

# Апробация технологических решений для производства обогащенного молока

**Ирина Александровна Барковская**, аспирант, младший научный сотрудник

E-mail: [i\\_barkovskaya@vnimi.org](mailto:i_barkovskaya@vnimi.org)

**Анастасия Евгеньевна Рябова**, д-р техн. наук, заместитель директора по образованию

E-mail: [a\\_ryabova@vnimi.org](mailto:a_ryabova@vnimi.org)

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва

Актуальные данные медицинского мониторинга дефицита йода в России отражают широкую распространенность проблемы низкого среднесуточного потребления йода – 40–80 мкг/сутки. Для организации адекватного уровня потребления микроэлемента населением предпринят ряд действий: повсеместное распространение программ йодирования пищевой соли, разработка йодированных пищевых продуктов (в т. ч. молочных). Однако на данный момент проблема нехватки йода в рационе граждан все еще не решена, что, в свою очередь, актуализирует разработку новых алиментарных подходов к решению вопроса. В связи с этим целью данного исследования была разработка технологии производства питьевого пастеризованного молока, обогащенного йодом и цинком, посредством введения сухого гидролизата сывороточных белков с иммобилизованными органическими формами микроэлементов, содержащего  $78,2 \pm 1,2$  г белка,  $131,8 \pm 27,5$  мг цинка и  $1,8 \pm 0,4$  мг йода на 100 г добавки. В работе представлены результаты изучения влияния ключевых технологических операций (гомогенизации и пастеризации), используемых при производстве пастеризованного молока, на сохранность йода и цинка, внесенных в молоко-сырье в связанной с гидролизатом сывороточных белков форме. Результаты показали, что гомогенизация не оказывает статистически значимого влияния на содержание йода и цинка, в то время как пастеризация приводит к снижению концентрации йода в диапазоне от 7 до 16 % в зависимости от температурного режима. При этом массовая доля цинка остается стабильной, что потенциально может быть обосновано прочностью его хелатных форм в белково-пептидном матриксе. Разработанная технология обеспечивает содержание эссенциальных микроэлементов в количестве 15,0–17,4 % от суточной физиологической потребности организма при внесении 5,3 кг сухой добавки на 1 т молока. Готовый продукт содержит 1,8 мг цинка и 26,1 мкг йода на разовую порцию (200 г). Новая технология может найти применение в молочной промышленности в части производства обогащенных продуктов массового спроса для направленного нивелирования дефицита йода, обеспечивая биологическую доступность микроэлементов.

**Ключевые слова:** обогащение молока, йод, цинк, гидролизат сывороточных белков, трипсин

**Для цитирования:** Барковская, И. А. Апробация технологических решений для производства обогащенного молока / И. А. Барковская, А. Е. Рябова / Сыроделие и маслоделие. 2025. № 2. С. 49–54. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-2-23>



Источник изображения: [imprflash.com](https://www.imprflash.com)

## Введение

Дефицит эссенциальных микроэлементов, в том числе йода, является широко распространенной проблемой во всем мире и частой причиной алиментарно-зависимых неинфекционных заболеваний [1]. На всей территории Российской Федерации у разных возрастных групп населения зафиксировано потребление йода в количестве 40–80 мкг/сутки, что значительно меньше физиологической нормы (150 мкг/сутки) [2]. Недостаточное потребление йода ведет к формированию ряда патологий эндокринной системы и связанных с ними заболеваний, число которых на момент окончания первого полугодия 2022 г. составляло более 14 млн (данные НМИЦ эндокринологии Минздрава) [3]. Для решения проблемы дефицита йода и связанных с ним физиологических расстройств ВОЗ проведена глобальная работа по распространению программ, связанных с повсеместным йодированием соли [4]. Однако, несмотря на успех в некоторых странах мира, проблема недостаточного потребления микроэлемента все еще остается нерешенной для ряда государств, в том числе России [5].

Кроме того, употребление неорганического йода, так же как и других неорганических форм эссенциальных микроэлементов [6], в составе пищевой соли не всегда может быть эффективным подходом к минимизации йододефицита по ряду причин: сниженная биодоступность неорганической формы [7]; высокие потери йода при транспортировке, хранении и термической обработке [7]; некоторым гражданам рекомендовано сниженное потребление соли из-за особенностей организма (сердечно-сосудистые заболевания) [8]. Кроме того, некоторые исследования<sup>1</sup> [9, 10] обращают внимание на повышение эффективности ликвидации дефицита йода при совместном употреблении микроэлементов, сопутствующих метаболизму йода в организме (например, цинка). В связи с этим более эффективным способом профилактики дефицита йода признано употребление его органических форм и сопутствующих его метаболизму элементов, а также обогащение ими продуктов массового спроса, например молочных.

