

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В МОНИТОРИНГЕ КАЧЕСТВА СУХИХ МОЛОЧНЫХ КОНСЕРВОВ*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Ирина Александровна Барковская¹, канд. техн. наук, заведующий лабораторией технологий молочных продуктов
E-mail: i_barkovskaya@vnimi.org

Артем Михайлович Бровко², канд. техн. наук, старший научный сотрудник

¹Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный

В условиях современных геополитических ограничений особую актуальность приобретает разработка экспресс-методов контроля качества молочной продукции с использованием российских аналитических приборов. В частности, интерес представляет мониторинг показателей сухих молочных консервов, пользующихся широким спросом как у потребителей, так и у производителей. В статье представлены результаты анализа рамановских спектров пастеризованного и сухого обезжиренного молока с разной степенью тепловой нагрузки (45 ± 5 ; 70 ± 5 ; 80 ± 5 °C). Результаты демонстрируют значимое влияние температурной обработки на спектральные характеристики молока. Установлено, что повышение температуры пастеризации приводит к снижению интенсивности пиков в области $270\text{--}280$ см⁻¹ (лактоза) на 31,2 %, значимым изменениям белков ($890\text{--}900$ см⁻¹ и $1450\text{--}1460$ см⁻¹), а также изменению жирнокислотного состава ($2910\text{--}2920$ и $3190\text{--}3210$ см⁻¹). Определена прямая корреляция между повышением температуры и снижением интенсивности пиков, характеризующих молочные белки. Выявлено увеличение количества пиков для образцов сухого обезжиренного молока в сравнении с пастеризованным. Обнаружены пики в области $440\text{--}450$ см⁻¹, отражающие изменения лактозы; $1260\text{--}1270$ и $1660\text{--}1670$ см⁻¹, ассоциированные с трансформацией белковых структур в процессе пастеризации; а также селективные пики при $1300\text{--}1310$ см⁻¹ (только для обработки при 45 ± 5 °C) и при $1350\text{--}1360$ см⁻¹ (только для пастеризованных образцов). Показано, что температурный фактор не оказывает прямого влияния на изменения углеводного и белкового состава, однако обнаружено снижение интенсивности пиков для белковых компонентов системы во всех образцах, что может быть свидетельством их дополнительной трансформации в технологическом процессе после этапа пастеризации. Определена необходимость дальнейших исследований в части сопоставления физико-химических показателей продуктов и их спектральных характеристик. Работа направлена на оценку возможностей применения метода рамановской спектроскопии для выявления спектральных маркеров, характеризующих степень тепловой нагрузки на молочную систему при производстве сухих молочных консервов. Дальнейшие исследования в данной области позволят прийти к стандартизации нового экспресс-метода оценки теплового класса сухого молока.

Ключевые слова: контроль качества, молочная продукция, сухое молоко, рамановская спектроскопия

Для цитирования: Барковская, И. А. Перспективы применения рамановской спектроскопии в мониторинге качества сухих молочных консервов / И. А. Барковская, А. М. Бровко // Молочная промышленность. 2026. № 2. С. 86–93. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2026-2-80>

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и внедрение новых методов контроля качества пищевой продукции, в том числе молочной, с применением современной методологической базы является важной задачей российского агропромышленного комплекса [1–5]. Научные изыскания в сфере контроля качества и идентификации молочной продукции направлены как на совершенствование существующих способов мониторинга, так и на разработку новых методов определения качественных показателей продукции и их фальсификации [4]. Так, группа ученых ФГАНУ «ВНИМИ» разработала количественный метод определения фальсификации козьего молока коровьим, основанный на ПЦР-диагностике [4]. Проводятся исследования, направленные на получение достоверных данных о качестве и составе многокомпонентных молочных продуктов,

в том числе специализированного назначения [6–8]. Кроме того, ученые обращают свое внимание на актуализацию существующих методов анализа молочных продуктов в свете изменения рецептур, технологий и расширения ассортимента молочной составной и молокосодержащей продукции [1, 9–11]. В исследовании [12] авторы раскрывают потенциал подходов фудомики в части совершенствования аналитической базы контроля качества пищевой продукции. В работе [13] описаны перспективы применения спектральных методов анализа в сочетании с хемометрикой для улучшения безопасности и качества молочной продукции от фермы до прилавка. Несмотря на широкий спектр исследований, направленных на улучшение и оптимизацию контроля качества молочной продукции, применяемые в настоящее время методы анализа (массовой доли белка, аминокислот-

*Исследование выполнено в рамках государственного задания FNSS-2025-0001.

ного состава, содержания углеводов и др.) зачастую требуют длительной пробоподготовки, дорогостоящих реактивов и приборной базы [14–17]. Кроме того, используемые на предприятиях молочной промышленности современные анализаторы, такие как ИК-спектрометры, позволяющие быстро провести анализ молока-сырья и молочной продукции без трудоемкой пробоподготовки, являются импортными, что создает ограничения в их обслуживании на фоне современной геополитической ситуации [18, 19]. В связи с этим разработка новых экспресс-методов идентификации качества молочных продуктов с применением российского современного оборудования, позволяющих за короткий промежуток времени получить точный количественный результат, является перспективным направлением исследований.

