах. Для молочного жира суммарное содержание основных ненасыщенных жирных кислот было в 1,53 раза ниже, чем в говяьем жире № 1, и в 1,31 раза ниже, чем в говяьем жире № 2. Исследованные говяжьи жиры характеризовались повышенным содержанием пальмитолеиновой и олеиновой жирных кислот, что отразилось на показателе йодного числа, полученном как расчетным, так и химическим методами. В моделях жировой фазы продукта, содержащего говяжьи жиры, значимое различие йодного числа с показателями молочного жира выявлено при внесении 10 % ГЖ № 1 и 15 % ГЖ № 2 и более.

Различия в показателях числа Рейхерта–Мейссля в данном эксперименте выявилось при внесении 5 % говяжьих жиров за счет существенной разницы в содержании низкомолекулярных летучих жирных кислот (масляной, капроновой, каприновой и каприловой). В молочном жире их содержание составило 8,3 %, в говяжьих жирах они практически отсутствовали. Однако следует отметить, что для молочного жира существует стандартизованный диапазон числа Рейхерта–Мейссля, который составляет от 20 до 35 (ГОСТ Р 70238-2022⁸). Следовательно, для фальсифицированного продукта, находящегося в обороте, обоснованное заключение о наличии немолочного жира в жировой фазе может быть дано, если значение данного показателя будет ниже 20. В рамках выполненного эксперимента это соответствует дозе внесения говяжьего жира более 15 %.

Таблица 3. Физико-химические показатели жировой фазы исследованных образцов

Table 3. Physicochemical parameters of the fat phase of the studied samples

№ образца	Йодное число, г I ₂ /100 г		Число Рейхерта–Мейссля, см ³
	расчетным методом	методом Вийса	
1	34,77 ± 0,66 ^{ab}	34,75 ± 0,43 ^{ab}	23,52 ± 0,47 ^{ab}
2	49,60 ± 0,83 ^a	49,60 ± 0,50 ^a	0,60 ± 0,01 ^a
3	35,51 ± 0,66	35,48 ± 0,43	22,42 ± 0,45 ^a
4	36,24 ± 0,69 ^a	36,08 ± 0,42 ^a	21,56 ± 0,43 ^a
5	36,99 ± 0,66 ^a	36,88 ± 0,45 ^a	20,91 ± 0,42 ^a
6	37,74 ± 0,65 ^a	37,44 ± 0,43 ^a	20,34 ± 0,41 ^a
7	38,48 ± 0,70 ^a	38,04 ± 0,45 ^a	17,57 ± 0,35 ^a
8	39,23 ± 0,66 ^a	39,49 ± 0,48 ^a	16,04 ± 0,32 ^a
9	42,85 ± 0,71 ^b	42,85 ± 0,50 ^b	0,60 ± 0,01 ^b
10	35,57 ± 0,66	35,40 ± 0,48	22,42 ± 0,45 ^b
11	35,68 ± 0,68	35,67 ± 0,47	21,35 ± 0,43 ^b
12	35,82 ± 0,66 ^b	35,95 ± 0,49 ^b	20,78 ± 0,42 ^b
13	36,08 ± 0,66 ^b	36,22 ± 0,50 ^b	19,06 ± 0,38 ^b
14	36,58 ± 0,66 ^b	37,23 ± 0,48 ^b	17,39 ± 0,35 ^b
15	37,20 ± 0,66 ^b	37,23 ± 0,50 ^b	15,85 ± 0,32 ^b

Примечание: данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение». Данные, обозначенные в столбцах одинаковыми буквами, имеют статистически значимые различия с контрольным образцом молочного жира ($p \leq 0,05$).

3.3. Жирнокислотный состав

Различия в жирнокислотном составе молочного жира и исследованных говяжьих жиров, а также моделей жировой фазы фальсифицированных продуктов приведены на Рисунке 3. В первом образце ГЖ повышено суммарное содержание ненасыщенных жирных кислот по отношению к молочному жиру при доминировании олеиновой кислоты. Данное изменение может обуславливать формирование олеистых или салитых оттенков вкуса. Повышенная доля стеариновой кислоты, в свою очередь, способна вызывать появление легкого обволакивающего ощущения при увеличении дозировки ГЖ.

Во втором образце ГЖ также отмечено увеличение суммы ненасыщенных жирных кислот по сравнению с молочным жиром. Основной компонент — олеиновая кислота, однако ее содержание ниже, чем в жире № 1, что позволяет ожидать менее выраженное проявление олеистых и салитых вкусовых оттенков. Вместе с тем концентрация стеариновой кислоты во втором образце в 1,5 раза выше, чем в жире № 1, и в 1,9 раза превышает ее уровень в молочном жире. Это может приводить к более выраженной тугоплавкости, усилению обволакивающего эффекта и формированию характерного свечного (воскового) привкуса. Указанные предположения согласуются как с повышением температуры плавления, так и с результатами органолептической оценки [42].

Дисперсионный анализ выявил значимые различия ($p \leq 0,05$) жирнокислотного состава образцов говяжьего жира от молочного практически по всему спектру жирных кислот, за исключением

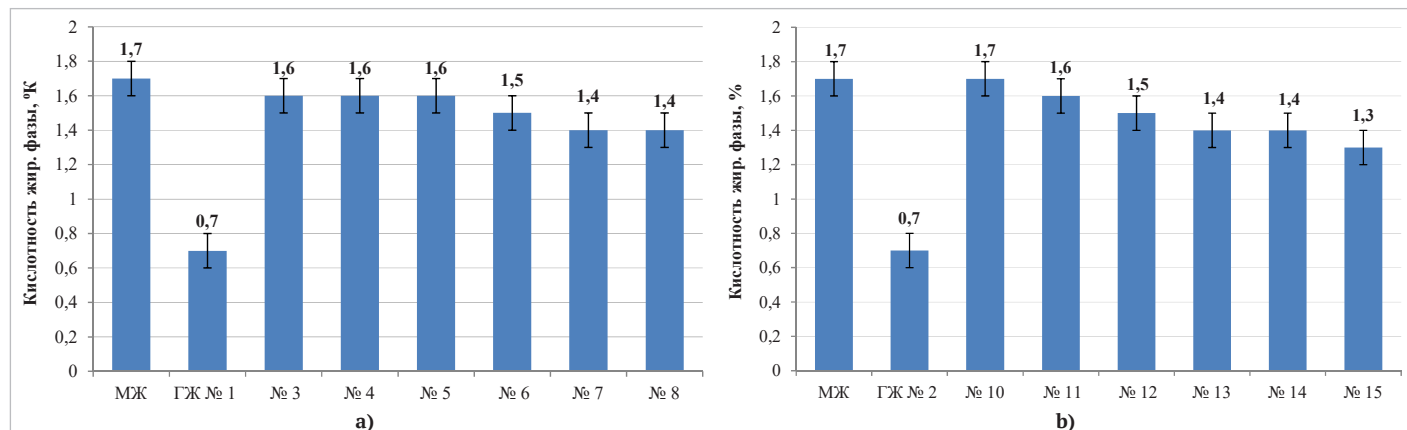


Рисунок 2. Динамика изменения кислотности жировой фазы продукта (°К) при внесении говяжьего жира в количестве от 5 % до 30 % при использовании ГЖ № 1 (а) и ГЖ № 2 (б)

