

УДК: 543.421/.424:543.424:543.068.8:543.635.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ МОЛОЧНОГО ЖИРА В БУТИЛИРОВАННОМ МОЛОКЕ БЕСКОНТАКТНЫМ ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

© 2024 г. В. Г. Амелин^{a, b, *}, О. Э. Емельянов^b, З. А. Ч. Шаока^{a, b}, А. В. Третьяков^a

^aВсероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств
для животных и кормов

Звенигородское шоссе, 5, Москва, 123022, Россия

^bВладимирский государственный университет им. Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых

ул. Горького, 87, Владимир, 600000, Россия

*E-mail: amelinvg@mail.ru

Поступила в редакцию 27.05.2024 г.

После доработки 13.06.2024 г.

Принята к публикации 17.06.2024 г.

Предложен бесконтактный способ определения массовой доли молочного жира в бутилированном молоке по диффузному отражению излучения от светодиодов с длинами волн излучения 365, 390, 850 и 880 нм с использованием смартфона и специального устройства. Для регистрации аналитического сигнала применяли смартфон OnePlus 10 Pro, iPhone 14 с установленными приложениями PhotoMetrix PRO®, ColorGrab, RGBer и ИК-спектрометр с преобразованием Фурье для ближней ИК-области (4000–10 000 см⁻¹). Экспериментальные данные обрабатывали с помощью специализированных программ TQ Analyst, The Unscrambler X, XLSTAT. Установлено, что одновременное участие в исследовании всех светодиодов с разными длинами волн способствует получению результатов с наименьшим относительным отклонением по сравнению с использованием отдельно взятых светодиодов. Выявлено незначительное изменение диффузного отражения от молока через упаковку на основе полиэтилентерефталата, что делает возможным проведение анализа бесконтактным способом, не вскрывая упаковки. Содержание молочного жира в анализируемых пробах молока оценивали, используя алгоритм многомерной градуировки данных – частичную регрессию наименьших квадратов. Относительное стандартное отклонение результатов анализа не превышало 0.08. Равноточность полученных в ходе анализа результатов подтверждена использованием метода ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье в ближней области спектра.

Ключевые слова: молоко, молочный жир, бесконтактный анализ, цифровая цветометрия, ИК-спектроскопия, хеометрика, смартфон.

DOI: 10.31857/S0044450224110014, EDN: sxohrv

Для неразрушающего контроля пищевых продуктов все чаще используют спектроскопические методы (флуоресцентную, видимую, диэлектрическую, ИК- и УФ-спектроскопию, ядерный магнитный резонанс) [1–3]. Эти методы относительно дешевы и могут быть применены на производстве в качестве онлайн-датчиков для мониторинга молочных продуктов. В основе этих методов лежит создание “отпечатков пальцев” пищевых продуктов. В частности, индивидуальный молочный продукт с заданным химическим составом под воздействием источника света будет давать характерный спектр поглощения или

рассеяния. Для обработки спектров с целью установления фактов фальсификации, определения белков и жиров в молочной продукции используют многомерные хеометрические алгоритмы – метод главных компонент (PCA), иерархический кластерный анализ (HCA), частичную регрессию наименьших квадратов (PLS) и др.

В работе [4] сравнивали возможности трех методов спектроскопии: молекулярной флуоресценции, спектроскопии ближнего (БИК) и среднего инфракрасного диапазона для прогнозирования концентрации 8 каротиноидов и 22 жирных кислот в коровьем молоке. БИК-спектроскопия

позволила точнее предсказать содержание *цис*-9- β -каротина, β -криптоксантина и суммы каротиноидов, чем другие методы, а также дала наилучший прогноз содержания выбранных жирных кислот молока.

Предложен миниатюрный БИК-спектрометр для бесконтактного и неразрушающего контроля качества молока с помощью хеометрической обработки полученных спектров [5]. Модели прогнозирования разработаны путем хеометрического анализа ИК-спектров с использованием алгоритма частичной регрессии наименьших квадратов.

Молочный жир — один из компонентов молока, часто подвергаемый фальсификации путем замены более дешевыми растительными жирами. В связи с этим наиболее частыми компонентами при анализе молока названными выше методами являются молочный жир и общий белок, хотя концентрация последнего мало меняется в молоке от одного вида животного.