Среди большого ассортимента молочной продукции сухие молочные консервы пользуются высоким спросом как у промышленных пищевых производств, так и у частного потребителя ввиду длительных сроков хранения и минимизации расходов на транспортирование [20, 21], в связи с чем совершенствование методов контроля качества сухого молока является важной задачей для российского пищевого сектора. В этом аспекте интерес вызывает формирование перечня маркеров порчи и разработка экспресс-методов их обнаружения, позволяющих быстро определить физико-химические характеристики сухого молока (обезжиренного и цельного). Метод рамановской спектроскопии может быть подходящим для детектирования изменений составных частей сухих молочных консервов (белки, жиры, углеводы), в том числе по той причине, что метод характеризуется большей чувствительностью и избирательностью в сравнении с ИК-спектроскопией, а также позволяет быстро получить результат исследования без предварительной пробоподготовки [22–24]. Метод основан на явлении неупругого рассеяния монохроматического электромагнитного излучения, возникающего как результат взаимодействия между фотонами пучка света и молекулами исследуемого образца, представляющего собой набор колебательных переходов – спектр [25]. Ранее учеными уже проводились исследования по применению указанного метода в контроле качества сухих молочных консервов. Так, авторами в работе [26] представлены результаты использования портативного рамановского спектрометра для аутентификации сухого козьего молока и его фальсификации коровьим. Исследователи сообщают о возможности идентификации 1 % коровьего молока в козьем посредством анализа полученных спек-

Источник изображения: freerik.com



тров. В другом исследовании M. R. Almaida et al. [24] рассматривали возможность применения Фурье-Раман-спектроскопии для характеристики качества сухого молока разной жирности, а также определения его фальсификации сывороткой (1–40 %). Разработанный учеными алгоритм контроля качества выявил 100 % образцов с внесением сыворотки. Учеными из Новой Зеландии в 2010 г. созданы модели прогнозирования для определения белка в диапазоне 32,19–37,65 % по массе и концентрации жира, в диапазоне 26,26–29,68 % по массе для сухого цельного молока [27]. Однако, несмотря на имеющиеся исследования по внедрению метода рамановской спектроскопии в систему мониторинга качества сухих молочных консервов, на данный момент отсутствуют стандартизированные методы, позволяющие использовать их на промышленных предприятиях.

В связи с вышесказанным **целью исследования** являлся анализ спектров комбинационного рассеяния света пастеризованного обезжиренного молока с разной степенью температурной обработки и выработанного из него сухого обезжиренного молока для оценки возможности дальнейшего применения метода рамановской спектроскопии в мониторинге качества сухих молочных консервов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись образцы пастеризованного обезжиренного молока (пастеризация при 70 ± 5 и 80 ± 5 °С с выдержкой 30 с) и выработанного из него сухого обезжиренного молока (табл. 1).

В качестве контроля использовали обезжиренное молоко без температурной обработки (45 ± 5 °С).

Выработку исследуемых образцов проводили с использованием оборудования Центра коллективного пользования Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (ЦКП ВНИМИ). Обезжиривание подогретого до 45 ± 5 °С цельного молока проводили с применением лабораторного сепаратора Alfa Laval (Alfa Laval Group, Швеция). Пастеризацию обезжиренного молока осуществляли на пилотной установке, разработанной специалистами ФГАНУ «ВНИМИ» (рис. 1).

Дегидратацию обезжиренного молока с разной степенью тепловой нагрузки проводили с использованием лабораторной распылительной сушилки ВХТ-2000MLN (Shanghai Yuhua Instrument Equipment Co. Ltd, Китай) с диаметром форсунки 1 мм. Параметры сушики: $T_{\text{вх}} = 175 \pm 5$ °С, $T_{\text{вых}} = 75 \pm 5$ °С. Выработанные образцы сухого обезжиренного молока по показателям качества соответствовали требованиям ГОСТ 33629-2015.

Таблица 1. Перечень исследуемых образцов пастеризованного обезжиренного молока и сухого обезжиренного молока

Наименование образца	Кодировка образца
Обезжиренное молоко с термизацией при 45 ± 5 °С	T45
Обезжиренное молоко с температурой пастеризации 70 ± 5 °С	P70
Обезжиренное молоко с температурой пастеризации 80 ± 5 °С	P80
Сухое обезжиренное молоко, выработанное из термизованного обезжиренного молока (45 ± 5 °С)	COM45
Сухое обезжиренное молоко, выработанное из обезжиренного молока с температурой пастеризации 70 ± 5 °С	COM70
Сухое обезжиренное молоко, выработанное из обезжиренного молока с температурой пастеризации 80 ± 5 °С	COM80

Снятие спектров исследуемых образцов проводили на базе ИФТТ РАН и МФТИ, Физтех на приборе РС-ИК785 (ФГАОУ ВО «МФТИ (НИУ)», Россия) с длиной волны возбуждающего лазерного излучения 638 нм, на спектральном диапазоне $250\text{--}3600$ см^{-1} с разрешением 8 см^{-1} .

Все измерения проводили в пяти повторностях для обеспечения достоверных данных и подтверждения воспроизводимости. Полученный массив данных обрабатывали с использованием программы Microsoft Excel.