Figure 2. Dynamics of changes in the acidity of the fat phase of the product (°K) when adding beef fat (BF) in quantities from 5 % to 30 % using BF No. 1 (a) and BF No. 2 (b)

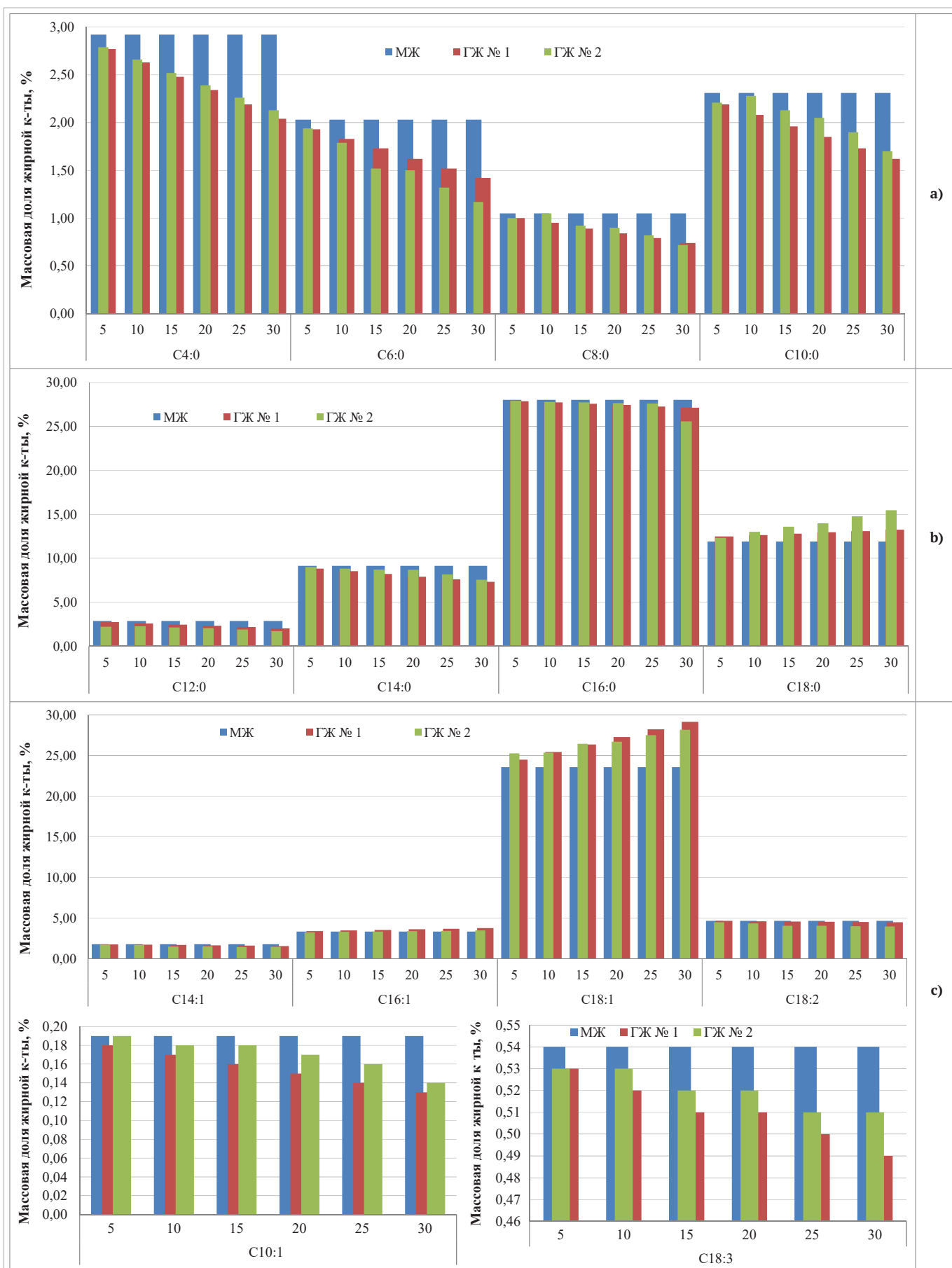


Рисунок 3. Изменение жирнокислотного состава образцов при использовании говяжьего жира № 1 и № 2 с долей в смеси 5, 10, 15, 20, 25, 30%, где: а) низкомолекулярные жирные кислоты; б) насыщенные жирные кислоты; в) ненасыщенные жирные кислоты

Figure 3. Changes in the fatty acid composition of the samples when using beef fat No.1 and No.2 with a proportion in the mixture of 5, 10, 15, 20, 25, 30%, where: a) low molecular weight fatty acids; b) saturated fatty acids; c) unsaturated fatty acids

минорных (арахиновой и бегеновой). Наиболее существенные различия ГЖ № 1 и ГЖ № 2 от молочного выявлены в содержании низкомолекулярных ЖК, миристиновой, стеариновой и олеиновой кислот. Важно отметить, что говяжьи жиры характеризовались повышенным содержанием стеариновой и олеиновой кислот, что коррелирует с появлением в образцах жировой фазы с их добавлением обволакиваемости, салистого и воскового привкусов.

При существенных различиях в жирнокислотном составе самих жиров в их смесях различия проявились по-разному, в зависимости от жирных кислот и вида использованного жира:

- по стеариновой кислоте — достоверное различие с молочным жиром выявлено при дозе внесения ГЖ № 1 и ГЖ № 2 в количестве 5 % и более;
- по олеиновой кислоте — при дозе внесения ГЖ № 1 и ГЖ № 2 в количестве 5 % и более;
- по лауриновой и миристиновым кислотам — значимое различие выявлено при 10 % и более внесения говяжьих жиров;
- по низкомолекулярным (масляная кислота, каприновая), деценовой, миристолеиновой и линолевой кислотам — при дозе 15 % и более;
- по капроновой и пальмитолеиновой кислотам — при дозе 20 % и более;
- по каприловой — 25 % и более.

Соотношения метиловых эфиров жирных кислот для говяжьих жиров, рассчитанные на основе жирнокислотного состава, существенно отличаются от соотношений, характерных для молочного жира (Таблица 4). В таблице приведены актуальные соотношения и их нормативные значения согласно ГОСТ Р 52253-2025¹¹, вводимые в действие с 2027 года с правом досрочного применения. Дополнительно к ранее установленным пяти соотношениям введено дополнительно соотношение $C_{18:0}/C_{14:0}$, чувствительное к использованию для фальсификации жиров с повышенным содержанием стеариновой кислоты и пониженным содержанием миристиновой кислоты.

¹¹ ГОСТ Р 52253-2025 «Масло и паста масляная из молока сельскохозяйственных животных. Общие технические условия». — М.: Стандартинформ, 2014. — 42 с.

