

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2024-90-8-12-19>

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НОРМАЛИЗОВАННОГО И ВОССТАНОВЛЕННОГО МОЛОКА МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ ЦВЕТОМЕТРИИ И ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

© Василий Григорьевич Амелин^{1,2*}, Олег Эдуардович Емельянов¹,
Зин Алабдин Чалави Шаока¹

¹ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87; *e-mail: amelinvg@mail.ru

² Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Россия, 123022, Москва, Звенигородское шоссе, д. 5.

*Статья поступила 21 марта 2024 г. Поступила после доработки 11 апреля 2024 г.
Принята к публикации 25 апреля 2024 г.*

Предложен экспрессный и простой способ идентификации и дифференциации нормализованного и восстановленного молока методами цифровой цветометрии и спектроскопии в ближней ИК-области. Использовали бокс-устройство со встроенными через резисторы светодиодными ($\lambda = 365, 390, 850, 880$ нм, угол рассеяния света — 20°). Для регистрации аналитического сигнала применяли смартфон с приложениями PhotoMetrix PRO®, ColorGrab, RGBer и ИК-Фурье-спектрометр ($4000 - 10\,000$ см⁻¹). С помощью приложений TQ Analyst, The Unscrambler X, XLSTAT проводили обработку полученных спектров диффузного отражения и цветометрических параметров. Методом главных компонент (PCA) и иерархическим кластерным анализом (HCA) осуществляли идентификацию и дифференциацию анализируемых образцов молока. Массовую долю жира и белка в молочной продукции определяли с использованием алгоритма частичной регрессии методом наименьших квадратов (PLS). На графиках PCA в методах цифровой цветометрии и ИК-спектроскопии точки, соответствующие образцам нормализованного и восстановленного молока, находятся в разных квадрантах. С помощью графиков PCA и HCA удалось различить анализируемое молоко по типу и дифференцировать обезжиренное молоко по содержанию белка. Продемонстрирована возможность определения содержания жира и белка в исследуемых образцах молока с применением хемометрических методов анализа. Относительное стандартное отклонение результатов анализа не превышало 0,03 для восстановленного и нормализованного молока, а для обезжиренного — 0,02.

Ключевые слова: нормализованное и восстановленное молоко; цифровая цветометрия; ближняя ИК-спектроскопия; хемометрический анализ.

IDENTIFICATION OF NORMALIZED AND RECONSTITUTED MILK BY THE METHODS OF DIGITAL COLORIMETRY AND IR SPECTROSCOPY

© Vasily G. Amelin,^{1,2*} Oleg E. Emelyanov,¹ Zen Alabden Chalawi Shogah¹

¹ Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov Vladimir State University, 87, Gorky ul., Vladimir, 600000, Russia; *e-mail: amelinvg@mail.ru

² The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, 5, Zvenigorodskoye shosse, Moscow, 123022, Russia.

Received March 21, 2024. Revised April 11, 2024. Accepted April 25, 2024.

A rapid and easy to use method for identification and differentiation of normalized and reconstituted milk using digital colorimetry and near-infrared spectroscopy is proposed. A box device with LEDs ($\lambda = 365, 390, 850, 880$ nm) built in through resistors with a light scattering angle of 20° was used. A smartphone with PhotoMetrix PRO®, ColorGrab, RGBer applications and an IR-Fourier spectrometer for a near-IR region ($4000 - 10,000$ cm⁻¹) were taken to record the analytical signal. Applications TQ Analyst, The Unscrambler X, XLSTAT, were used for processing the obtained diffuse reflectance spectra and colorimetric parameters. The principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) were used to identify and differentiate the analyzed milk samples. The determination of the mass fraction of fat and protein in dairy products was carried out using the partial least squares (PLS) regression algorithm. The points corresponding to normalized and reconstituted milk are located in different quadrants on PCA plots in methods of digital colorimetry and IR spectroscopy. Using PCA and HCA graphs, it appeared possible to distinguish the analyzed milk by the type and differentiate skim milk by the protein

content. The possibility of determining the fat and protein content in the studied milk samples using chemometric methods of analysis has been demonstrated. The relative standard deviation of the analysis results did not exceed 0.03 for reconstituted and normalized milk, and for skim milk — 0.02.

Keywords: normalized and reconstituted milk; digital colorimetry; near-infrared spectroscopy; chemometric analysis.

Производство молока — одна из важнейших отраслей сельскохозяйственного производства большинства стран. Молоко содержит питательные и биологически активные вещества, такие как белки, жиры, углеводы, минеральные вещества и витамины [1]. Возрастающее значение молока как полноценного продукта питания, обеспечивающего нормальный рост, развитие и жизнедеятельность человека, приводит к увеличению спроса и, как следствие, дефициту молока, что зачастую приводит к его фальсификации. Замещение молочной продукции фальсификатом в рационе питания оказывает негативное воздействие на организм человека из-за недополучения незаменимых аминокислот, жирных кислот и различных биологически активных веществ.