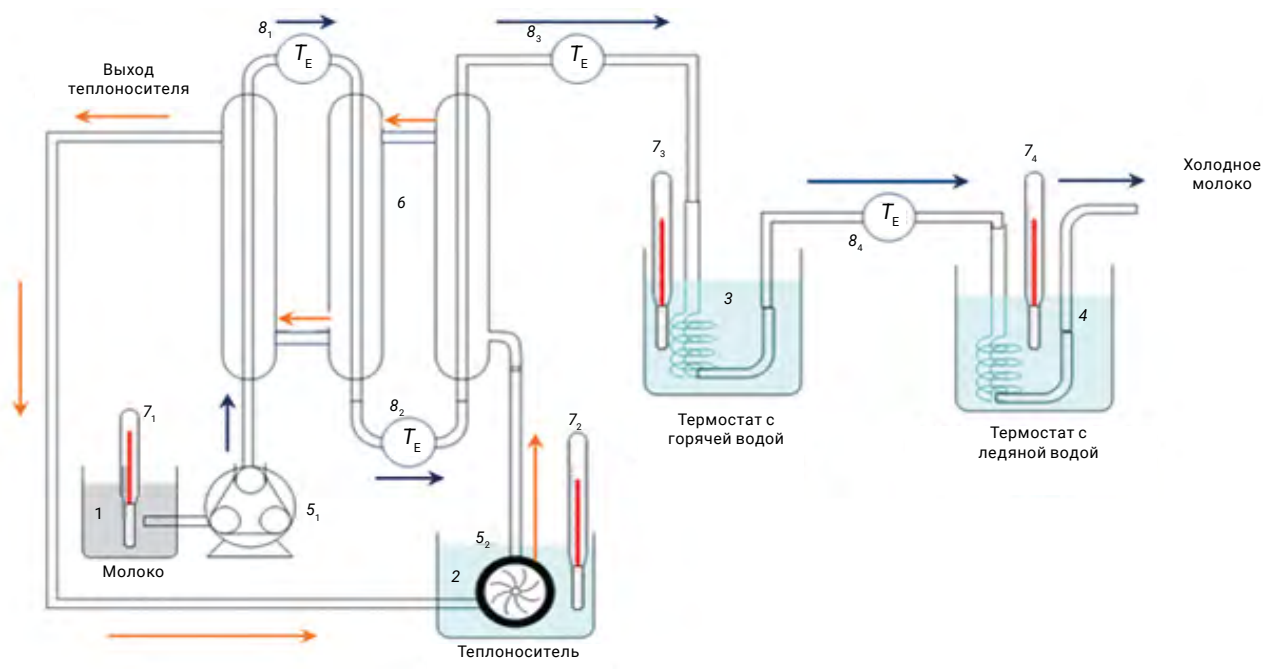


Рисунок 1. Схема спроектированной теплообменной установки: 1 – молоко обезжиренное; 2 – водяной термостат для циркуляции теплоносителя; 3 – водяной термостат для выдержки молока; 4 – водяной термостат с ледяной водой для охлаждения молока; 5₁ – перистальтический насос; 5₂ – циркуляционный насос; 6 – контур теплообмена; 7₁₋₄ – термометры; 8₁₋₄ – термодатчики; T_ε – контрольная точка изменения температуры (стрелками показано направление движения теплоносителя и молока)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании образцов обезжиренного молока с использованием рамановской спектроскопии были получены изображения спектров, представленные на рисунке 2.

В результате анализа полученных данных выделено четыре участка, в которых установлены видимые различия в интенсивности пиков (табл. 2).

Анализ значений интенсивности пиков в диапазоне 270–280 см⁻¹ отражает практически аналогичные значения для образцов Т45 и П70 и снижение в среднем на 31,2 % для П80. Поскольку ранее авторами исследований установлено, что изменения в области длин волн 300–305 см⁻¹ ассоциированы с химическими превращениями углеводной составляющей (формирование лактулозы и продуктов реакции Майяра [16]) при термической обработке, можно сделать вывод о том, что в нашем исследовании повышение температуры с 45 до 70 °С практически не влияет на изменение концентрации лактозы [25, 28]. Однако результаты других исследований [22, 29–31] выявили пики, характеризующие лактозу в области длин волн 355, 455, 400–600, 1085, 1087 см⁻¹. При этом выявленный в области 1030–1150 см⁻¹ пик характерен только для Т45 и не обнаружен для пастеризованного обезжиренного молока. В связи с этим, характеристика пиков в диапазоне 270–280 см⁻¹ является спорной и требует дальнейшей проработки.

Таблица 2. Значения интенсивности пиков рамановской спектроскопии для исследуемых образцов пастеризованного обезжиренного молока с различной тепловой нагрузкой

Длина волны, см ⁻¹	Интенсивность		
	Т45	П70	П80
270–280	2992,6–3043,8	3017,8–3072,2	2074,2–2094,5
890–900	4996,0–5021,5	4984,8–5015,0	3624,9–3667,2
1030–1150	4667,1–4740,9	–*	–
1450–1460	4106,3–4150,3	3718,9–3760,4	2538,4–2572,0
2910–2920	1178,0–1195,6	1100,2–1131,1	863,4–932,0
3210–3220	1037,6–1064,5	1090,8–1114,0	917,5–863,6

Примечание: * – четко выраженного пика не выявлено.