Таблица 4. Показатели соотношений метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) молочного жира (МЖ) и говяжьего жира (ГЖ № 1 и ГЖ № 2)

Table 4. Ratios of fatty acid methyl esters (FAME) of milk fat and beef fat No.1 and No.2

Обозначение соотношений МЭЖК	Нормативное значение по ГОСТ Р 52253-2025	Значение показателя		
		МЖ	ГЖ № 1	ГЖ № 2
$C_{16:0}/C_{12:0}$	5,6–14,5	9,7	357,4	369,1
$C_{18:0}/C_{12:0}$	1,7–5,9	4,1	219,9	319,9
$C_{18:0}/C_{14:0}$	0,5–1,3	1,3	5,0	7,6
$C_{18:1}/C_{14:0}$	1,5–3,6	2,6	13,8	12,2
$C_{18:2}/C_{14:0}$	0,1–0,5	0,5	1,3	1,2
$(C_{18:1}+C_{18:2})/(C_{12:0}+C_{14:0}+C_{16:0}+C_{18:0})$	0,4–0,7	0,5	1,0	0,8

Таблица 5. Изменение жирнокислотного состава жировой фазы продукта при использовании говяжьего жира

Table 5. Changes in the fatty acid composition of the fat phase of the product when using beef fat

Обозначение соотношений МЭЖК	При внесении ГЖ № 1					
	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
$C_{16:0}/C_{12:0}$	10,2	10,7	11,2	11,8	12,5	13,3
$C_{18:0}/C_{12:0}$	4,6	4,9	5,2	5,6	6,0	6,5
$C_{18:0}/C_{14:0}$	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8
$C_{18:1}/C_{14:0}$	2,8	3,0	3,2	3,4	3,7	4,0
$C_{18:2}/C_{14:0}$	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
$(C_{18:1}+C_{18:2})/(C_{12:0}+C_{14:0}+C_{16:0}+C_{18:0})$	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6
	При внесении ГЖ № 2					
	№ 10	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15
$C_{16:0}/C_{12:0}$	9,8	10,1	11,0	11,7	12,3	13,6
$C_{18:0}/C_{12:0}$	4,3	4,7	5,4	5,9	6,6	7,7
$C_{18:0}/C_{14:0}$	1,4	1,5	1,6	1,6	1,8	2,0
$C_{18:1}/C_{14:0}$	2,8	2,9	3,0	3,1	3,4	3,7
$C_{18:2}/C_{14:0}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$(C_{18:1}+C_{18:2})/(C_{12:0}+C_{14:0}+C_{16:0}+C_{18:0})$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

В моделях фальсифицированного продукта отклонения от нормы проявились при разных соотношениях МЖ/ГЖ, что видно из данных Таблицы 5. Это связано с отличительными особенностями ЖКС, использованных в эксперименте жиров.

При использовании ГЖ № 1 отклонения от нормы по двум коэффициентам соотношений выявлены при его добавлении в молочный жир в количестве 15 % и 20 %, отклонения по 4 коэффициентам — при более высокой дозе его внесения (25–30 %). Два соотношения остались нечувствительны к изменению ЖКС, а вновь введенное соотношение ($C_{18:0}/C_{14:0}$) указало на изменение ЖКС уже при 5 % добавленного жира.

В случае использования ГЖ № 2 наиболее чувствительным оказалось также соотношение $C_{18:0}/C_{14:0}$. Соотношение $C_{18:0}/C_{12:0}$ выявило отклонение при дозе внесения говяжьего жира более 20 %, соотношение $C_{18:1}/C_{14:0}$ — при 30 % внесенного жира. Из-за снижения содержания миристиновой и повышения содержания стеариновой кислот при внесении ГЖ № 2 в количестве 5 % по вновь введенному соотношению МЭЖК $C_{18:0}$ к $C_{14:0}$ 0,5–1,3 было выявлено несоответствие этого показателя, который и дальше возрастал по мере увеличения дозировки ГЖ. Три соотношения остались нечувствительны к изменению ЖКС.

3.4. Рамановская спектроскопия

Анализ спектров образцов, полученных методом рамановской спектроскопии, показал, что основные полосы спектров соответствуют сигналам, обусловленным колебаниями насыщенных и ненасыщенных структур жирных кислот [43,44]: 1650 см^{-1} для моды растяжения C=C (известной как мода $\nu(\text{C}=\text{C})$) от цис-двойных связей RHC=CHR; 1440 см^{-1} для деформации ножничного изгиба $\delta(\text{CH})$ группы $-\text{CH}_2$; 1265 см^{-1} для деформации $\delta(\text{C}-\text{H})$ от цис-двойных связей RHC=CHR; 1300 см^{-1} для деформации $\delta(\text{C}-\text{H})$ группы $-\text{CH}_2$; и 1747 см^{-1} для моды растяжения (C=O) (известной как мода $\nu(\text{C}=\text{O})$) группы RC=OOR.

Сравнение спектров молочного жира и говяжьего жира № 1 выявило основные различия только в интенсивности одинаковых полос (Рисунок 4а), особенно в области 1650 см^{-1} , отвечающей за ненасыщенные связи жирных кислот. При сравнении спектра молочного жира с образцом говяжьего жира № 2 выявлены различия как

в интенсивности одинаковых сигналов, так и в появлении в образце ГЖ № 2 отчетливого раздвоения в области $1720\text{--}1760\text{ см}^{-1}$, отвечающей за С–О связи в сложных эфирах жирных кислот (Рисунок 4с) [45], а также сигнала 1175 см^{-1} , характеризующего колебания карбонильно-сложноэфирной группы глицеринового остова в молекулах глицеридов [43] (Рисунок 4б). Между образцами говяжьего жира также были выявлены различия как в интенсивности одинаковых сигналов, так в сигнале 1175 см^{-1} и раздвоении в области $1720\text{--}1760\text{ см}^{-1}$ в образце ГЖ № 2, что, по-видимому, связано с большим количеством глицеридов и метиловых эфиров жирных кислот в образце за счет внесения эмульгаторов. Также можно отметить, что в образ-

це ГЖ № 1 сигнал 1266 см^{-1} , отвечающий за *cis*-изомеры жирных кислот, был интенсивнее, чем в образцах МЖ и ГЖ № 2. Колебания интенсивностей спектров в области $1040\text{--}1140\text{ см}^{-1}$ связаны с разным количеством С–С связей в образцах. Gómez-Mascaraque L. G. и соавторы связывали интенсивность сигнала 1650 см^{-1} с концентрацией α -линоленовой кислоты и конъюгированной линоленовой кислоты в сливочном масле [46]. В работе [26] отмечено, что колебания интенсивностей сигналов 1015 , 1162 и 1525 см^{-1} , связанных с каротиноидами, зависит от породы коров при одинаковом пастбищном кормлении. При этом, как отмечено в работе [47], выявление нехарактерных для молока сигналов на рамановских спектрах