Эффект рассеяния света молоком положен в основу определения содержания белков и жиров [6–8]. В работе [6] измерения проводили в видимой и ближней ИК-области (400–1000 нм). Показано, что многомерный анализ данных способен выделить отдельные спектры рассеяния жира и белка. Оптимальные спектральные области для жира и белка составили 625–995 и 520–960 нм соответственно. Оптимизацию для отдельного определения компонентов проводили путем последовательного исключения отдельных точек спектра до тех пор, пока среднеквадратичное отклонение не достигало минимума. Использовали частичную регрессию метода наименьших квадратов (PLS) для определения содержания жиров (2.5–4%) и белков (2.6–3.2%) в молоке. Среднеквадратичные погрешности прогнозирования содержания составили 0.05 и 0.03% для жира и белка соответственно.

Широкополосный оптический сенсор-анализатор на основе набора 22 светодиодов в диапазоне длин волн 400–1100 нм разработан для определения молочного жира и белка [7]. Модели частичной регрессии наименьших квадратов, построенные на семи и шести выбранных интервалах для молочного жира (400–500 нм) и белка (800–900 нм), показали среднеквадратичные погрешности прогнозирования 0.07 и 0.05% соответственно.

Авторы работы [8] использовали зеркальную камеру для захвата изображения излучения от светодиодов (465, 526 и 630 нм), проходящего через образец молока в чашке Петри. Применение алгоритма частичной регрессии наименьших квадратов привело к выработке моделей с высокой предсказательной способностью для оценки содержания жира и общего белка при индивидуальном анализе наборов данных. Лучшие модели, подтвержденные перекрестной проверкой,

демонстрировали коэффициенты детерминации 0.974 и 0.973 для белка и жира соответственно.

Определению массовой доли молочного жира цветометрическим методом с использованием специального устройства и смартфона для получения изображений посвящена работа [9]. Показана возможность установления фальсификации молока и определения содержания молочного жира с использованием хеометрических алгоритмов PCA, HCA, PLS.

Во всех представленных выше методах анализа молока используют специальные кюветы для заполнения молоком и дальнейшую регистрацию спектров поглощения или диффузного рассеяния.

Цель данной работы — показать возможность анализа молока на содержание молочного жира в полиэтилентерефталатной (ПЭТ) бутылке методом цифровой цветометрии с использованием специального устройства, смартфона и хеометрической обработки спектральных данных.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В исследовании применяли изготовленное вручную из картона устройство (рис. 1). Данное устройство позволяет проводить комплексный анализ влияния различных спектральных диапазонов на исследуемые объекты за счет установленных через резисторы светодиодов, излучающих свет при разных длинах волн: 365, 390, 850 и 880 нм (круглые светодиоды 5 мм G-NOR Electronics Co, Connfly Electronic (Zhenqin), Китай). В качестве источника питания для каждого светодиода использовали две батареи CR2032 емкостью 225 мАч и напряжением 3 В каждая. Значения RGB измеряли непосредственно через пластиковую ПЭТ-бутылку без дополнительной очистки ее поверхности. Для регистрации аналитического сигнала (диффузное отражение излучения от образца) применяли смартфон OnePlus 10 Pro (модель NE2213, Китай) с приложениями PhotoMetrix PRO® (версия 1.1.3) и ColorGrab (версия 3.9.2); iPhone 14 (модель A2884, США) с приложениями PhotoMetrix® (версия 1.1.3) и RGBer (версия 2.6). Перед началом исследований в мобильном приложении PhotoMetrix [9–12] выставляли следующие параметры: область захвата изображения (ROI) — 16 × 16 пикселей, баланс белого (White-Balance) — auto. Для обработки цветометрических параметров было задействовано также внешнее приложение XLSTAT (версия 2016.02.28451).

Использовали ИК-спектрометр с преобразованием Фурье Frontier фирмы PerkinElmer (США) с приставкой NIRA, работающий в диапазоне ближнего ИК-излучения (4000–10 000 см⁻¹). Разрешение составляло 4 см⁻¹, число сканирований — 32 для каждого образца. Для получения инфракрасных спектров 100 мкл молока поочередно помещали на сапфировое