В диапазонах 890–900 и 1450–1460 см⁻¹ происходит снижение интенсивности при повышении температуры пастеризации, что может говорить об изменении белковой составляющей [31]. Так, результаты анализа рамановских спектров белков, представленные в работе [32], отражают отклик белковых молекул в диапазоне 1480–1580 см⁻¹, характерный для пептидных связей (-CO-NH-). В обзоре [25] авторы приводят данные об изменении интенсивности пиков при 879 см⁻¹, обосновывая это протеканием протеолиза и высвобождением триптофана. В работе [28] исследователи обосновывают возникновение пика в области 1016 см⁻¹ наличием в белках фенилаланина. Обе аминокислоты имеют в строении цикличную структуру, в связи с чем можно сделать вывод о том, что пики в данной области спектра могут характеризовать

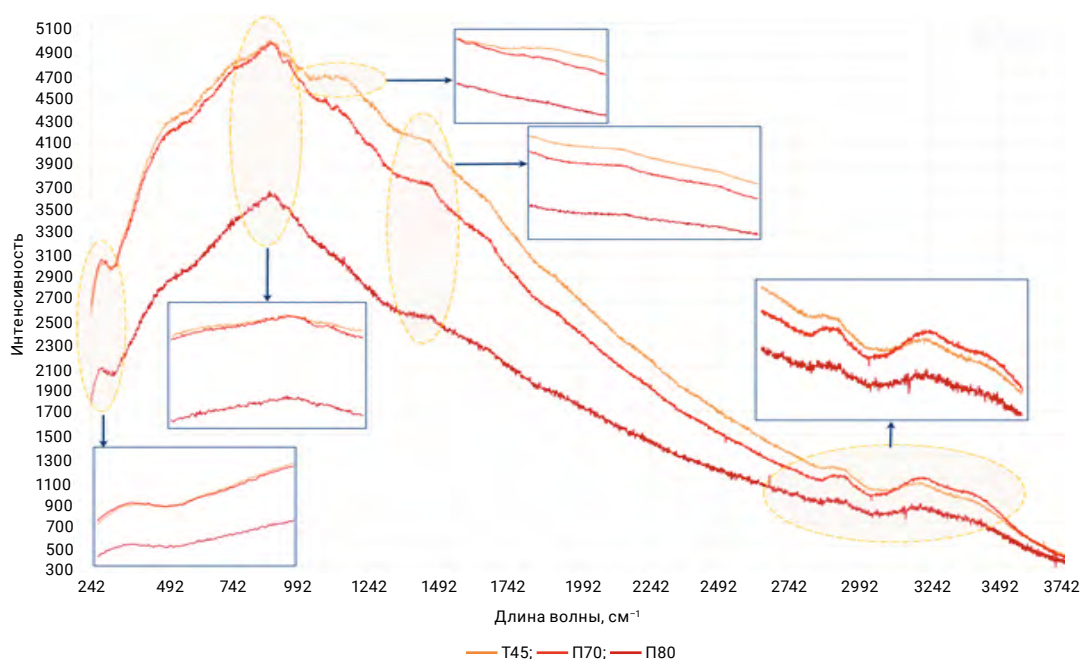


Рисунок 2. Рамановские спектры пастеризованного молока с разной степенью тепловой нагрузки

ароматические аминокислоты. В контексте настоящего исследования более логичным будет предположить, что снижение интенсивности пиков происходит при изменении структуры белковых компонентов и их частичной денатурации при воздействии температурного фактора. Так, авторами исследования [20] показано снижение концентрации белковых фракций в молоке с разной температурой пастеризации: снижение бычьего сывороточного альбумина составило $0,43 \rightarrow 0,42 \rightarrow 0,36$ мг/мл, α -лактальбумина – $1,38 \rightarrow 1,32 \rightarrow 1,16$ мг/мл, β -лактоглобулина А – $2,50 \rightarrow 2,30 \rightarrow 1,77$ мг/мл, β -лактоглобулина β – $1,31 \rightarrow 1,14 \rightarrow 0,86$ мг/мл при температурной обработке $45 \pm 2 \rightarrow 72 \pm 2 \rightarrow 80 \pm 2$ °С соответственно.

Значение интенсивности при $2910\text{--}2920$ см^{-1} снижается при повышении температуры до 80 °С. Подобные колебания могут характеризовать изменение жировой фракции молочной системы. Так, согласно обзору эмпирических исследований по изучению рамановских спектров широкого ассортимента молочной продукции [25], пики в области 2900 см^{-1} соответствуют растяжению связей сложных эфиров (C=O-связь). Возможно, снижение интенсивности пиков при $3190\text{--}3210$ см^{-1} также связано с изменением жирных кислот [33], оставшихся в образцах молока после сепарирования. J. M. Pestana с соавторами в процессе исследования влияния пастеризации на физико-химические изменения в молоке установили значимый эффект снижения короткоцепочечных жирных кислот (4:0, 6:0 и 8:0): $3,53 \pm 0,95^a \rightarrow 2,87 \pm 0,46^b$; $2,46 \pm 0,39^a \rightarrow 2,18 \pm 0,26^b$ и $1,46 \pm 0,16^a \rightarrow 1,33 \pm 0,12^b$ соответственно. Кроме того, исследователи обнаружили снижение общего

количества насыщенных жирных кислот ($70,01 \pm 1,79^a \rightarrow 68,73 \pm 1,37^b$) и мононенасыщенных жирных кислот ($27,79 \pm 1,54^a \rightarrow 28,79 \pm 1,12^b$) [34].

На втором этапе исследования обезжиренное молоко с разным уровнем тепловой нагрузки было высушено, а полученные образцы сухого обезжиренного молока проанализированы с применением метода рамановской спектроскопии (рис. 3).

Из полученных спектров сухого обезжиренного молока выделены пики, представленные в таблице 3.