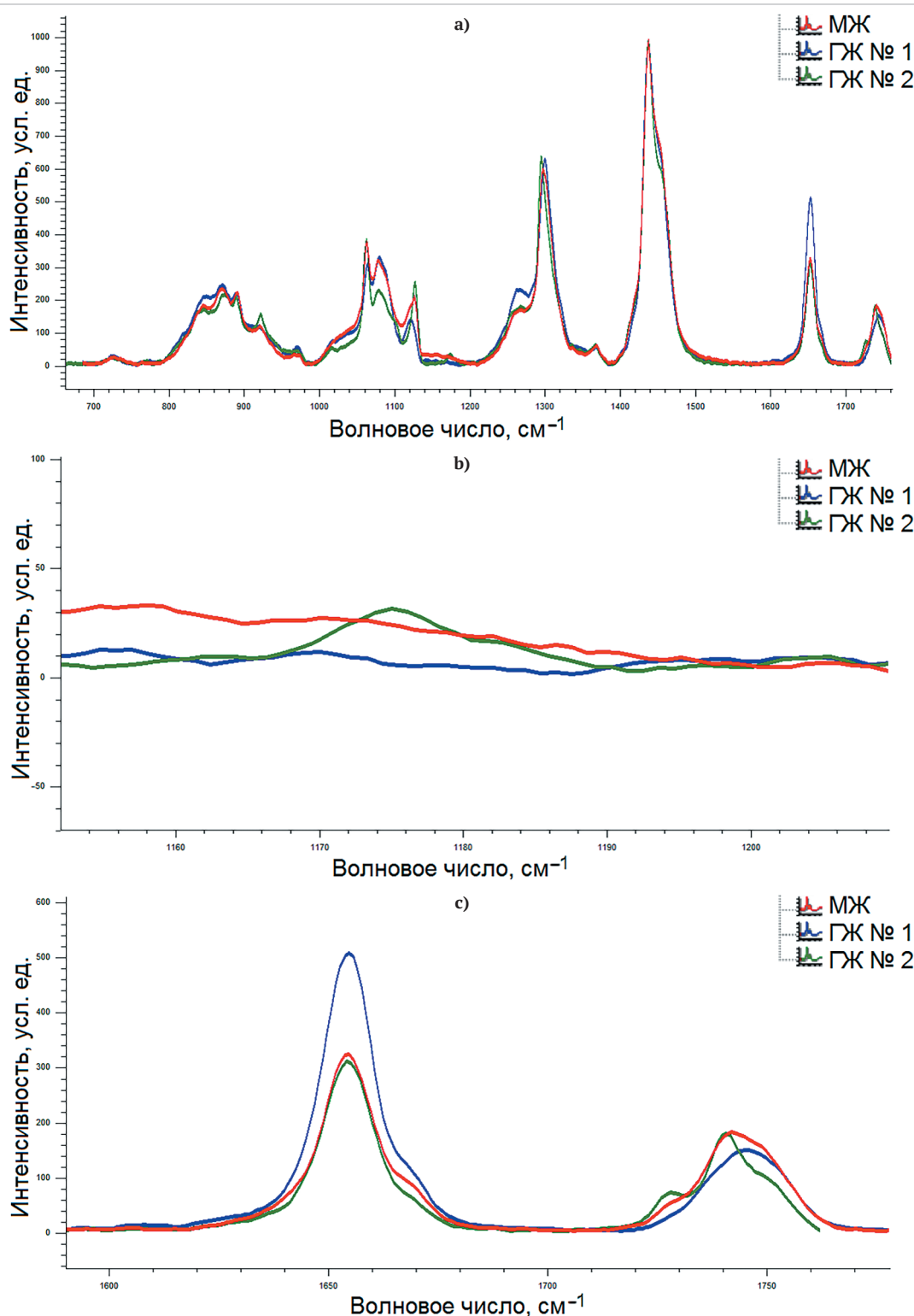


Рисунок 4. Сравнение спектров молочного и говяжьего жиров:
а) спектры в диапазоне $800\text{--}1800\text{ см}^{-1}$; б) спектры в диапазоне $1160\text{--}1190\text{ см}^{-1}$; в) — спектры в диапазоне $1600\text{--}1760\text{ см}^{-1}$
Figure 4. Comparison of spectra of milk and beef fats:
a) spectra in the range of $800\text{--}1800\text{ см}^{-1}$; b) spectra in the range of $1160\text{--}1190\text{ см}^{-1}$; c) spectra in the range of $1600\text{--}1760\text{ см}^{-1}$

связано с присутствием посторонних компонентов, например, меланин вызывает колебания триазинового кольца в областях около 680 и 980 cm^{-1} .

Достоверность различий исследованных образцов молочного и говяжьего жиров подтверждена анализом полученных спектров методом главных компонент (PCA). Данный метод успешно использовали в работах [26] и [46] для классификации молока и сливочного масла от коров с разным рационом кормления, а в работе [34] — для дифференциации молока в зависимости от режимов пастеризации. Результаты PCA представлены на Рисунке 5. Было сформировано 15 главных компонент, первые шесть из которых объясняли 95,22% дисперсии. Первая главная компонента (PC1) описывала 44,10% дисперсии исходного набора данных, вторая (PC2) — 22,79%. Точки

образцов группировались в разных областях графика и не имели пересечений. При этом точки, соответствующие ГЖ № 2, находились преимущественно в I квадранте (положительном по PC2 и отрицательном по PC1), ГЖ № 1 — во II (положительном по PC1 и PC2), а МЖ — в нижней части графика (отрицательная область по PC2) вблизи нулевого значения PC1.

Дальнейшее сравнение спектров проводили с учетом двух групп образцов со смешанным составом жировой фазы: первая группа (Группа 1) включала модели с ГЖ № 1, а именно образцы № 3–8. Вторая группа (Группа 2) включала образцы № 10–15. Эти образцы сравнивали с контрольными образцами (МЖ и ГЖ № 1 — для первой группы, и МЖ и ГЖ № 2 — для второй группы). Результаты приведены на Рисунке 6.