Специалистами пищевой отрасли изучен вопрос алиментарных решений нивелирования дефицита йода как с точки зрения повышения массовой доли йода в молоке-сырье посредством повышения количества микроэлемента в рационе животных, так и с точки зрения обогащения пищевых продуктов йодсодержащими добавками [7, 11–15]. Повышению концентрации микроэлементов в молочном сырье посредством изменения рациона кормления посвящены исследования российских ученых [11]. В результате введения в рацион 40 коров красно-пестрой породы селени и йодсодержащих добавок «КБД-Йодум» (1,5 г/кг живой массы) и «Тетра+» (80 г/кг корма) массовая доля микроэлементов в сыром молоке увеличилась с 2,45 до 13,54 мкг на 100 г для селена и с 10,68 до 16,92 мкг на 100 г для йода [11].

Однако отсутствуют данные о сохранности микроэлементов в молоке после технологической обработки. Известен ряд разработанных российскими учеными технологий обогащения йодом питьевого молока [7, 12–15], а также стерилизованного и пастеризованного молока [12, 13], кефира и творога [13, 14] йодказеином с содержанием йода в органической форме в количестве от 5 до 50 мкг на 100 г продукта [15]. Помимо пищевой добавки «Йодказеин» в молочные продукты вносят «Биойод» – препарат сывороточных белков, обогащенный йодом посредством ферментативного йодирования [7].



Источник изображения: unsplash.com

Несмотря на существующий ассортимент технологий йодированных продуктов, исследования по разработке молочных продуктов, обогащенных пищевыми добавками, обладающими большей эффективностью, являются актуальными ввиду сохранения проблемы дефицита йода и необходимости нивелирования его нехватки у населения. В связи с этим **целью исследования** была разработка технологии питьевого молока, обогащенного разработанным сухим гидролизатом сывороточных белков с иммобилизованными органическими формами йода и цинка.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись сырое цельное молоко с массовой долей белка 3,2 %, массовой долей жира 3,7 %, цинка – 0,2 мг на 100 г молока, йода – 4,5 мкг на 100 г молока; сухой гидролизат сывороточных белков, обогащенный йодом и цинком (степень гидролиза 4,4 %); молоко с органическими формами йода и цинка, подвергнутое гомогенизации и пастеризации.

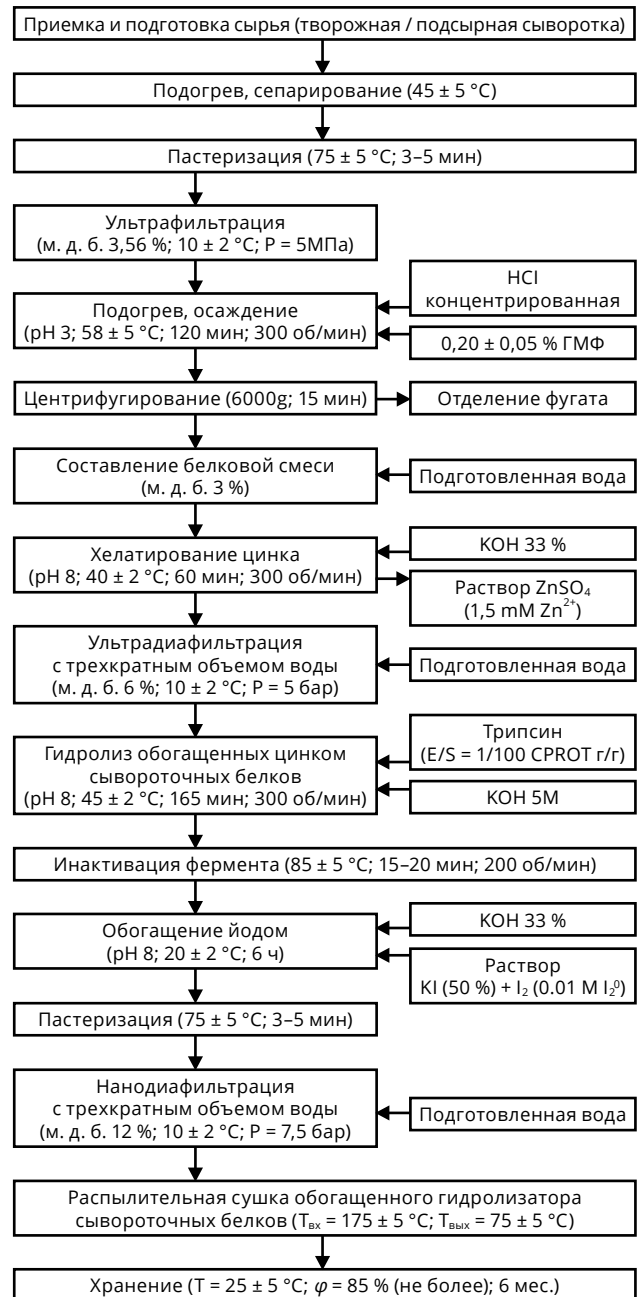
Часть исследований выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (ЦКП ВНИМИ). Массовую долю белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 23327-98 на полуавтоматическом анализаторе Kjeltec-2300 (Foss Tecator AB, Швеция); массовую долю жира – по ГОСТ 5867-2023; массовую долю цинка – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой по ГОСТ 34633-2020; массовую долю йода – спектрометрическим методом по ГОСТ 26185-84.