Сравнение спектров пастеризованного обезжиренного молока и сухого обезжиренного молока показало, что количество пиков увеличилось, а диапазоны длин волн и интенсивность пиков претерпели изменения. В частности, пик в области $270\text{--}280$ см^{-1} для образцов пастеризованного молока смещен в область $350\text{--}360$ см^{-1} для образцов сухого молока, также появился пик в диапазоне $440\text{--}450$ см^{-1} . Интенсивность отклика при этом снижена для образцов COM45 и COM70 в среднем на $58,6$ и $67,8$ % соответственно и увеличена для образца COM80 на $65,5$ %. Интенсивность пиков в области $440\text{--}450$ см^{-1} для всех образцов больше в $1,3\text{--}1,9$ раза, что, вероятно, обосновано тем, что сухое молоко является концентрированным продуктом и содержит значительно большее количество составных частей молока в анализируемом объеме пробы, чем жидкое молоко [35]. При этом следует обратить внимание на то, что пик (как для $350\text{--}360$ см^{-1} , так и для $440\text{--}450$ см^{-1}) для сухого молока без этапа пастеризации (термизованного) не является четко выраженным.

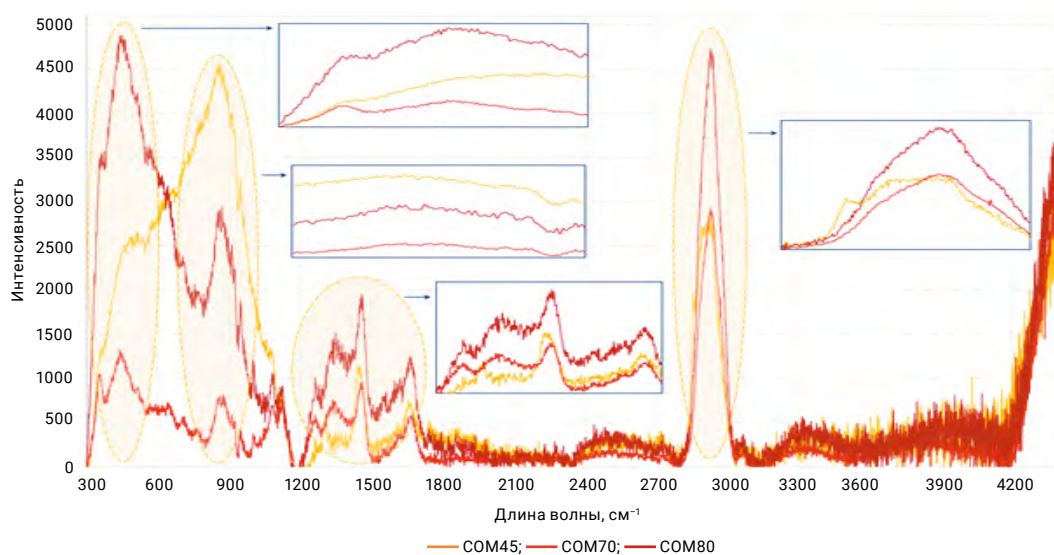


Рисунок 3. Рамановские спектры сухого обезжиренного молока, выработанного из пастеризованного обезжиренного молока с разной степенью тепловой нагрузки

Пик в области 890–900 см⁻¹ для образцов жидкого молока незначительно сдвинулся для сухого – 860–870 см⁻¹, а интенсивность при этом снизилась для каждого из образцов, в особенности для COM70 – на 85,5 %. При этом четкой корреляции между температурой обработки сырья и снижением интенсивности пиков, как в случае с пастеризованным обезжиренным молоком, в данном диапазоне установлено не было. Выявлены пики в диапазоне 1260–1270, 1300–1310 (только для COM45) и 1350–1360 см⁻¹ (для COM70 и COM80). При 1260–1270 см⁻¹ прослеживается прямая корреляция с повышением уровня температурной нагрузки, а интенсивность отклика имеет достаточно низкие значения. Пик, определенный для образца без пастеризации в диапазоне 1300–1310 см⁻¹, может свидетельствовать о трансформации белковой составляющей при пастеризации так же, как и обнаруженный отклик при 1350–1360 см⁻¹, детектированный для образцов COM70 и COM80. Снижение интенсивности пиков при 1450–1460 см⁻¹, прослеживаемое как прямая зависимость от повышения температуры для пастеризованного молока, не отражено при исследовании сухих образцов. Однако из полученных данных видно, что интенсивность пиков снижается, что может свидетельствовать о дальнейшей трансформации белковых компонентов в процессе производства сухого молока после этапа пастеризации [20].

Изменения в области значений длин волн 1660–1670, 2850–2860 (только для COM45), 2920–2930 см⁻¹ соот-

Таблица 3. Значения интенсивности пиков рамановской спектроскопии для исследуемых образцов сухого обезжиренного молока с различной тепловой нагрузкой

Длина волны, см ⁻¹	Интенсивность		
	COM45	COM70	COM80
350–360	1184,0–1315,3	911,8–1050,1	3367,4–3533,7
440–450	2348,9–2428,7	1254,3–1302,1	4752,0–4884,5
860–870	4304,0–4532,2	671,9–775,7	2658,8–2945,1
1260–1270	92,9–318,2	432,9–591,2	747,9–1018,1
1300–1310	392,0–590,8	–*	–
1350–1360	–	597,5–689,7	1219,2–1441,4
1450–1460	930,0–1123,0	872,5–959,2	1772,2–1956,3
1660–1670	593,2–732,5	508,3–602,3	1090,1–1258,0
2850–2860	1723,9–1974,1	–	–
2920–2930	2372,6–2867,5**	2799,3–2928,2	4516,2–4724,7

Примечание: * – четко выраженного пика не выявлено;
** – пик не является остроконечным и оформленным, расположен в диапазоне длин волн 2880–2940 см⁻¹.