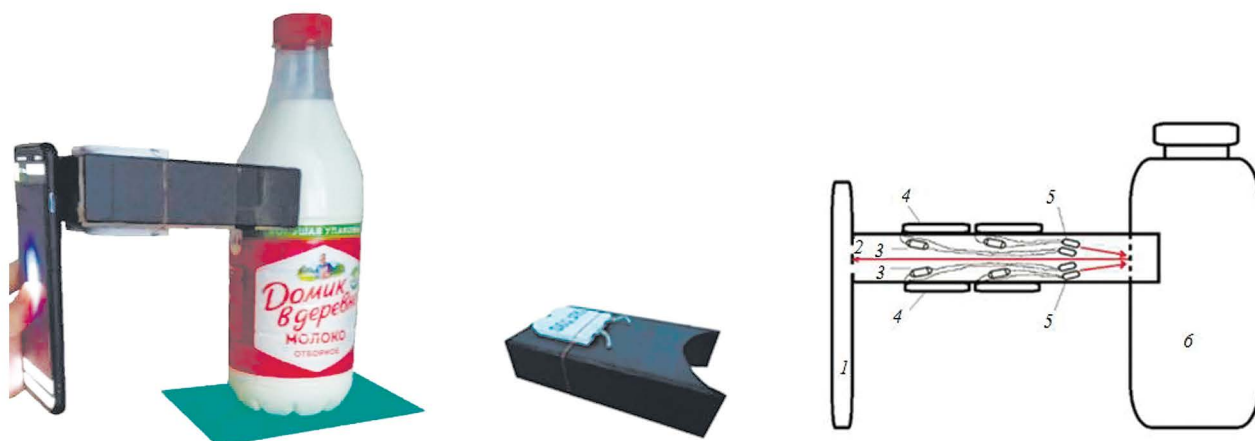


Рис. 1. Внешний вид и блок-схема устройства для цветометрического анализа с разными светодиодами: 1 – смартфон, 2 – камера смартфона, 3 – резисторы, 4 – источники питания, 5 – светодиоды, 6 – молоко в бутылке.

окно для образцов и сканировали заданную область спектра. Измерение для каждой пробы проводили трижды. При обработке полученных ИК-спектров (закладываются цифровые данные всего спектра в ближней области) применяли специализированные программы, использующие хемометрические 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).

В работе использовали бутелированное молоко, приобретенное в супермаркетах г. Владимира (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики исследуемого молока

Наименование молока, изготовитель, стандарт	Пищевая ценность, %		
	белки	жиры	углеводы
“Суздальский молочный завод”, ООО “Суздальский молочный завод”, Владимирская область, ГОСТ 31450-2013	3.0	1.5	4.7
	3.0	2.5	4.7
	2.8	3.2	4.7
	2.8	3.6	4.7
“ВкусВилл”, ООО “Курское молоко”, Курская область, ГОСТ 31450-2013	3.0	1.0	4.7
	3.0	2.5	4.7
“ВкусВилл”, АО “Гелиос”, Московская область, ГОСТ 31450-2013	3.0	3.2	4.7
	3.0	3.7	4.7
“36 Копеек”, ООО “36 Копеек”, Московская область, ТУ 10.51.11-001-45502749-2020	2.8	3.2	4.7
	2.8	3.4	4.7
“Домик в Деревне”, АО “ВБД”, Московская область, ТУ 10.51.11-191-05268977-2016	3.0	2.5	4.7
	3.1	3.5	4.7
	3.1	3.6	4.7
“Ополье”, АО “ХК “Ополье”, Владимирская область, ТУ 10.51.11-191-05268977-2016	3.1	2.5	4.7
	3.1	3.2	4.7
“Простоквашино”, АО “Эйч энд Эн”, Красноярский край	3.2	2.5	4.7
“Экомилк”, АО “Озерецкий молочный комбинат”, Московская область, ГОСТ 31450-2013	3.0	3.2	4.7
“Судогодский молочный завод”, АО “Судогодский молочный завод”, Владимирская область, ГОСТ 31450-2013	3.0	3.2	4.7

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучено влияние пластика ПЭТ-бутылки на прохождение электромагнитного излучения и на цифровые значения цветометрических каналов RGB. Установлено, что диффузное отражение от молока (сумма значений каналов RGB) через ПЭТ-упаковку и без нее различаются (табл. 2). Однако стандартные размеры ПЭТ-бутылки позволили нам использовать цифровые значения каналов RGB в качестве аналитического сигнала при определении массовой доли молочного жира в молоке бесконтактным способом предлагаемым устройством без вскрытия бутылки (рис. 1). Следует отметить, что влияние на аналитический сигнал содержания белков и углеводов было незначительно, поскольку их содержание в молоке разной жирности мало меняется (табл. 1).