Все измерения осуществлялись в 3–5 независимых повторностях. Результаты исследований представлены как среднее значение параллельных измерений ( $\pm$ ) стандартное квадратичное отклонение. Статистический анализ экспериментальных данных осуществляли с использованием апостериорного теста Тьюки с использованием интерактивной среды разработки RStudio (Posit Software, США). Надстрочные буквы (a–d) отражают значительные различия между группами при  $p < 0,05$ .

### Результаты и их обсуждение

Для обогащения питьевого пастеризованного молока в работе использовали сухой гидролизат сывороточных белков с иммобилизованными органическими формами йода и цинка. Сухой гидролизат сывороточных белков получали согласно разработанной концепции направленной модификации белков молочной сыворотки, обеспечивающей ковалентное связывание йода и хелатирование цинка с белками молочной сыворотки в физиологическом соотношении (см. рис.).

Результат достигали посредством выделения из молочной сыворотки белкового концентрата с соотношением  $\beta$ -лактоглобулина к  $\alpha$ -лактальбумину 0,7 к 1, направленным



Примечание: м. д. б. – массовая доля белка; ГМФ – гексаметафосфат

**Рисунок. Технологическая схема получения сухого гидролизата сывороточных белков, обогащенного йодом и цинком**

гидролизом с использованием панкреатического трипсина и обогащением белково-пептидного комплекса йодом и цинком. Полученный сухой гидролизат содержал  $78,2 \pm 1,2$  г белка,  $131,8 \pm 27,5$  мг цинка и  $1,8 \pm 0,4$  мг йода на 100 г добавки.

Для определения сохранности концентрации микроэлементов при дальнейшей технологической обработке в работе использовали модельную систему: полученный сухой гидролизат



сывороточных белков вносили в молоко в количестве 3 % (см. табл.). Подобное количество добавки установлено для получения достоверных результатов исследования и снижения погрешности измерений. Обогащенное молоко подогрели до  $65 \pm 5$  °С, направляли на гомогенизацию при 10, 15, 20 и 25 МПа на лабораторном гомогенизаторе HomoLab 2.20 (FBF, Италия) и подвергали термической обработке с использованием силиконовой бани (УКТ-150, ГНУ ВНИМИ). Для изучения влияния тепловой нагрузки на изменение концентрации йода и цинка использовали наиболее часто применяемые в молочной промышленности режимы: 65 °С, 30 мин; 72 °С, 20 с; 80 °С, 30 мин; 85 °С, 20 с; 95 °С, 5 мин; 95 °С, 4 ч; 120 °С, 20 мин. Полученные образцы подвергали трехкратной нанодиафильтрации на пилотной установке AL 362 (ООО «Альтаир», Россия) с блоком мембранных элементов, изготовленных из полиэфирсульфона, с порогом задержки 0,6 кДа с целью удаления неорганических форм

микроэлементов, которые могли появиться в процессе технологической обработки ввиду разрушения связей «белок – микроэлемент».

Выявлено статистически значимое влияние времени пастеризации на содержание йода в молоке: наименьшие значения концентрации йода определены в образцах молока, стерилизованного при 120 °С в течение 20 минут (снижение концентрации йода на 16 %). Определено отсутствие статистически значимого влияния режимов гомогенизации и пастеризации на массовую долю цинка в обогащенном молоке, что может быть обосновано формированием более прочных связей хелатного комплекса в процессе получения сухого гидролизата сывороточных белков. Полученные закономерности сохранности массовой доли йода в молоке при тепловой нагрузке коррелируют с результатами других исследований [5, 12]. Уровень сохранности йода в молоке, обогащенном гидролизатом сывороточных белков, после термической обработки (84–93 %) соотносится с сохранностью микроэлемента в молоке, обогащенном пищевой добавкой «Йодказеин» (98 %) (режим – 115–117 °С, 15–20 мин) [12] и «Биойод» (90 %) (при термической обработке мяса) [5]. При этом с точки зрения биологической ценности полученный сухой гидролизат сывороточных белков, обогащенный йодом и цинком, является перспективной для обогащения пищевых продуктов (в т. ч. питьевого молока), поскольку содержит цинк, обеспечивающий лучший метаболизм йода в организме [9, 10].