ветствуют изменениям метиленовых, метиловых и эфирных связей, которые могут быть ассоциированы с изменениями липидного профиля при воздействии температуры [36]. Согласно результатам исследования [33], пики в спектрах комбинационного рассеяния света, обнаруженные при 1650 см⁻¹, соответствуют растяжению двойной связи (RHC=CHR) в молочных жирах, а пики в области высоких волновых чисел 2850 и 2940 см⁻¹ характерны для симметричных и асимметричных колебаний растяжения групп CH₂ и CH₃ соответственно. Интенсивность отклика, в сравнении с пастеризованным молоком, значительно выше, что в первую очередь может быть обосновано разницей в концентрации жира в сухом и жидком образцах [35]. При этом для образца COM80 значение интенсивности в диапазонах длин волн 1660–1670 и 2920–2930 см⁻¹ в 1,7–1,9 раза больше, чем для COM45 и COM70, что может быть ассоциировано с изменениями жирнокислотного состава в процессе технологической обработки после этапа пастеризации.

ВЫВОДЫ

Анализ спектральных характеристик образцов пастеризованного обезжиренного молока позволил установить значимые различия, зависящие от температурной обработки. Определено, что значения интенсивности пиков в диапазоне 270–280 см⁻¹ (углеводная составляющая) снижаются в среднем на 31,2 % для образцов П80. При этом выявлена неоднозначность характеристики данного пика в ранее проведенных исследованиях, в связи с чем в работе подчеркнута необходимость дальнейшей проработки. В диапазонах 890–900 и 1450–1460 см⁻¹ установлена прямая зависимость снижения интенсивности пиков от повышения температуры пастеризации, что характеризует изменения белковых компонентов под воздействием температуры. Обнаружено снижение интенсивности пиков при 2910–2920 и 3190–3210 см⁻¹ в условиях повышения температуры пастеризации до 80 °С, что может быть ассоциировано с трансформацией жирнокислотного состава молочной системы.

При последующем анализе и сравнении спектров пастеризованного и сухого обезжиренного молока выявлены увеличение количества пиков и изменения диапазонов длин волн и интенсивности пиков. Пик на участке 270–280 см⁻¹ смещен в область 350–360 см⁻¹, появился пик в диапазоне 440–450 см⁻¹. При этом пики (как для 350–360 см⁻¹, так и для 440–450 см⁻¹) для COM45 не являются четко выраженными. Пик в области 890–900 см⁻¹ незначительно сдвинулся – на

860–870 см⁻¹, а интенсивность при этом снизилась для каждого из образцов, в особенности для С0М70 – на 85,5 %. Выявлены пики в диапазонах 1260–1270, 1300–1310 см⁻¹ (только для С0М45) и 1350–1360 см⁻¹ (для С0М70 и С0М80). Четкой корреляции между температурой обработки сырья и снижением интенсивности пиков в вышеперечисленных диапазонах установлено не было. Однако из полученных данных видно, что интенсивность пиков, характеризующих белковую составляющую, снижается, что может свидетельствовать о дальнейшей трансформации белковых компонентов в процессе производства сухого молока после этапа пастеризации. Изменения в области значений длин волн 1660–1670, 2850–2860 (только для С0М45), 2920–2930 см⁻¹ соответствуют изменениям липидного профиля при воздействии температуры. Для образца С0М80 значение интенсивности в диапазонах длин волн 1660–1670 и 2920–2930 см⁻¹ в 1,7–1,9 раза больше, чем для С0М45 и С0М70, что может быть ассоциировано с измене-

ниями жирнокислотного состава в процессе технологической обработки после этапа пастеризации.

Таким образом, в исследовании показана возможность использования метода рамановской спектроскопии для детектирования различий в образцах молока в зависимости от степени тепловой нагрузки. Диапазон длин волн при 890–900 и 1450–1460 см⁻¹ может являться характеристикой теплового класса для сухого молока, поскольку связан с изменениями белкового профиля. Однако требуется расширенное, более глубокое исследование сопоставления физико-химических показателей продуктов и их спектральных характеристик, которое мы планируем осуществить в будущем. Дальнейшее изучение спектров комбинационного рассеяния света молока в процессе производства сухого молока позволит разработать стандартизованную методику мониторинга качества продукта, в том числе и экспресс-контроля теплового класса. ■

Поступила в редакцию: 16.12.2025

Принята в печать: 17.03.2026

RAMAN SPECTROSCOPY FOR QUALITY CONTROL OF CANNED MILK POWDER

Irina A. Barkovskaya, Artem M. Brovko

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow

Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny

Under current geopolitical restrictions, the Russian food industry needs domestic methods and equipment for the rapid quality control of common dairy products, such as canned milk powder. The article describes the Raman spectra analysis applied to pasteurized and skim milk powder at different temperatures (45 ± 5; 70 ± 5; 80 ± 5 °C). The thermal regime had a significant effect on the spectral profiles. Higher pasteurization temperatures resulted in a 31.2% intensity reduction in the lactose-associated region (270–280 cm⁻¹), triggered significant protein transformations (890–900 and 1,450–1,460 cm⁻¹), and altered the fatty acid composition (2,910–2,920 and 3,190–3,210 cm⁻¹). Higher temperatures correlated with lower milk protein peaks. The skim milk powder demonstrated a more complex peak profile than the pasteurized milk samples. The peaks at 440–450 cm⁻¹ reflected the lactose changes; the peaks at 1,260–1,270 and 1,660–1,670 cm⁻¹ illustrated the transformation of protein structures during pasteurization. Selective peaks were registered at 1,300–1,310 cm⁻¹ in the sample processed at 45 ± 5 °C and at 1,350–1,360 cm⁻¹ in the pasteurized samples. The temperature factor had no direct effect on the carbohydrate and protein composition. However, the decrease in the intensity of the peaks for the protein components may suggest post-pasteurization structural modifications. Further research is required to compare the physicochemical properties of products and their spectral characteristics. The method of Raman spectroscopy showed strong potential for identifying spectral markers of thermal stress in milk during drying and could form a basis of a new protocol for assessing the thermal class of milk powder.