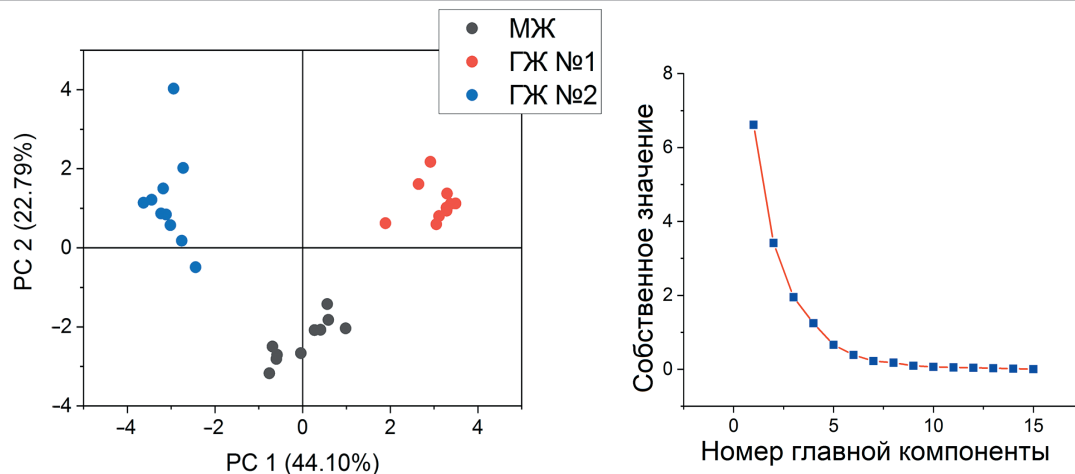


Рисунок 5. Результаты PCA для образцов 1, 2, 9. PC1 vs PC2

Figure 5. PCA results for samples 1, 2, 9. PC1 vs PC2

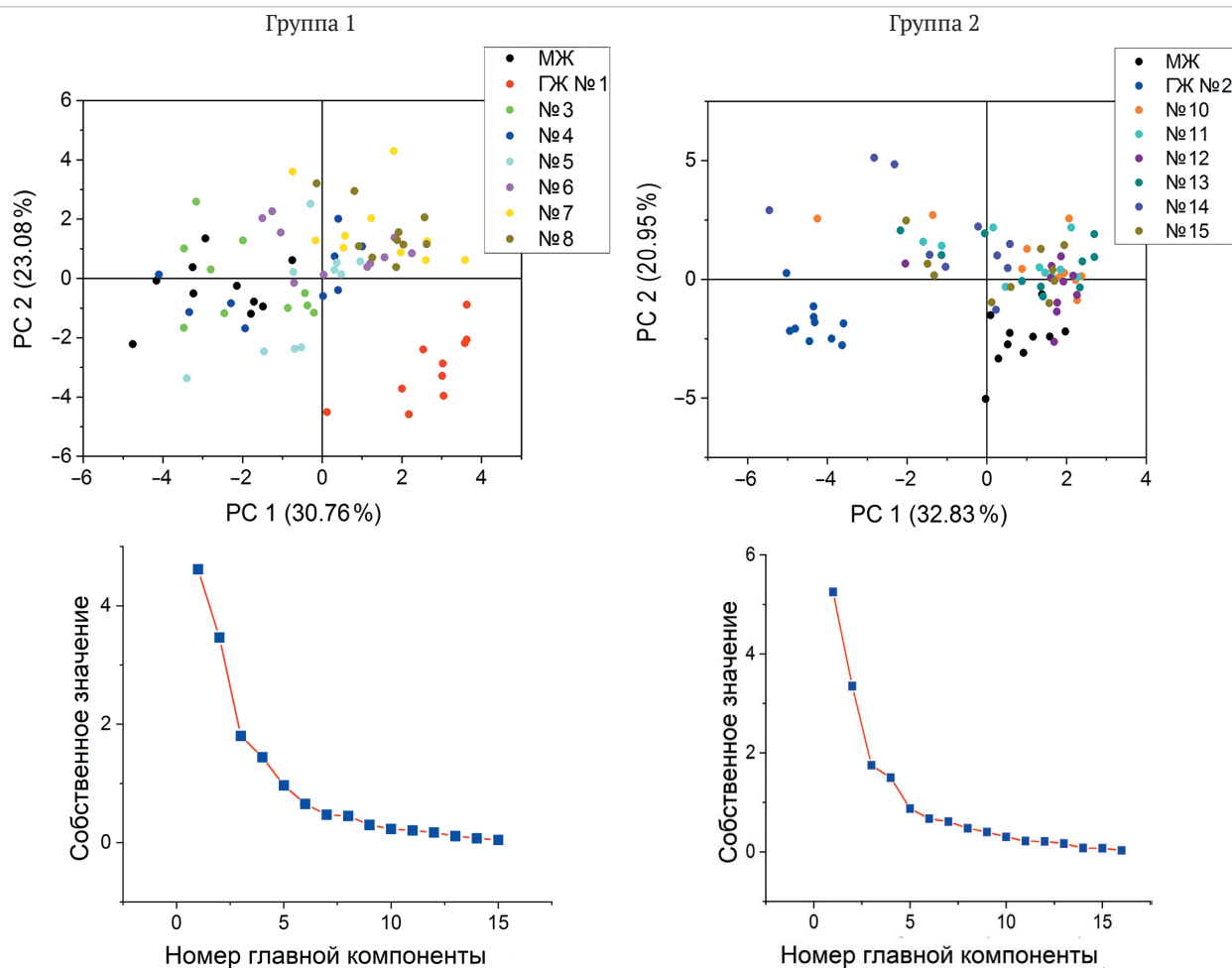


Рисунок 6. Результаты PCA для исследованных образцов по двум группам. PC1 vs PC2

Figure 6. PCA results for the samples in two groups. PC1 vs PC2

Для группы 1 было сформировано 15 главных компонент, первые семь из которых объясняли 89,42% дисперсии. Первая главная компонента (PC1) описывала 30,76% дисперсии исходного набора данных, вторая (PC2) — 23,08%. Точки образцов № 1 и № 2 группировались в разных областях графика и не имели пересечений. При этом точки, соответствующие МЖ, находились в отрицательной области по PC1, а ГЖ № 1 — в квадранте, положительном по PC1 и отрицательном по PC2. Точки образцов № 3, № 4 и № 5 располагались ближе к точкам образца МЖ, а точки образцов № 6, № 7 и № 8 преимущественно смещались ко II квадранту, положительному по PC1 и PC2. Таким образом, можно отметить достоверное различие образцов по рамановским спектрам с внесением ГЖ № 1 более 25%.

Для группы 2 было сформировано 16 главных компонент, первые семь из которых объясняли 87,49% дисперсии. Первая главная компонента (PC1) описывала 32,83% дисперсии исходного набора данных, вторая (PC2) — 20,95%. Точки образцов МЖ и ГЖ № 2 также группировались в разных областях графика и не имели пересечений. При этом точки, соответствующие образцу МЖ, находились в отрицательной области по PC2, а образцу ГЖ № 2 — преимущественно в отрицательном по PC1 и PC2 квадранте. Точки образцов № 10–15 не имели четких областей расположения и преимущественно группировались в I, II и IV квадрантах графика. Таким образом, PCA рамановских спектров образцов с внесением ГЖ № 2 не позволил их достоверно отличить от МЖ. При этом следует отметить, что сигналы в области 1727 см^{-1} и 1175 см^{-1} , стабильно присутствовавшие в образце ГЖ № 2, также обнаруживались на спектрах образцов № 10–15: это может являться идентификационным признаком присутствия в данных образцах говяжьего жира № 2. Однако использование данных пиков для идентификации говяжьего жира № 2 требует дальнейшего изучения.

Результаты анализа жирнокислотного профиля образцов, определяемого на основе данных рамановской спектроскопии, приведены на Рисунке 7. Наименьшее значение показателя OS, а, следовательно, и интенсивностей сигналов от ненасыщенных связей жирных кислот, было у образцов МЖ и ГЖ № 2, а наибольшее — у образца ГЖ № 1.

В ряду образцов № 3–8 по мере увеличения количества говяжьего жира № 1 по сравнению с образцом МЖ показатель OS также увеличивался (достоверные различия выявлены при внесении более 15%, $p < 0,05$). В ряду № 10–15 жирнокислотный профиль не показал существенных различий между образцами, однако был достоверно выше ($p < 0,05$), чем в образцах МЖ и ГЖ № 2. Данные результаты согласуются с изменениями жирнокислотного состава образцов.