Исходя из способа получения молока и его обработки, различают нормализованное и восстановленное молоко. Нормализованное молоко — продукт, полученный с помощью сепаратора-сливкоотделителя с нормализующим устройством или путем смешивания обезжиренного молока и сливок с цельным молоком для получения молока с заданной массовой долей жира [2]. Восстановленное молоко — продукт, полученный путем добавления воды к сухому цельному или сухому обезжиренному молоку в количествах, необходимых для достижения заданного уровня жирности.

Требования, предъявляемые на территории РФ к производству нормализованного и восстановленного молока, в частности, к содержанию жира, белка, молочной кислоты, микробиологическим показателям и другим параметрам качества, регламентируются нормативными документами^{1,2}. Соблюдение производителями указанных норм необходимо для обеспечения высокого качества молочной продукции и безопасности потребителей.

В настоящее время недобросовестные производители молока, желающие увеличить свою прибыль, прибегают к различного рода фальсификациям [3 – 8], в частности — ассортиментной, заключающейся в продаже восстановленного молока под видом нормализованного. Подобного

рода подлог негативно сказывается на здоровье потребителей, которые из-за низкой пищевой ценности восстановленного молока не получают необходимого количества питательных веществ [9].

Для выявления ассортиментной фальсификации молока в лабораторной практике широко используют метод спектроскопии в ближней ИК-области [10, 11]. Авторами работы [12] продемонстрирована возможность использования данного метода для установления факта добавления сухого молока в сырое. Выявлено, что точность определения восстановленного молока составляет 100 % при его содержании более 20 %, в то время как при содержании 10 % точность определения — 96,7 %. С использованием частичной регрессии методом наименьших квадратов ($R^2 = 0,971$, $RMSECV = 7,76$ %) были получены модели для определения содержания восстановленного молока. По результатам t -теста ($p = 0,01$) не было выявлено статистически значимых различий между фактическими и предсказанными значениями содержания восстановленного молока.

Для контроля качества пищевых продуктов [13, 14], в том числе и молока, используют метод изотопной масс-спектрометрии. Для выявления фальсификата молочной продукции авторы работы [15] использовали биологический изотопный эффект, обусловленный особенностями распределения стабильных изотопов кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Натуральное молоко содержит в своем составе биологическую воду, обогащенную изотопом кислорода ^{18}O , в то время как геологическая вода питьевого качества, используемая при производстве восстановленного молока, обеднена данным изотопом.

Эффект рассеяния света молоком положен в основу определения в нем белков и жиров [16 – 18]. Авторы работы [18] использовали зеркальную камеру для захвата изображения излучения светодиодов ($\lambda = 465, 526$ и 630 нм), проходящего через образец молока в чашке Петри. Применение алгоритма частичной регрессии методом наименьших квадратов привело к созданию моделей с высокой предсказательной способностью для оценки содержания жира и общего белка при индивидуальном анализе наборов данных. Лучшие модели, подтвержденные перекрестной проверкой, демонстрировали значи-

¹ ГОСТ 31450–2013. Молоко питьевое. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2014. — 12 с.

² ТР ТС 033/2013. Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции». — М.: Стандартинформ, 2013. — 103 с.

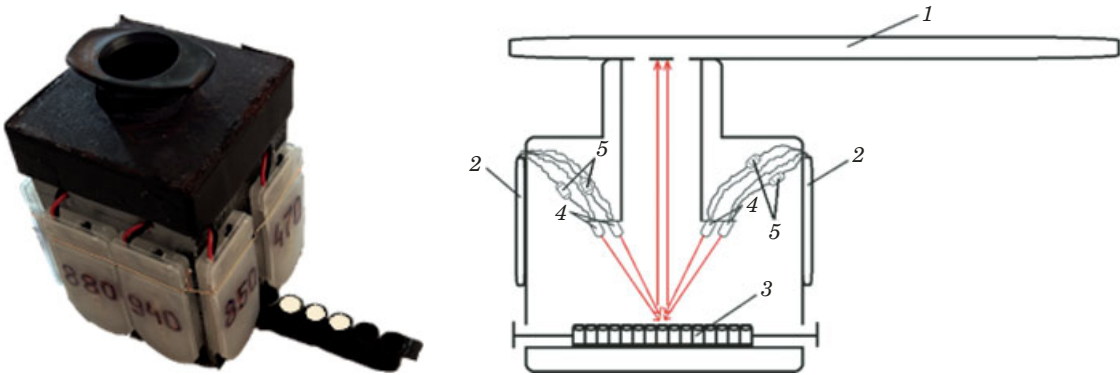


Рис. 1. Внешний вид и блок-схема устройства для цветиметрического анализа с разными светодиодами: 1 — смартфон; 2 — источники питания; 3 — проба в стрипованных лунках; 4 — светодиоды; 5 — резисторы

Fig. 1. General view and block diagram of a device for colorimetric analysis with different LEDs: 1 — smartphone; 2 — power supplies; 3 — sample in strip wells; 4 — LEDs; 5 — resistors

тельные коэффициенты детерминации — 0,974 и 0,973 для белка и жира соответственно.

Цель данной работы состояла в разработке простого и доступного способа идентификации нормализованного и восстановленного молока, определении массовой доли жира и белка с использованием методов цифровой цветометрии, ИК-спектроскопии и хеометрического анализа.