С целью выявления наиболее подходящего светодиода для определения молочного жира в молоке последовательно измеряли значения RGB при разных длинах волн с последующей хемометрической обработкой. Полученные результаты оценивали по значениям величин среднеквадратических остатков градуировки (RMSEC, root-mean square error of calibration) и прогноза (RMSEP, root-mean square error of prediction), которые рассчитываются автоматически после выполнения измерений по формуле:

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

где y_i – фактическое значение, %; $\hat{y}_i$ – предсказанное значение, %; n – количество наблюдений в градуировочном наборе данных (для расчета RMSEC) или в поверочном наборе данных (для расчета RMSEP). Поверочный набор составляло молоко другой партии того же производителя.

Установили, что использование излучения всех светодиодов одновременно позволяет получить наиболее приемлемые результаты по сравнению с отдельно взятыми светодиодами. Так,

при применении всех светодиодов RMSEC и RMSEP принимали значения 0.085 и $\leq 0.339\%$ соответственно, что указывает на высокую точность прогноза модели для определения содержания молочного жира (табл. 3). В случае использования излучения отдельных светодиодов значения RMSEC и RMSEP составили 0.337 и $\leq 1.13\%$ соответственно.

В табл. 3 представлены результаты определения молочного жира в анализируемых пробах молока. Как видно, относительные отклонения результатов от номинальных находятся в пределах от -6.7 до $+8.0\%$, что говорит о надежности построенной модели определения содержания молочного жира в исследуемом молоке.

Сравнили полученные данные с результатами анализа молока методом ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье в ближней области спектра. На рис. 2 приведены ИК-спектры диффузного отражения молока “Суздальский молочный завод” с содержанием молочного жира 1.5–3.6%. Применение алгоритма PLS способствовало получению равнозначных результатов при исследовании молока как в упаковке, так и с использованием ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье в ближней ИК-области. Значения RMSEC и RMSEP составили 0.0016 и 0.024–0.209% соответственно.

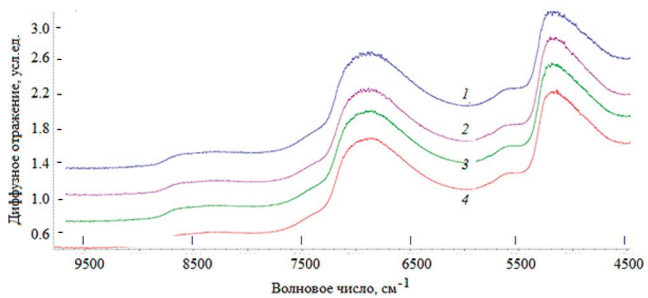


Рис. 2. ИК-спектры молока “Суздальский молочный завод” с содержанием (%) молочного жира 1.5 (1), 2.5 (2), 3.2 (3) и 3.6 (4).

Таблица 2. Влияние ПЭТ-упаковки молока на аналитический сигнал

Массовая доля жира в молоке, %	Суммарные цифровые значения цветовых каналов RGB при разных длинах волн облучения светодиодами через молоко без упаковки (0) и в ПЭТ-упаковке (1)							
	365 нм		390 нм		850 нм		880 нм	
	0	1	0	1	0	1	0	1
2.5	351	322	256	251	144	142	38	41
3.5	323	285	252	244	140	140	31	39
3.6	318	279	241	232	125	134	35	32

Таблица 3. Результаты определения содержания массовой доли молочного жира в молоке методом PLS ($n = 3$, $P = 0.95$)