4. Выводы

В результате проведенных комплексных исследований образцов молочного жира, говяжьих жиров и их модельных смесей, включавших органолептическую, физико-химическую, хроматографическую и спектроскопическую оценку, сформулированы следующие выводы:

1. Показано, что органолептические характеристики жировой фазы являются высокочувствительным индикатором присутствия говяжьего жира в молочном жире и позволяют выявлять фальсификацию уже при дозах внесения 5–10%, тогда как достоверные различия по температуре плавления фиксируются лишь при более высоких концентрациях и сопровождаются значительной погрешностью метода.
2. Установлено, что снижение кислотности жировой фазы может служить дополнительным диагностическим признаком фальсификации, однако информативность данного показателя ограни-

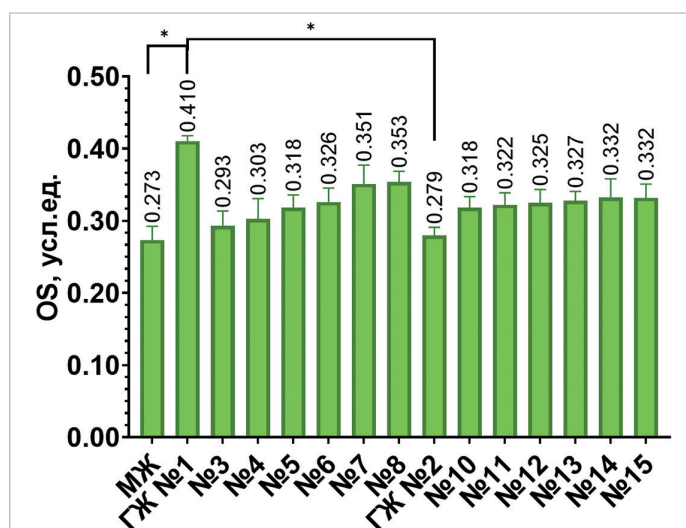


Рисунок 7. Гистограмма полученных значений жирнокислотного профиля образцов, определяемого на основе данных рамановской спектроскопии (* — достоверные различия между МЖ, ГЖ № 1 и ГЖ № 2, $p < 0,05$)
Figure 7. Histogram of the obtained values of the fatty acid profile of the samples, determined based on the data of Raman spectroscopy (* — significant differences between MF, BF № 1 and BF № 2, $p < 0.05$)

чена высокой вариабельностью кислотности натурального молочного жира и проявляется преимущественно при замещении более 20–25% молочного жира говяжьим.

3. Йодное число и число Рейхерта–Мейселя подтвердили высокую диагностическую значимость для выявления немолочного жира. Достоверные отклонения йодного числа от значений молочного жира выявлены при внесении 10% ГЖ № 1 и 15% ГЖ № 2. Снижение числа Рейхерта–Мейселя ниже нормативного уровня, позволяющее однозначно судить о фальсификации, наблюдалось при содержании говяжьего жира более 15%.
4. Дисперсионный анализ показал наличие статистически значимых различий жирнокислотного состава говяжьих и молочного жиров практически по всему спектру жирных кислот. Наиболее информативными маркерами оказались содержание низкомолекулярных кислот и соотношения миристиновой, стеариновой и олеиновой кислот, коррелирующие с формированием обволакиваемости, салистых и восковых оттенков вкуса.
5. Метод рамановской спектроскопии в сочетании с анализом главных компонент подтвердил возможность дифференциации молочного и говяжьих жиров по спектральным признакам, а также возможность выявления ароматизированного говяжьего жира по характерным полосам в областях 1175 см^{-1} и $1720\text{--}1760\text{ см}^{-1}$.
6. Совокупность органолептических, физико-химических, хроматографических и спектроскопических методов обеспечивает надежную идентификацию фальсификации жировой фазы молочных продуктов, при этом наибольшей чувствительностью и воспроизводимостью обладают показатели жирнокислотного состава и соотношений МЭЖК, а также методы рамановской спектроскопии с последующей многомерной статистической обработкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК/ REFERENCES

1. Янковская, В. С., Дунченко, Н. И. (2024). Системный подход к обеспечению качества и безопасности пищевых продуктов на базе квалиметрии рисков. *Молочная промышленность*, 6, 59–62. [Yankovskaya, V. S., Dunchenko, N. I. (2024). Systematic approach to food quality and safety: Risk qualitymetry. *Dairy Industry*, 6, 59–62. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-6-15>
2. Матисон, А. В., Арутюнова, Н. И. (2016). Качество продуктов питания. *Пищевая промышленность*, 4, 50–54. [Matison, V. A., Arutyunova, N. I. (2016). Food quality. *Food Industry*, 4, 50–54. (In Russian)]
3. Тутельян В. А. (2021). Здоровое питание для общественного здоровья. *Общественное здоровье*, 1(1), 56–64. [Tutelyan, V. A. (2021). Healthy food for public health. *Public Health*, 1(1), 56–64. (In Russian)] <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64>
4. Синявский, Ю. А., Якунин, А. В., Туйгунов, Д. Н., Шарипбаева, А. Ш., Ережепов, А. Е. (2021). Оценка уровня фальсификации сливочного масла, представленного на рынке Республики Казахстан. *Пищевая промышленность*, 2, 25–29. [Sinyavskiy, Yu. A., Yakunin, A. V., Tuygunov, D. N., Sharipbaeva, A. Sh., Erejepov, A. E. (2021). Assessment of the level of falsification of butter on the market in Almaty. *Food Industry*, 2, 25–29. (In Russian)] <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-2-0013>
5. Жилинкова, К. Б. (2021). Проблемы фальсификации молочной продукции и их влияние на рынок молока и состояние молочной отрасли. *Экономика. Информатика*, 48(4), 697–706. [Zhilinkova, K. B. (2021). The impact of counterfeit dairy products and surrogates on the milk market and the state of the dairy industry. *Economics. Information Technologies*, 48(4), 697–706. (In Russian)] <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2021-48-4-697-706>
6. Бебнева, Я. О., Безродный, С. Л., Гераскин, Е. В. (2021). Выявление фальсификации сливочного масла растительными маслами и их роль в метаболизме человека. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, 2, 51–59. [Bebneva, Y. O., Bezrodny, S. L., Geraskin, E. V. (2021). Detection of falsification of cream oil with vegetable oils and their role in human metabolism. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products*, 2, 51–59. (In Russian)] <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-2-51-59>