Экспериментальная часть

В исследовании применяли изготовленное вручную бокс-устройство (рис. 1), которое позволяет проводить комплексный анализ влияния на исследуемые объекты излучения различных спектральных диапазонов, испускаемого установленными через резисторы светодиодами ($\lambda = 365, 390, 470, 565, 700, 850, 880$ и 940 нм). Источником питания каждого светодиода служат две батареи CR2032 емкостью 3 В. Для регистрации аналитического сигнала (диффузное отражение излучения от образца) применяли смартфон OnePlus 10 Pro (модель NE2213, Китай), iPhone 14 (модель A2884, США) с приложениями PhotoMetrix PRO® (версия 1.1.3), ColorGrab (версия 3.9.2) и RGBer (версия 2.6). Перед началом исследований в мобильном приложении (PhotoMetrix PRO®) были выставлены следующие параметры: область захвата изображения (ROI) — 16×16 пикселей, баланс белого (White-Balance) — auto. Для обработки цветиметрических параметров ис-

пользовали также внешнее приложение XLSTAT (версия 2016.02.28451).

Использовали ИК-Фурье-спектрометр Frontier (PerkinElmer, США) с приставкой NIRA, работающий в ближней ИК-области ($4000 - 10\,000\text{ см}^{-1}$). Для обработки полученных ИК-спектров применяли специализированные программы, использующие хеометрические алгоритмы для анализа большого массива данных: TQ Analyst версии 9.7.179 (Thermo Fisher Scientific Inc., США) и The Unscrambler X версии 10.4 (CAMO Software, США).

Пробы питьевого, сухого цельного и обезжиренного молока приобретали в супермаркетах г. Владимира. В работе использовали следующие образцы молока: молоко пастеризованное «Суздальское» с массовой долей жира 1,5, 2,5, 3,2 и 3,8 %, «Домик в деревне», «Простоквашино», «Ополье», «Муромское» с массовой долей жира 2,5 %, молоко сухое цельное с содержанием жира 26 %, молоко сухое обезжиренное с содержанием белка 34 % и жира 1,5 %.

В табл. 1 представлены нормативные значения содержаний питательных веществ в молоке разных типов согласно ГОСТ 31450–2013 и 33629–2015.

Анализ. Навески сухого молока массой 0,5769, 0,9615, 1,2307 и 1,4614 г, что соответствовало 1,5, 2,5, 3,2 и 3,8 % жира молока, восстановленного из сухого цельного, и 1,8, 3,1, 3,9 и 4,7 %

Таблица 1. Показатели молока в соответствии с нормативными требованиями

Table 1. Milk indicators in accordance with regulatory requirements

Продукт	Массовая доля, %		
	Молочный жир	Белок	Молочный сахар (лактоза)
Молоко питьевое	Менее 10,0	Не менее 3,0	4,7 – 5,6
Молоко сухое цельное	Не менее 26,0 и не более 41,9	Не менее 34,0	31,5 – 40,0
Молоко сухое обезжиренное	Не более 1,5	Не менее 34,0	47,0 – 54,0

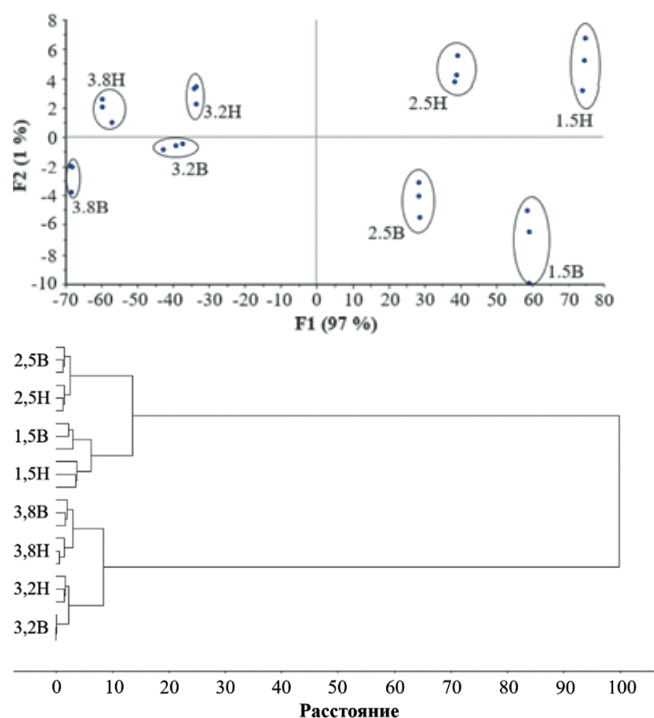


Рис. 3. Графики *PCA* и *HCA* для молока с массовой долей молочного жира 1,5, 2,5, 3,2 и 3,8 %, нормализованного (1,5Н, 2,5Н, 3,2Н и 3,8Н) и восстановленного (1,5В, 2,5В, 3,2В и 3,8В), в методе ИК-Фурье-спектроскопии

Fig. 3. *PCA* and *HCA* graphs for milk with a fat mass fraction of 1.5, 2.5, 3.2, and 3.8% for normalized (1.5N, 2.5N, 3.2N, and 3.8N) and reconstituted (1.5V, 2.5V, 3.2V, and 3.8V) milk (IR-Fourier spectroscopy)

графиках *HCA* наблюдается кластеризация молока по белку в зависимости от его содержания.