Молоко (содержание молочного жира)	Найдено, %	RMSEP, %	s_r	Относительная погрешность, %
“Суздальский молочный завод” (1.5, 2.5, 3.2, 3.6%)	1.4 ± 0.3^a	0.053 ^a	0.07 ^a	–6.7 ^a
	2.6 ± 0.5^a	0.287 ^a	0.07 ^a	+4.0 ^a
	3.1 ± 0.5^a	0.154 ^a	0.06 ^a	–3.1 ^a
	3.5 ± 0.1^a	0.096 ^a	0.01 ^a	–2.8 ^a
	1.4 ± 0.1^b	0.138 ^b	0.03 ^b	–6.7 ^b
	2.6 ± 0.2^b	0.095 ^b	0.03 ^b	+4.0 ^b
	3.1 ± 0.1^b	0.070 ^b	0.01 ^b	–3.1 ^b
	3.5 ± 0.1^b	0.135 ^b	0.01 ^b	–2.8 ^b
“ВкусВилл” (1.0, 2.5, 3.2, 3.7%)	1.0 ± 0.1^a	0.048 ^a	0.05 ^a	0 ^a
	2.7 ± 0.3^a	0.095 ^a	0.04 ^a	+8.0 ^a
	3.2 ± 0.1^a	0.084 ^a	0.01 ^a	0 ^a
	3.7 ± 0.1^a	0.0006 ^a	0.01 ^a	0 ^a
	1.0 ± 0.1^b	0.057 ^b	0.03 ^b	0 ^b
	2.7 ± 0.1^b	0.209 ^b	0.01 ^b	+8.0 ^b
	3.3 ± 0.1^b	0.147 ^b	0.01 ^b	+3.1 ^b
	3.9 ± 0.1^b	0.209 ^b	0.01 ^b	+5.4 ^b
“36 Копеек” (3.2, 3.4%)	3.2 ± 0.1^a	0.028 ^a	0.01 ^a	0 ^a
	3.4 ± 0.2^a	0.032 ^a	0.02 ^a	0 ^a
	3.3 ± 0.1^b	0.138 ^b	0.01 ^b	+3.1 ^b
	3.4 ± 0.1^b	0.045 ^b	0.01 ^b	0 ^b
“Домик в Деревне” (2.5, 3.5, 3.6%)	2.4 ± 0.1^a	0.090 ^a	0.02 ^a	–4.0 ^a
	3.4 ± 0.3^a	0.129 ^a	0.03 ^a	–2.9 ^a
	3.4 ± 0.4^a	0.339 ^a	0.05 ^a	–5.6 ^a
	2.7 ± 0.1^b	0.163 ^b	0.02 ^b	+8.0 ^b
	3.5 ± 0.1^b	0.028 ^b	0.01 ^b	0 ^b
	3.6 ± 0.2^b	0.054 ^b	0.02 ^b	0 ^b
“Ополье” (2.5, 3.2)	2.7 ± 0.6^a	0.064 ^a	0.08 ^a	+8.0 ^a
	3.4 ± 0.4^a	0.250 ^a	0.05 ^a	+6.2 ^a
	2.7 ± 0.1^b	0.196 ^b	0.02 ^b	+8.0 ^b
	3.2 ± 0.1^b	0.038 ^b	0.01 ^b	0 ^b
“Простоквашино” (2.5%)	2.6 ± 0.2^a	0.211 ^a	0.04 ^a	+4.0 ^a
	2.7 ± 0.1^b	0.172 ^b	0.01 ^b	+8.0 ^b
“Экомилк” (3.2%)	3.4 ± 0.2^a	0.110 ^a	0.04 ^a	+6.3 ^a
	3.3 ± 0.1^b	0.090 ^b	0.01 ^b	+3.1 ^b
“Судогодский молочный завод” (3.2%)	3.0 ± 0.3^a	0.047 ^a	0.04 ^a	–6.3 ^a
	3.2 ± 0.1^b	0.024 ^b	0.01 ^b	0 ^b

^aИспользование цветометрического устройства для бесконтактного способа анализа молока, ^bиспользование ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье.