7. Буркин, К. Е., Мухамметшина, А. Г., Мухарлямова, А. З., Балымова, М. В., Сайфутдинов, А. М., Мохтарова, С. Л. (2025). Исследование образцов сливочного масла низкой ценовой категории на некоторые показатели качества и безопасности. *Ползуновский вестник*, 2, 34–39. [Burkin, K. E., Mukhammetshina, A. G., Mukharlyamova, A. Z., Balymova, M. V., Saifutdinov, A. M., Mokhtarova, S. L. (2025). Study of lowprice butter samples for some quality and safety indicators. *Polzunovskiy Vestnik*, 2, 34–39. (In Russian)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.005>
8. Юрова, Е. А., Кобзева, Т. В., Жижин, Н. А. (2018). Выявление фальсификации жировой фазы молочной продукции. *Контроль качества продукции*, 1, 34–39. [Yurova, E. A., Kobzeva, T. V., Zhizhin, N. A. (2018). Detection of falsification of the fat phase of dairy products. *Production Quality Control*, 1, 34–39. (In Russian)]
9. Афанасьева, А. А., Данилова, Е. С., Пирогова, Е. Н., Павлова, Т. А. (2025). Применение ГХ-методов для выявления фальсификации в продуктах маслodelия. *Сыроделье и маслоделение*, 3, 62–69. [Afanasyeva, A. A., Danilova, E. S., Pirogova, E. N., Pavlova, T. A. (2025). Gas chromatography in butter authentication. *Cheese- and Buttermaking*, 3, 62–69. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-3-31>
10. Юрова, Е. А. (2025). Оценка подлинности молока и молочной продукции согласно ГОСТ Р 72209–2025. *Молочная промышленность*, 5, 2–4. [Yurova, E. A. (2025). Milk and dairy product authenticity assessment according to GOST R 72209–2025. *Dairy Industry*, 5, 2–4. (In Russian)]
11. Mannarino, E., Pirro, M., Cortese, C., Lupattelli, G., Siepi, D., Mezzetti, A. et al. Bertolini S. (2009). Effects of a phytosterol-enriched dairy product on lipids, sterols and 8-isoprostane in hypercholesterolemic patients: A multicenter Italian study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 19(2), 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2008.03.012>
12. Duong, S., Strobel, N., Buddhadasa, S., Auldist, M. J., Wales, W. J., Moate, P. J. et al. (2018). Modification of the sterol profile in milk through feeding. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 5933–5944. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15067>
13. Sadeghi, N., Rostami, A., Taghavianpour, A., Jafari-Semnani, S., Torabi, P., Pourjabar, Z., Hajimahmoodi, M. (2018). Study on sterol fraction of commercial brands of milk, yoghurt and butter sold in Iranian market and chemometric data analysis. *International Journal of Dairy Technology*, 71(3), 647–653. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12511>
14. Nagarajappa, V., Battula, S. N., Arora, S., Naik, L. N. (2018). Fortification of milk with phytosterol and its effect on sensory and physicochemical properties. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 57(1), 63–70. <https://doi.org/10.1515/ijaf-2018-0007>
15. Verma, A., Meitei, N. S., Gajbhiye, P. U., Raftery, M. J., Ambatipudi, K. (2020). Comparative analysis of milk triglycerides profile between Jaffarabadi buffalo and Holstein Friesian cow. *Metabolites*, 10(12), Article 507. <https://doi.org/10.3390/metabo10120507>
16. Shehata, A. A. Y., de Man, J. M., Alexander, J. C. (1971). Triglyceride composition of milk fat. I. separation of triglycerides by column and gas-liquid chromatography. *Canadian Institute of Food Technology Journal*, 4(2), 61–67. [https://doi.org/10.1016/s0008-5860\(71\)74171-3](https://doi.org/10.1016/s0008-5860(71)74171-3)
17. Ruiz-Sala, P., Hierro, M. T. G., Martínez-Castro, I., Santa-María, G. (1996). Triglyceride composition of ewe, cow, and goat milk fat. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(3), 283–293. <https://doi.org/10.1007/bf02523421>
18. Molkenst, J., Golay, P.-A., Contarini, G., Johnson, R., MacGibbon, A. (2019). Guidance on the practical application of IDF/ISO standard on the determination of milkfat purity. Bulletin of the International Dairy Federation 499/2019. International Dairy Federation, 2019.
19. Смирнов, А. В. (2022). Выявления фальсификации молочной продукции растительными жирами с использованием метода люминисцентного анализа. *Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии*, 4, 134–137. [Smirnov, A. V. (2022). Detection of adulteration of dairy products with vegetable fats using the method of luminescent analysis. *Legal Regulation in Veterinary Medicine*, 4, 134–137. (In Russian)] <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2022.4.134>
20. Амелин, В. Г., Шаока, З. А. Ч., Большаков, Д. С., Третьяков, А. В. (2023). Установление фальсификации сливочного масла цветометрическим методом с использованием смартфона и хеометрического анализа. *Известия ВУЗов. Химия и химическая технология*, 66(2), 53–61. [Amelin, V. G., Shogah, Z. A. Ch., Bol'shakov, D. S., Tretyakov, A. V. (2023). Detection of falsification of butter by colorimetric method using smartphone and chemometric analysis. *ChemChemTech*, 66(2), 53–61. (In Russian)] <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20236602.6717>
21. Метелкин, Д. А., Платов, Ю. Т., Рубцов, А. Н. (2020). Идентификация сливочного масла методами ИК-спектроскопии и многомерного анализа. *Пищевая промышленность*, 3, 58–61. [Metlenkin, D. A., Platonov, Yu. T., Rubtsov, A. E. (2020). Identification of butter using IR spectroscopy and multivariate analysis. *Food Industry*, 3, 58–61. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10033>
22. Nurulhidayah, A. F., Arief, S. R., Rohman, A., Amin, I., Shuhaimi, M., Khatib, A. (2015). Detection of butter adulteration with lard using differential scanning calorimetry. *IFRJ*, 22(2), 832–839.
23. Сериков, М. С., Нургулиева, М. Т., Мырзабек, К. А., Тойшиманов, М. Р., Бактыбаева, Ф. К. (2022). К вопросу идентификации состава жировой фазы масложировой продукции. *Техника и технология пищевых производств*, 52(4), 685–693. [Serikov, M. S., Nurgulyeva, M. T., Myrzabek, K. A., Toishimanov, M. R., Baktybayeva, F. K. (2022). Defining the composition of fat phase in foods. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), 685–693. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2398>
24. Silva, M. G., Lima de Paula, I., Stephani, R., Edwards, H. G. M., Cappa de Oliveira, L. F. (2021). Raman spectroscopy in the quality analysis of dairy products: A literature review. *Journal of Raman Spectroscopy*, 52(12), 2444–2478. <https://doi.org/10.1002/jrs.6214>
25. Thuku, J. M., Kaniu, M. I., Ndung'u, C. N., Kiruri, L. W., Kaduki, K. A. (2025). Targeted detection of low-level chlorpyrifos residues in milk using chemometrics-aided Raman spectroscopy. *European Journal of Advanced Chemistry Research*, 6(3), 1–12. <https://doi.org/10.24018/ejchem.2025.6.3.165>
26. Kostovska, R., Cruz, J., Drouin, G., Horan, B., Tobin, J. T., O'Callaghan, T. F. et al. (2025). Use of Raman spectroscopy as a rapid tool to discriminate milk deriving from different pasture-based diets and breeds in a seasonal, spring-calving dairy production system. *Journal of Dairy Science*, 108(9), 9205–9221. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26489>
27. Santos, A. R., Menezes, D. B., Ellena, J., Andrade, M. B. (2019). Raman spectroscopy application in the characterization of pertaining minerals of a geocollecion. *Química Nova*, 42(5), 489–496.
28. Тихонова, В. В., Саушкина, А. С. (2020). Обзор возможностей применения рамановской спектроскопии в процессно-аналитической технологии (ПАТ). *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 23(10), 35–39. [Tihonova, V. V., Saushkina, A. S. (2020). Application of Raman spectroscopy to process analytical technology (PAT). *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, 23(10), 35–39. (In Russian)] <https://doi.org/10.29296/25877313-2020-10-05>
29. Silva, M. G., de Paula, I. L., Stephani, R., Edwards, H. G. M., de Oliveira, L. F. C. (2021). Raman spectroscopy in the quality analysis of dairy products: A literature review. *Journal of Raman Spectroscopy*, 52(12), 2444–2478. <https://doi.org/10.1002/jrs.6214>
30. de Almeida, M. R., de Sá Oliveira, K., Stephani, R., Cappa de Oliveira, L. F. (2012). Application of FT-Raman spectroscopy and chemometric analysis for determination of adulteration in milk powder. *Analytical Letters*, 45(17), 2589–2602. <https://doi.org/10.1080/00032719.2012.698672>