С помощью ИК-спектроскопии диффузного отражения, удалось различить молоко по типу и количественно оценить содержание белков и жиров в анализируемых образцах. Различия в ИК-спектрах нормализованного, восстановленного и обезжиренного молока указывают на разный молекулярный состав, что связано с разной массовой долей определяемых компонентов (рис. 5). Спектры обезжиренного молока заметно отличаются от спектров молока с нормализованным содержанием жира, о чем свидетельствует сниженная интенсивность пиков, соответствующих жирным кислотам.

Графики *PCA* и *HCA*, построенные на основе ИК-спектров молока, содержащего 1,5 % жира и 1,8 % белка, позволяют наглядно дифференцировать обезжиренное молоко от нормализованного и восстановленного (рис. 6). Как видно из графика счетов, образцы молока группируются в зависимости от типа: в I квадранте располагаются точки, соответствующие нормализованному молоку, в III — восстановленному, во II и IV — обезжиренному. Показатель объясненной дисперсии составляет 97 %. На дендрограмме также наблюдается кластеризация молока в зависимости от

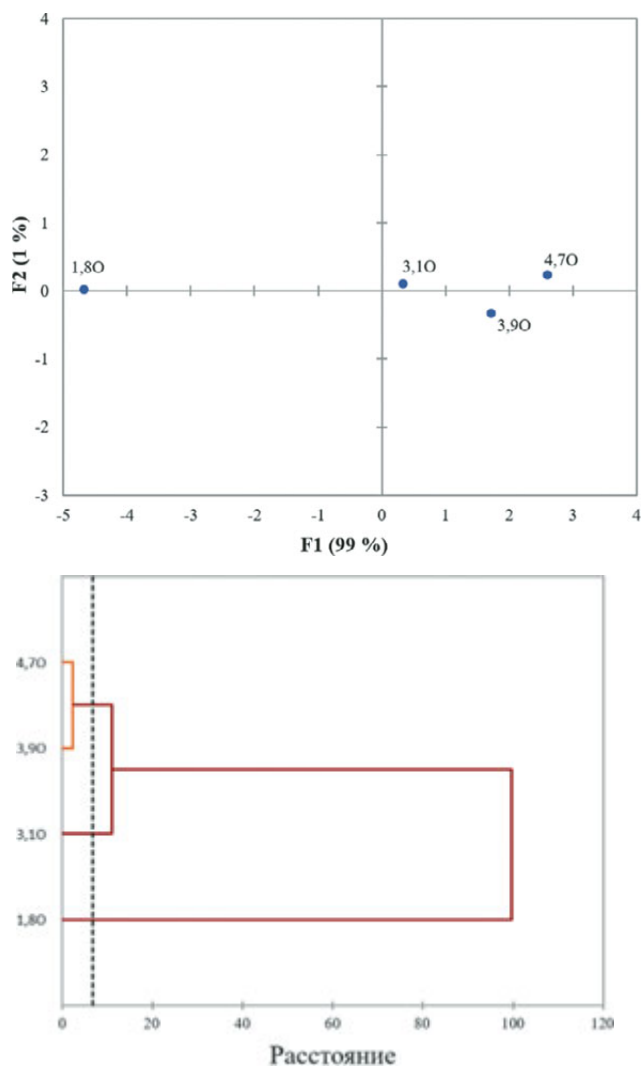


Рис. 4. Графики *PCA* и *HCA* для обезжиренного молока с содержанием белка 1,8, 3,1, 3,9, 4,7 % (1,8О, 3,1О, 3,9О и 4,7О)

Fig. 4. *PCA* and *HCA* plots for skim milk with a protein content of 1.8, 3.1, 3.9, 4.7% (1.8O, 3.1O, 3.9O, and 4.7O)

его типа: молоко, содержащее в своем составе молочный жир, объединено в одном кластере, тогда как молоко без молочного жира — в другом.

Работоспособность хеометрических моделей проверяли при анализе молока жирностью 2,5 % разных производства и партий (рис. 7). Как видно из графиков *PCA* и *HCA*, нормализованное молоко различных марок образует единый кластер с молоком того же типа, участвующим в построении моделей. Кроме того, данный кластер находится обособленно от восстановленного и обезжиренного молока, что подтверждает способность калибровочной модели к идентификации новых, ранее не применявшихся образцов.