Keywords: quality control, dairy products, milk powder, Raman spectroscopy

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрова, Е. А. Анализ методических подходов к определению сахарозы в сгущенной молочной продукции с сахаром, индифинитной по углеводному составу / Е. А. Юрова, А. Г. Кручинин, Е. Е. Илларионова // Пищевая промышленность. 2024. № 11. С. 51–58. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.11.11.010>; <https://elibrary.ru/mxunjt>
2. Хан, А. В. Сравнительный анализ симплексной и дуплексной ПЦР для выявления фальсификации козьего молока и продуктов его термической обработки / А. В. Хан [и др.] // Пищевая метаинженерия. 2024. Т. 2, № 3. С. 12–24. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.63>; <https://elibrary.ru/vfdnfp>
3. Хан, А. В. Проблема фальсификации молочных продуктов: анализ состояния и пути решения / А. В. Хан, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко // Молочная промышленность. 2023. № 5. С. 54–56. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-5-6>; <https://elibrary.ru/nqnoey>
4. Хан, А. В. Оптимизация молекулярно-генетического метода идентификации молочного сырья / А. В. Хан, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко // FOOD METAENGINEERING. 2023. Т. 1, № 4. С. 39–47. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.29>; <https://elibrary.ru/qqnest>
5. Абдуллаева, Л. В. Аналитическая оценка системы подтверждения соответствия молока и молочной продукции обязательным законодательным требованиям / Л. В. Абдуллаева, С. А. Бедретдинова // FOOD METAENGINEERING. 2023. Т. 1, № 4. С. 85–98. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.31>; <https://elibrary.ru/ybimnz>
6. Юрова, Е. А. Особенность оценки состава жировой фазы многокомпонентной пищевой продукции, выработанной из молочного сырья / Е. А. Юрова, А. О. Евсюкова, С. А. Фильчакова // Пищевая промышленность. 2025. № 5. С. 86–90. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.5.5.015>; <https://elibrary.ru/schfcg>