31. Rodrigues Júnior, P. H., de Sá Oliveira, K., de Almeida, C. E. R., de Oliveira, L. F. C., Stephani, R., Pinto, M. da S. et al. (2016). FT-Raman and chemometric tools for rapid determination of quality parameters in milk powder: Classification of samples for the presence of lactose and fraud detection by addition of maltodextrin. *Food Chemistry*, 196, 584–588. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.055>
32. Smith, G. P. S., Gordon, K. C., Holroyd, S. E. (2013). Raman spectroscopic quantification of calcium carbonate in spiked milk powder samples. *Vibrational Spectroscopy*, 67, 87–91. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2013.04.005>
33. Kostovska, R., Cruz, J., Drouin, G., Horan, B., Tobin, J. T., O'Callaghan, T. F. et al. (2025). Use of Raman spectroscopy as a rapid tool to discriminate milk deriving from different pasture-based diets and breeds in a seasonal, spring-calving dairy production system. *Journal of Dairy Science*, 108(9), 9205–9221. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26489>
34. Барковская, И. А., Туровская, С. Н., Илларионова, Е. Е., Ярышев, В. Ю., Блядз, В. Г., Кондратенко, В. В. (2025). Сравнение методов ИК- и Раман-спектроскопии для оценки структурных изменений в молоке при тепловой обработке. *FOOD METAENGINEERING*, 3(3), 21–38. [Barkovskaya, I. A., Turovskaya, S. N., Illarionova, E. E., Yaryshev, V. Yu., Bliadze, V. G., Kondratenko, V. V. (2025). Comparison of IR and Raman spectroscopy methods for assessing structural changes in milk during heat treatment. *FOOD METAENGINEERING*, 3(3), 21–38. (In Russian)] <https://doi.org/10.37442/fme.2025.3.91>
35. Buckova, M., Vaskova, H., Bubelova, Z. (2016). Raman spectroscopy as a modern tool for lactose determination. *WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine*, 13, 108–114.
36. Li, M., Chen, J., Xu, J., Fu, S., Gong, H. (2015). Determination of lactose in milk by Raman spectroscopy. *Analytical Letters*, 48(8), 1333–1340. <https://doi.org/10.1080/00032719.2014.979358>
37. Lei, F., Zheng, M., Zhang, T., Wang, S., Li, H., He, D. et al. (2025). Physicochemical analysis of beef tallow and its liquid fraction, comparing frying performance with high oleic acid rapeseed oil and rice bran oil. *Food Chemistry*, 476, Article 143515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143515>
38. Onopiuk, A., Kołodziejczak, K., Szpicer, A., Marcinkowska-Lesiak, M., Wojtasik-Kalinowska, I., Stelmasiak, A. et al. (2022). The effect of partial substitution of beef tallow on selected physicochemical properties, fatty acid profile and PAH content of grilled beef burgers. *Foods*, 11(13), Article 1986. <https://doi.org/10.3390/foods11131986>
39. O'Brien, R. D. (2008). Fats and oils. Formulating and Processing for Applications. CRC Press, 2008. <https://doi.org/10.1201/9781420061673>
40. Каламбет, Ю. А., Козьмин, Ю. П., Самохин, А. С. (2017). Фильтрация шумов. Сравнительный анализ методов. *Аналитика*, 5(36), 88–101. [Kalambet, Yu. A., Kozmin, Yu. P., Samokhin, A. S. (2017). Noise filtering. Comparative analysis of methods. *Analytics*, 5(36), 88–101. (In Russian)] <https://doi.org/10.22184/2227-572X.2017.36.5.88.101>
41. Pchelkina, V., Chernukha, I., Nikitina, M., Ilin, N. (2023). Pig adipose tissue of two different breeds and locations: Morphology and Raman studies. *Foods and Raw Materials*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-547>
42. Топникова, Е. В., Данилова, Е. С., Заболотин, Г. Ю. (2019). Контроль состава жировой фазы молочных продуктов с целью выявления их фальсификации животными жирами. *Сыроделье и маслоделение*, 1, 10–12. [Topnikova, E. V., Danilova, E. S., Zabolotin, G. Yu. (2019). Control of the fat phase of milk products composition to detect their falsification with animal fats. *Cheese- and Buttermaking*, 1, 10–12. (In Russian)] <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-1-10-12>
43. Czamara, K., Majzner, K., Pacia, M. Z., Kochan, K., Kaczor, A., Baranska, M. (2014). Raman spectroscopy of lipids: A review. *Journal of Raman Spectroscopy*, 46(1), 4–20. <https://doi.org/10.1002/jrs.4607>
44. Saleem, M., Amin, A., Irfan, M. (2021). Raman spectroscopy based characterization of cow, goat and buffalo fats. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 234–243. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04535-x>
45. Gallier, S., Gordon, K. C., Jiménez-Flores, R., Everett, D. W. (2011). Composition of bovine milk fat globules by confocal Raman microscopy. *International Dairy Journal*, 21(6), 402–412. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.01.008>
46. Gómez-Mascaraque, L. G., Kilcawley, K. N., Hennessy, D., Tobin, J. T., O'Callaghan, T. F. (2020). Raman spectroscopy: A rapid method to assess the effects of pasture feeding on the nutritional quality of butter. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 8721–8731. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18716>
47. Nieuwoudt, M. K., Holroyd, S. E., McGovern, C. M., Simpson, M. C., Williams, D. E. (2016). Rapid, sensitive, and reproducible screening of liquid milk for adulterants using a portable Raman spectrometer and a simple, optimized sample well. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 7821–7831. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11100>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Топникова Елена Васильевна — доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 E-mail: e.topnikova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0225-6870	Elena V. Topnikova , Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Research, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheese-making 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia E-mail: e.topnikova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0225-6870
Пчелкина Виктория Александровна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Экспериментальная клиника-лаборатория биологически активных веществ животного происхождения, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 E-mail: v.pchelkina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8923-8661	Victoria A. Pchelkina , Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Experimental Clinic-Laboratory of Biologically Active Substances of Animal Origin, V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhin str., Moscow, 109316, Russia E-mail: v.pchelkina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8923-8661
Данилова Екатерина Сергеевна — научный сотрудник, отдел научно-технологических исследований, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 E-mail: e.danilova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5522-224X * автор для контактов	Ekaterina S. Danilova , Researcher, Department of Scientific and Technological Research, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheese-making 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia E-mail: e.danilova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5522-224X * corresponding author
Пирогова Екатерина Николаевна — научный сотрудник, отдел научно-технологических исследований, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, Углич, Красноармейский бульвар, 19 E-mail: e.pirogova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2732-3059	Ekaterina N. Pirogova , Researcher, Department of Scientific and Technological Research, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheese-making 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia E-mail: e.pirogova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2732-3059
Заболотин Григорий Юрьевич — аспирант, Федеральный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 E-mail: kachestvo.tvoroghome@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0000-9233-446X	Grigory Yu. Zabolotin , Graduate Student, Federal Center for Food Systems named after V. M. Gorbato 26, Talalikhin str., Moscow, 109316, Russia E-mail: kachestvo.tvoroghome@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0000-9233-446X
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare that there is no conflict of interest.