Использование алгоритма частичной регрессии методом наименьших квадратов (*PLS*) позволило оценить содержание жира и белка в анализируемых образцах молока. Применение указан-

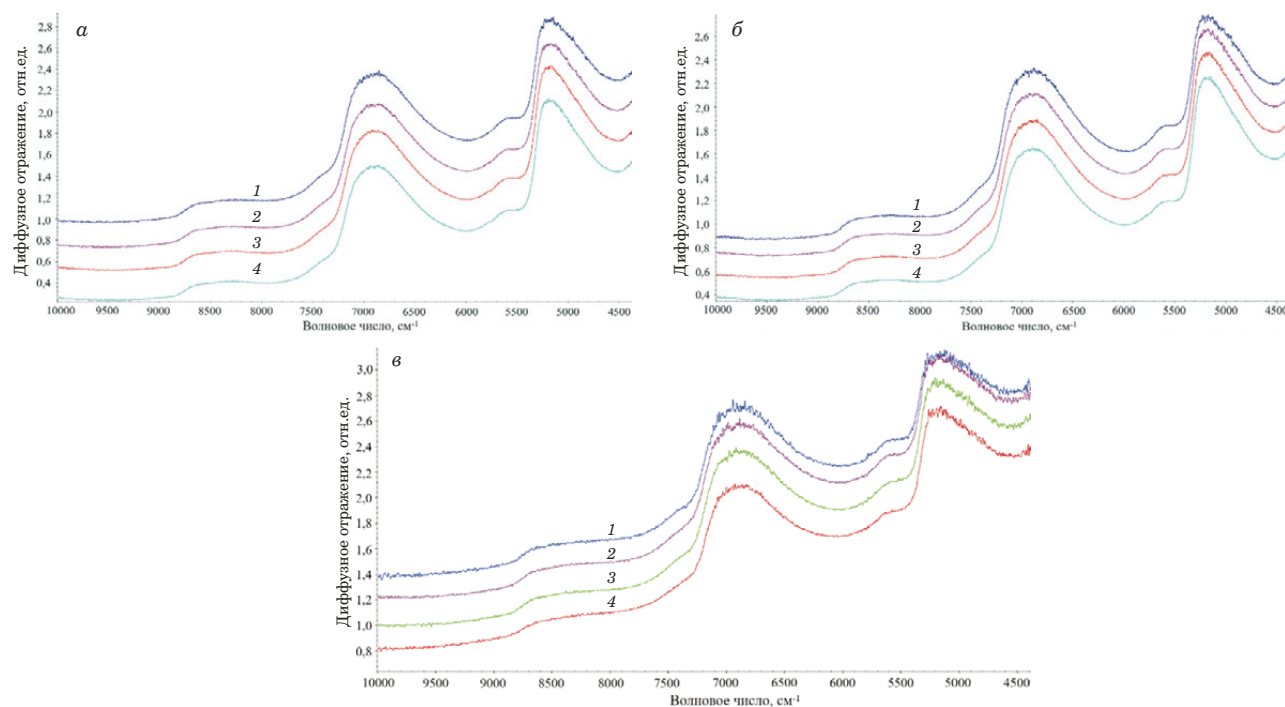


Рис. 5. ИК-спектры нормализованного (а) и восстановленного (б) молока с различным содержанием жира (%): 1 — 1,5, 2 — 2,5, 3 — 3,2, 4 — 3,8; обезжиренного молока (в) с различным содержанием белка (%): 1 — 1,8, 2 — 3,1, 3 — 3,9, 4 — 4,7

Fig. 5. IR spectra of normalized (a) and reconstituted (b) milk with a different fat content (wt.%): 1 — 1.5, 2 — 2.5, 3 — 3.2, 4 — 3.8; skim milk (c) with a different protein content (wt.%): 1 — 1.8, 2 — 3.1, 3 — 3.9, 4 — 4.7

ного алгоритма заключалось в построении модели «измерено – предсказано» с использованием образцов сравнения молока с разным содержанием жира (1,5 – 3,8 %) и белка (1,8 – 4,7 %). Для оценки качества калибровочных моделей рассчитывали среднеквадратические остатки калибровки ($RMSEC$) и проверки ($RMSEP$), а также коэффициент корреляции (R^2):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}; R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

где y_i — фактическое значение; $\hat{y}_i$ — предсказанное значение; $\bar{y}$ — среднее фактических значений y ; n — количество наблюдений в калибровочном (для расчета $RMSEC$) или проверочном наборе данных (для расчета $RMSEP$).

Низкие значения $RMSEC$ и $RMSEP$ указывают на высокую точность модели: в ходе анализа молока эти значения составляли не более 0,026 и 0,013 % соответственно для нормализованного и восстановленного молока, 0,098 и не более 0,058 % соответственно — для обезжиренного. Кроме того, близкое к единице значение R^2 также свидетельствует о высокой точности модели.

В табл. 2 представлены результаты определения жира и белка в образцах молока различных типов. Как видно из данной таблицы, относительные отклонения результатов от номинальных находятся в пределах от -1,8 до +1,9 % для