7. **Юрова, Е. А.** Применение метода оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС) для определения фосфора в специализированной пищевой продукции / Е. А. Юрова, С. А. Фильчакова // Пищевая промышленность. 2024. № 11. С. 19–23. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.11.11.003>; <https://elibrary.ru/rwtpjp>
8. **Юрова, Е. А.** Применение метода оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой для оценки минерального состава продуктов специализированного питания, в том числе обогащенных / Е. А. Юрова, С. А. Фильчакова // Пищевая промышленность. 2024. № 11. С. 8–13. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.11.11.001>; <https://elibrary.ru/vhqgyu>
9. **Юрова, Е. А.** Разработка критериев оценки продуктов с высоким содержанием белка / Е. А. Юрова, С. А. Фильчакова // Пищевая промышленность. 2025. № 10. С. 80–85. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.10.10.015>; <https://elibrary.ru/hshcer>
10. **Юрова, Е. А.** Особенность оценки состава жировой фазы многокомпонентной пищевой продукции, выработанной из молочного сырья / Е. А. Юрова, А. О. Евсюкова, С. А. Фильчакова // Пищевая промышленность. 2025. № 5. С. 86–90. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.5.5.015>; <https://elibrary.ru/schcfcg>
11. **Юрова, Е. А.** Анализ методических подходов к определению сахарозы в сгущенной молочной продукции с сахаром, индифинитной по углеводному составу / Е. А. Юрова, А. Г. Кручинин, Е. Е. Илларионова // Пищевая промышленность. 2024. № 11. С. 51–58. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.11.11.010>; <https://elibrary.ru/mxunjnt>
12. **Agregán, R.** Foodomic-based approach for the control and quality improvement of dairy products / R. Agregán [et al.] // *Metabolites*. 2021. Vol. 11(12). Art. no. 818. <https://doi.org/10.3390/metabo11120818>
13. **Burmistrov, D. E.** Application of optical quality control technologies in the dairy industry: An overview / D. E. Burmistrov [et al.] // *Photonics*. 2021. Vol. 8(12). Art. no. 551. <https://doi.org/10.3390/photonics8120551>
14. **Rozhkova, I. V.** Evaluation of the amino acid composition and content of organic acids of complex postbiotic substances obtained on the basis of metabolites of probiotic bacteria *Lactocaseibacillus paracasei* ABK and *Lactobacillus helveticus* H9 / I. V. Rozhkova, E. A. Yurova, V. A. Leonova // *Fermentation*. 2023. Vol. 9(5). Art. no. 460. <https://doi.org/10.3390/fermentation9050460>
15. **Калугина, Д. Н.** Обоснование определения индекса азота сывороточного белка для оценки белкового состава сухого молока / Д. Н. Калугина, Е. А. Юрова // Молочная промышленность. 2022. № 7. С. 35–37. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-07-35-37>; <https://elibrary.ru/ikvtyl>
16. **Жижин, Н. А.** ВЭЖХ анализ фуросида, В-лактоглобулина и лактулозы как критерий оценки тепловой нагрузки на молоко / Н. А. Жижин // Зоотехния. 2022. № 3. С. 32–36. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.16.19.010>; <https://elibrary.ru/uuxrpfy>
17. **Кострова, Ю. Б.** Совершенствование процедуры контроля качества молока как фактор обеспечения продовольственной безопасности / Ю. Б. Кострова, Ю. О. Лящук, А. Б. Мартынушкин // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2019. № 1(39). С. 45–49. <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2019-39-1-45-49>; <https://elibrary.ru/dzqmvmd>
18. **Гуща, Ю. М.** Новое отечественное оборудование для молочной отрасли в рамках программы импортозамещения / Ю. М. Гуща, Я. В. Корзюк // Молочная промышленность. 2022. № 8. С. 15–17. <https://elibrary.ru/ovhvnk>
19. **Лепилкина, О. В.** Экспресс-методы контроля состава молока: плюсы и минусы / О. В. Лепилкина, Л. И. Тетерева // Молочная промышленность. 2012. № 8. С. 49–51. <https://elibrary.ru/pbicfn>
20. **Алкадур, М. И.** Влияние термизации и пастеризации на качество сухого молока / М. И. Алкадур [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54, № 2. С. 275–284. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2506>; <https://elibrary.ru/zmqcha>
21. **Барковская, И. А.** Основные механизмы, маркеры порчи и методы их обнаружения применительно к сухим молочным консервам / И. А. Барковская [и др.] // Молочная промышленность. 2025. № 3. С. 15–21. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-3-42>; <https://elibrary.ru/ktqwfd>
22. **He, H.** Applications of Raman spectroscopic techniques for quality and safety evaluation of milk: A review of recent developments / H. He [et al.] // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019. Vol. 59(5). P. 770–793. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1528436>
23. **Huang, Y.** Detection of total protein in milk using phosphomolybdic acid-mediated surface-enhanced Raman spectroscopy / Y. Huang [et al.] // *Journal of Raman Spectroscopy*. 2016. Vol. 47(3). P. 277–282. <https://doi.org/10.1002/jrs.4812>
24. **Almeida, M. R.** Fourier-transform Raman analysis of milk powder: A potential method for rapid quality screening / M. R. Almeida [et al.] // *Journal of Raman Spectroscopy*. 2011. Vol. 42(7). P. 1548–1552. <https://doi.org/10.1002/jrs.2893>
25. **Silva, M. G.** Raman spectroscopy in the quality analysis of dairy products: A literature review / M. G. Silva [et al.] // *Journal of Raman Spectroscopy*. 2021. Vol. 52(12). P. 2444–2478. <https://doi.org/10.1002/jrs.6214>
26. **Ferreira, J. L. A.** Raman spectroscopy-based authentication of powder goat milk adulteration with cow milk / J. L. A. Ferreira [et al.] // *Food Control*. 2025. Vol. 167. Art. no. 110800. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110800>
27. **McGoverin, C. M.** Raman spectroscopic quantification of milk powder constituents / C. M. McGoverin [et al.] // *Analytica Chimica Acta*. 2010. Vol. 673(1). P. 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.05.014>
28. **Zhang, Z. Y.** The statistical fusion identification of dairy products based on extracted Raman spectroscopy / Z. Y. Zhang // *RSC advances*. 2020. Vol. 10(50). P. 29682–29687. <https://doi.org/10.1039/D0RA06318E>
29. **Buckova, M.** Raman spectroscopy as a modern tool for lactose determination / M. Buckova, H. Vaskova, Z. Bubelova // *WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine*. 2016. Vol. 13. P. 108–114.
30. **Li, M.** Determination of lactose in milk by Raman spectroscopy / M. Li [et al.] // *Analytical Letters*. 2015. Vol. 48(8). P. 1333–1340. <https://doi.org/10.1080/00032719.2014.979358>
31. **Khan, H. H.** Potential of Raman spectroscopy for in-line measurement of raw milk composition / H. H. Khan [et al.] // *Food Control*. 2023. Vol. 152. Art. no. 109862. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109862>
32. **Kuhar, N.** Potential of Raman spectroscopic techniques to study proteins / N. Kuhar, S. Sil, S. Umapathy // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2021. Vol. 258. Art. no. 119712. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.119712>
33. **El-Abassy, R. M.** Fast determination of milk fat content using Raman spectroscopy / R. M. El-Abassy [et al.] // *Vibrational Spectroscopy*. 2011. Vol. 56(1). P. 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2010.07.001>
34. **Tallini, R. A.** Effects of pasteurization and ultra-high temperature processes on proximate composition and fatty acid profile in bovine milk / R. A. Tallini [et al.] // *American Journal of Food Technology*. 2015. Vol. 10(6). P. 265–272. <https://doi.org/10.3923/ajft.2015.265.272>
35. **Туровская, С. Н.** Безопасность молочных консервов как интегральный критерий эффективности их технологии. Российский опыт / С. Н. Туровская [и др.] // Пищевые системы. 2018. Т. 1, № 2. С. 29–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>; <https://elibrary.ru/xslojfg>
36. **de Almeida, M. R.** Application of FT-Raman spectroscopy and chemometric analysis for determination of adulteration in milk powder / M. R. de Almeida [et al.] // *Analytical Letters*. 2012. Vol. 45(17). P. 2589–2602. <https://doi.org/10.1080/00032719.2012.698672>