* * *

Продemonстрирована возможность применения устройства для анализа молока через пластик ПЭТ-упаковки с использованием светодиодов, излучающих свет в разных спектральных диапазонах (365, 390, 850 и 880 нм). Несмотря на поглощение света материалом упаковки, стандартные размеры ПЭТ-бутылки позволили определять массовую долю молочного жира в молоке. Измерение аналитического сигнала, а также интерпретацию полученных данных проводили с помощью цветорегистрирующего устройства — смартфона, оснащенного специализированными приложениями (PhotoMetrix PRO®, ColorGrab и RGBer). Для обработки цветометрических параметров (интенсивностей каналов RGB) и ИК-спектров, полученных в ближней ИК-области, использовали программное обеспечение на смартфоне PhotoMetrix PRO® и внешние программы: XLSTAT, TQ Analyst и The Unscrambler X. Содержание молочного жира в анализируемых пробах молока определяли частичной регрессией наименьших квадратов (PLS). Полученные в ходе исследования данные с использованием бесконтактного цветометрического метода коррелировали с результатами ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Всероссийского государственного центра качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karoui R., Baerdemaeker J. D. A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products // *Food Chem.* 2007. V. 102. P. 621. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.042>
2. Karoui R., Mazerolles G., Dufour E. Spectroscopic techniques coupled with chemometric tools for structure and texture determinations in dairy products: A review // *Int. Dairy J.* 2003. V. 13. P. 607. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00076-1)
3. Zhu X., Guo W., Liu D., Kang F. Determining the fat concentration of fresh raw cow milk using dielectric spectroscopy combined with chemometrics // *Food Anal. Methods.* 2018. V. 11. P. 1528. <https://doi.org/10.1007/S12161-017-1140-7>
4. Soulat J., Andueza D., Graulet B., Girard C.L., Labonne C., Ait-Kaddour A., et al. Comparison of the potential abilities of three spectroscopy methods: Near-infrared, mid-infrared, and molecular fluorescence, to predict carotenoid, vitamin and fatty acid contents in cow milk // *Foods.* 2020. V. 9. P. 592. <https://doi.org/10.3390/foods9050592>
5. Risoluti R., Gullifa G., Materazi S. Assessing the quality of milk using a multicomponent analytical platform microNIR/chemometric // *Front. Chem.* 2020. V. 8. Article 614718. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.614718>
6. Bogomolov A., Dietrich S., Boldrini B., W. Kessler R. Quantitative determination of fat and total protein in milk based on visible light scatter // *Food Chem.* 2012. V. 134. P. 412. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.077>
7. 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. V. 218. P. 97. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.03.101>
8. Kucheryavskiy S., Melenteva A., Bogomolov A. Determination of fat and total protein content in milk using conventional digital imaging // *Talanta.* 2014. V. 121. P. 144. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.12.055>
9. Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Третьяков А.В. Анализ молочной продукции: определение массовой доли молочного жира и выявление фальсификации смартфоном с приложением Photometrix PRO® // *Журн. аналит. химии.* 2024. Т. 79. № 1. С. 105. (Amelin V.G., Shogah Z.A.Ch., Tretyakov A.V. Analyzing dairy products: measuring milk fat mass fraction and detecting adulteration using the Photometrix PRO® smartphone app // *J. Anal. Chem.* 2024. V. 79. № 1. P. 50. <https://doi.org/10.1134/S1061934824010039>)
10. Böck F.C., Helfer G.A., da Costa A.B., Dessuy M.B., Ferrao M.F. PhotoMetrix and colorimetric image analysis using smartphones // *J. Chemom.* 2020. V. 34. Article 12. <https://doi.org/10.1002/cem.3251>
11. Helfer G.A., Magnus V.S., Böck F.C., Teichmann A., Ferrão M.F., da Costa A.B. PhotoMetrix: An application for univariate calibration and principal components analysis using colorimetry on mobile devices // *J. Braz. Chem. Soc.* 2017. V. 28. № 2. P. 328. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160182>
12. Rateni G., Dario P., Cavallo F. Smartphone-based food diagnostic technologies: A review // *Sensors.* 2017. V. 17. P. 1453. <https://doi.org/10.3390/s17061453>

DETERMINATION OF THE MASS FRACTION OF MILK FAT IN BOTTLED MILK BY NON-CONTACT COLORIMETRIC METHOD

V. G. Amelin^{a, b, *}, O. E. Emelyanov^b, Z. A. Ch. Shaoka^{a, b}, A. V. Tratyakov^a

^a*Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality
Moscow, Russia*

^b*Vladimir State University
Vladimir, Russia*

^{*}*E-mail: amelinvg@mail.ru*

Abstract. A non-contact method for determining the mass fraction of milk fat in bottled milk by diffuse reflection of radiation from LEDs with radiation wavelengths of 365, 390, 850 and 880 nm using a smartphone and a special device is proposed. To register the analytical signal, the OnePlus 10 Pro smartphone, iPhone 14 with PhotoMetrix PRO®, ColorGrab, RGBer applications installed, and an IR spectrometer with Fourier transform for the near-infrared region (4000–10000 cm⁻¹) were used. The experimental data were processed using specialized programs TQ Analyst, The Unscrambler X, XLSTAT. Simultaneous participation in the study of all LEDs with different wavelengths was found to contribute to obtaining results with the smallest relative deviation compared with the use of individual LEDs. A slight change in diffuse reflection from milk through polyethylene terephthalate-based packaging was revealed, which makes it possible to conduct the analysis in a non-contact way without opening the packaging. The milk fat content in the analyzed milk samples was estimated using a multidimensional data grading algorithm – partial least squares regression. The relative standard deviation of the analysis results did not exceed 0.08. The equivalence of the results obtained during the analysis was confirmed by using the method of IR spectroscopy with Fourier transform in the near spectral region.

Keywords: milk, milk fat, non-contact analysis, digital colorimetry, IR spectroscopy, chemometrics, smartphone.