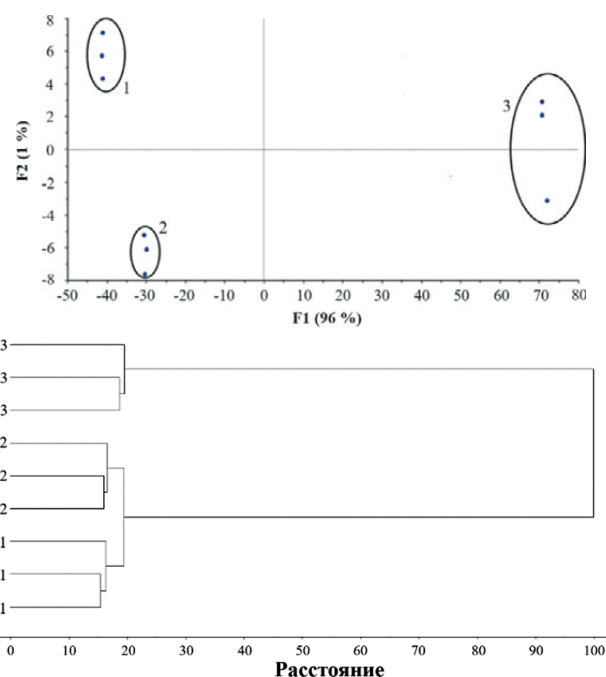


Рис. 6. Графики PCA и HCA для разных типов молока: 1 — нормализованное; 2 — восстановленное (1,5 %); 3 — обезжиренное (1,8 %)

Fig. 6. PCA and HCA graphs for different types of milk: 1 — normalized; 2 — reconstituted (1.5 wt.%); 3 — skim (1.8 wt.%)

тельные отклонения результатов от номинальных находятся в пределах от -1,8 до +1,9 % для

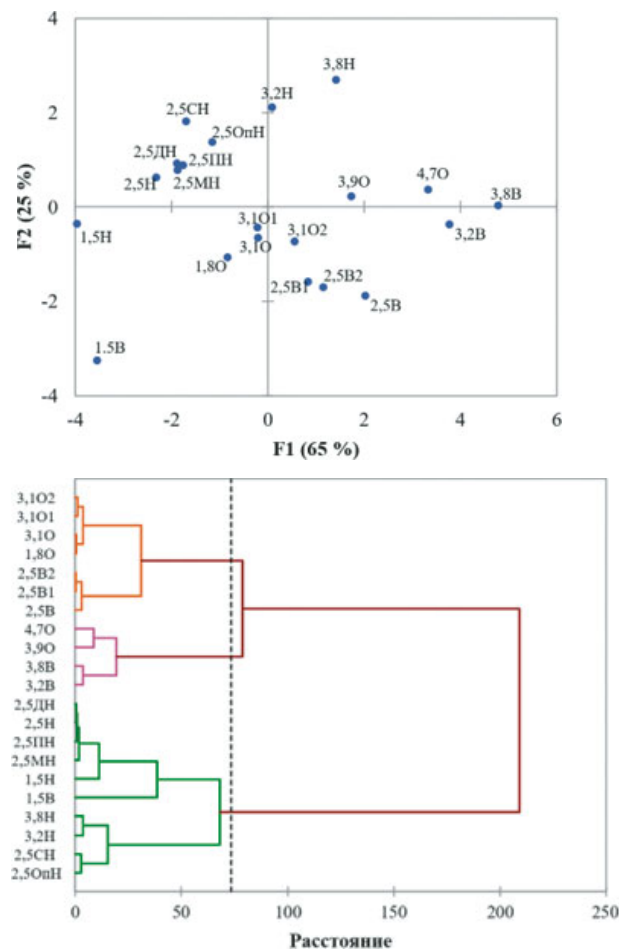


Рис. 7. Графики PCA и HCA для идентификации молока с массовой долей жира 2,5 % (нормализованное СН — «Суздальское», ДН — «Домик в деревне», ПН — «Простоквашино», ОпН — «Ополье», МН — «Муромское», восстановленное В1, В2, обезжиренное О1, О2)

Fig. 7. PCA and HCA graphs for identification of milk with a fat mass fraction of 2.5% (normalized SN — “Suzdal’skoye,” DN — “Domik v derevne,” PN — “Prostokvashino,” OPN — “Opolye,” MN — “Muromskoe,” reconstituted V1, V2, skim milk O1, O2

нормализованного и восстановленного молока, а для обезжиренного — от $-1,7$ до $+6,2$ %, что говорит о надежности построенной модели в определении основных компонентов, содержащихся в исследуемом молоке.

Заключение

В работе продемонстрирована возможность применения цифровой цветометрии для идентификации и дифференциации нормализованного, восстановленного и обезжиренного молока с использованием светодиодов, испускающих свет на длинах волн 365, 390, 850 и 880 нм. В качестве детектора аналитического сигнала применяли цветорегистрирующее устройство (смартфон) с установленными приложениями PhotoMetrix PRO®, ColorGrab и RGBer. В результате исследований получали значения интенсивностей цветометрических каналов, которые обрабатывали с помощью специализированных программ TQ Analyst, The Unscrambler X, XLSTAT. Методом ИК-Фурье-спектроскопии с использованием алгоритма PLS определяли содержание жира и белка в анализируемых образцах. С помощью метода главных компонент (PCA) и иерархического кластерного анализа (HCA) осуществляли идентификацию образцов молока разных типов. Результаты идентификации нормализованного и восстановленного молока, полученные методом цифровой цветометрии, коррелировали с данными ИК-спектроскопии, что говорит об эффективности и перспективности рассмотренных в работе методов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Таблица 2. Результаты анализа молока с использованием алгоритма PLS ($n = 3$; $P = 0,95$)

Table 2. Results of milk analysis using the PLS algorithm ($n = 3$; $P = 0.95$)

Тип молока (содержание жира/белка)	Зависимость «измерено – предсказано» (R^2)	RMSEC, %	Найдено, %	RMSEP, %	s_r	Относительное отклонение, %
Нормализованное (1,5, 2,5, 3,2, 3,8 %)	$y = 0,999x - 0,008$ (0,999)	0,037	$1,5 \pm 0,1$	0,023	0,03	-1,8
			$2,5 \pm 0,1$	0,050	0,01	+1,9
			$3,2 \pm 0,1$	0,036	0,01	-1,1
			$3,8 \pm 0,1$	0,029	0,01	-1,1
Восстановленное (1,5, 2,5, 3,2, 3,8 %)	$y = 1,000x - 0,008$ (1,000)	0,026	$1,5 \pm 0,1$	0,032	0,03	+0,9
			$2,5 \pm 0,1$	0,026	0,01	+1,1
			$3,2 \pm 0,1$	0,025	0,01	-0,9
			$3,8 \pm 0,1$	0,013	0,01	-0,2
Обезжиренное (1,8, 3,1, 3,9, 4,7 %)	$y = 0,995x - 0,063$ (0,995)	0,098	$1,7 \pm 0,1$	0,094	0,01	-5,6
			$3,2 \pm 0,1$	0,143	0,01	+3,2
			$3,8 \pm 0,1$	0,072	0,02	-2,6
			$4,6 \pm 0,1$	0,058	0,02	-2,1

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang X., Chen X., Xu Y., Yang J. Milk consumption and multiple health outcomes: umbrella review of systematic reviews and meta-analyses in humans / *Nutr. Metab.* 2021. Vol. 18. P. 1 – 18. DOI: 10.1186/s12986-020-00527-y
2. Рыжикова В. О., Беляев А. Г., Бароян Н. С. и др. Технология производства пастеризованного питьевого молока / Сб. научных статей Всероссийской научной конференции «Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее». 2018. Т. 3. С. 178 – 181.
3. Azad T., Ahmed S. Common milk adulteration and their detection techniques / *Int. J. Food Contam.* 2016. Vol. 3. P. 1 – 9. DOI: 10.1186/s40550-016-0045-3
4. Жилинкова К. Б. Проблемы фальсификации молочной продукции и их влияние на рынок молока и состояние молочной отрасли / *Экономика. Информатика.* 2021. Т. 48. № 4. С. 697 – 706. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-697-706
5. Комин А. Э., Ким И. Н., Бородин И. И. О распространенных способах фальсификации молочных продуктов / Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. 2021. № 2. С. 18 – 25. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-2-18-25
6. Комин А. Э., Ким И. Н., Бородин И. И. К вопросу о фальсификации молока и молочных продуктов / Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. 2020. № 4. С. 62 – 66. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10083
7. Быковская Е. И., Заикина М. А. Актуальные вопросы фальсификации молочной продукции и меры ее предотвращения / сб. научных статей VII Международной научно-практической конференции «Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях». 2020. С. 90 – 94.
8. Доценко Е. Н., Заболотных М. В., Таганова Т. В. Способы фальсификации молочной продукции / *Достижения науки и образования.* 2018. № 12(34). С. 68 – 69.
9. Merwan A., Amza N., Tamiru M. Review on milk and milk product safety, quality assurance and control / *Int. J. Livest. Prod.* 2018. Vol. 9. P. 67 – 78. DOI: 10.5897/IJLP2017.0403
10. Tola A. Global Food Fraud Trends and Their Mitigation Strategies: The Case of Some Dairy Products: A Review / *Food Sci. Qual. Manag.* 2018. Vol. 77. P. 30 – 42.
11. Tavares J. P. H., Medeiros M. L. S., Barbin D. F. Near-infrared techniques for fraud detection in dairy products: A review / *J. Food Sci.* 2022. P. 1943 – 1960. DOI: 10.1111/1750-3841.16143
12. Han D. H., Lu Ch., Liu Y., et al. Identification of reconstructed milk in raw milk using near infrared spectroscopy / *Spectrosc. Spectral Anal.* 2007. Vol. 27. P. 465 – 468.
13. Талибова А., Колеснов А. Оценка качества и безопасности пищевой продукции методом изотопной масс-спектрометрии / *Аналитика.* 2011. № 1(1). С. 44 – 48.
14. Xia W., Fang X., Gao Y., et al. Advances of stable isotope technology in food safety analysis and nutrient metabolism research / *Food Chem.* 2023. Vol. 408. 135191. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.135191
15. Колеснов А. Ю., Филатова И. А., Задорожная Д. Г. и др. Идентификация молока и молочного продукта из восстановленного сухого молока. Метод изотопной масс-спектрометрии / *Молочная промышленность.* 2012. № 10. С. 60 – 63.
16. Bogomolov A., Dietrich S., Boldrini B., Kessler R. W. Quantitative determination of fat and total protein in milk based on visible light scatter / *Food Chem.* 2012. Vol. 134. P. 412 – 418. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.077
17. Galyanin V., Surkova A., Bogomolov A. Selecting optimal wavelength intervals for an optical sensor: A case study of milk fat and total protein analysis in the region 400 – 1100 nm / *Sens. Actuators, B.* 2015. Vol. 218. P. 97 – 104. DOI: 10.1016/j.snb.2015.03.101
18. Kucheryavskiy S., Melenteva A., Bogomolov A. Determination of fat and total protein content in milk using conven-

tional digital imaging / *Talanta.* 2014. Vol. 121. P. 144 – 152. DOI: 10.1016/j.talanta.2013.12.055

REFERENCES

1. Zhang X., Chen X., Xu Y., Yang J. Milk consumption and multiple health outcomes: umbrella review of systematic reviews and meta-analyses in humans / *Nutr. Metab.* 2021. Vol. 18. P. 1 – 18. DOI: 10.1186/s12986-020-00527-y
2. Ryzhikova V. O., Belyaev A. G., Baroyan N. S., et al. Technology for the production of pasteurized drinking milk / *Proc. of All-Russian Scientific. Conference “Problems and Prospects of Development of Russia; a Youth Perspective on the future”.* 2018. Vol. 3. P. 178 – 181 [in Russian].
3. Azad T., Ahmed S. Common milk adulteration and their detection techniques / *Int. J. Food Contam.* 2016. Vol. 3. P. 1 – 9. DOI: 10.1186/s40550-016-0045-3
4. Zhilinkova K. B. Problems of falsification of dairy products and their impact on the milk market and the state of the dairy industry / *Ékonomika Informatika.* 2021. Vol. 48. N 4. P. 697 – 706 [in Russian]. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-697-706
5. Komin A. E., Kim I. N., Borodin I. I. About common ways of falsification of dairy products / *Tekhnol. Pshch. Pererab. Prom. APK — Prod. Zdor. Pit.* 2021. N 2. P. 18 – 25 [in Russian]. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-2-18-25
6. Komin A. E., Kim I. N., Borodin I. I. On the issue of adulteration of milk and dairy products / *Tekhnol. Pishch. Pererab. Prom. APK — Prod. Zdor. Pit.* 2020. N 4. P. 62 – 66 [in Russian]. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10083
7. Bykovskaya E. I., Zaikina M. A. Current issues of adulteration of dairy products and measures to prevent it / *Proc. of the VII International Scientific and Practical Conference “New Conceptual Approaches to Solving the Global Problem of Ensuring Food Security in Modern Conditions”.* 2020. P. 90 – 94 [in Russian].
8. Dotsenko E. N., Zabolotnykh M. V., Taganova T. V. Methods of falsification of dairy products / *Dostizh. Nauki Obraz.* 2018. N 12(34). P. 68 – 69 [in Russian].
9. Merwan A., Amza N., Tamiru M. Review on milk and milk product safety, quality assurance and control / *Int. J. Livest. Prod.* 2018. Vol. 9. P. 67 – 78. DOI: 10.5897/IJLP2017.0403
10. Tola A. Global Food Fraud Trends and Their Mitigation Strategies: The Case of Some Dairy Products: A Review / *Food Sci. Qual. Manag.* 2018. Vol. 77. P. 30 – 42.
11. Tavares J. P. H., Medeiros M. L. S., Barbin D. F. Near-infrared techniques for fraud detection in dairy products: A review / *J. Food Sci.* 2022. P. 1943 – 1960. DOI: 10.1111/1750-3841.16143
12. Han D. H., Lu Ch., Liu Y., et al. Identification of reconstructed milk in raw milk using near infrared spectroscopy / *Spectrosc. Spectral Anal.* 2007. Vol. 27. P. 465 – 468.
13. Talibova A., Kolesnov A. Assessment of the quality and safety of food products using isotope mass spectrometry / *Analitika.* 2011. N 1(1). P. 44 – 48 [in Russian].
14. Xia W., Fang X., Gao Y., et al. Advances of stable isotope technology in food safety analysis and nutrient metabolism research / *Food Chem.* 2023. Vol. 408. 135191. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.135191
15. Kolesnov A. Yu., Filatova I. A., Zadorozhnyaya D. G., et al. Identification of milk and milk product from reconstituted milk powder. Isotope mass spectrometry method / *Moloch. Prom.* 2012. N 10. P. 60 – 63 [in Russian].
16. Bogomolov A., Dietrich S., Boldrini B., Kessler R. W. Quantitative determination of fat and total protein in milk based on visible light scatter / *Food Chem.* 2012. Vol. 134. P. 412 – 418. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.077
17. Galyanin V., Surkova A., Bogomolov A. Selecting optimal wavelength intervals for an optical sensor: A case study of milk fat and total protein analysis in the region 400 – 1100 nm / *Sens. Actuators, B.* 2015. Vol. 218. P. 97 – 104. DOI: 10.1016/j.snb.2015.03.101
18. Kucheryavskiy S., Melenteva A., Bogomolov A. Determination of fat and total protein content in milk using conventional digital imaging / *Talanta.* 2014. Vol. 121. P. 144 – 152. DOI: 10.1016/j.talanta.2013.12.055