Для обогащения пищевых продуктов, согласно ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения», количество вводимого функционального пищевого ингредиента составляет не менее 15 % от суточной потребности в одной порции продукта [7]. Кроме того, при обогащении продуктов эссенциальными микроэлементами важно учитывать их начальное содержание в сырье: молоко в среднем содержит 0,4 мг цинка и 9 мкг йода. Исходя из этого, максимальное количество сухого гидролизата сывороточных белков, необходимое для обогащения питьевого молока и соответствующее содержанию микроэлементов в количестве 17,4 % (по йоду) и 15,0 % (по цинку) от физиологической суточной потребности (150 мкг и 12 мг соответственно) в 200 г молока, равно 5,3 кг на 1 т молока. Следует обратить внимание, что при внесении расчетного количества

**Таблица. Влияние основных технологических операций, применяемых при производстве питьевого молока, на содержание йода и цинка в продукте**

Наименование образца	Содержание цинка, мг/100 г молока	Содержание йода, мкг/100 г молока
Сырое молоко	$3,9 \pm 0,9^a$	$52,1 \pm 12,3^a$
Гомогенизация (10 МПа)	$3,3 \pm 0,8^a$	$51,9 \pm 12,1^a$
Гомогенизация (15 МПа)	$3,2 \pm 0,8^a$	$51,4 \pm 12,0^a$
Гомогенизация (15 МПа)	$3,2 \pm 0,8^a$	$51,1 \pm 12,2^a$
Гомогенизация (20 МПа)	$3,2 \pm 0,8^a$	$48,7 \pm 11,9^a$
Гомогенизация (25 МПа)	$3,3 \pm 0,8^a$	$50,3 \pm 12,1^a$
Пастеризация (65 °С; 30 мин)	$3,9 \pm 0,9^a$	$46,7 \pm 12,2^{ab}$
Пастеризация (72 °С; 20 с)	$3,8 \pm 0,9^a$	$47,3 \pm 12,2^{ab}$
Пастеризация (80 °С; 30 мин)	$3,7 \pm 0,9^a$	$45,9 \pm 12,0^{ab}$
Пастеризация (85 °С; 20 с)	$3,8 \pm 0,9^a$	$48,6 \pm 11,9^{ab}$
Пастеризация (95 °С; 5 мин)	$3,7 \pm 0,9^a$	$47,3 \pm 11,8^{ab}$
Пастеризация (95 °С; 4 ч)	$3,7 \pm 0,9^a$	$47,8 \pm 12,1^{ab}$
Стерилизация в автоклаве (120 °С; 20 мин)	$3,2 \pm 0,8^a$	$43,7 \pm 12,1^b$

Примечание: надстрочные буквы (a-d) отражают значительные различия между группами при  $p < 0,05$

гидролизата сывороточных белков, обогащенного йодом и цинком, органолептические характеристики готового продукта не изменялись.

При производстве питьевого пастеризованного молока сухой гидролизат сывороточных белков рекомендуется вносить в сырье на этапе нормализации, а затем направлять на гомогенизацию ( $12,5 \pm 2,5$  МПа;  $65$  °С) и пастеризацию ( $85 \pm 2$  °С, 20 с). Срок хранения готового продукта составляет 14 дней. Гидролизированные белки характеризуются высокой растворимостью ( $95,4 \pm 1,2$ – $97,9 \pm 0,6$  % в диапазоне pH 6–7), что упрощает процесс равномерного распределения добавки в объеме продукта. С учетом потерь при пастеризации в готовом продукте содержание микроэлементов составляет 1,8 мг цинка и 26,1 мкг йода на разовую порцию (200 г), что обеспечивает 15,0 и 17,4 % от суточной потребности организма соответственно. При необходимости можно произвести перерасчет количества вносимого гидролизата сывороточных белков в зависимости от степени дефицита йода в разных регионах.

## Выводы

В работе описана технология получения сухого гидролизата сывороточных белков, содержащего органическую форму йода и цинка, а также апробировано производство обогащенного питьевого пастеризованного молока. Установлены зависимости сохранности йода и цинка в обогащенном продукте от режимов основных технологических операций, применяемых при производстве пастеризованного молока. Определено отсутствие статистически значимого влияния режимов гомогенизации на снижение концентраций йода и цинка, тогда как пастеризация приводит к снижению концентрации йода в диапазоне от 7 до 16 % в зависимости от температурного режима. Внесение 5,3 кг гидролизата сывороточных белков на 1 т молока обеспечивает содержание в готовом продукте 1,8 мг цинка и 26,1 мкг йода на разовую порцию (200 г), что составляет 15,0 и 17,4 % от суточной потребности человека. Разработанная технология перспективна для производства молочных продуктов, способствующих профилактике йододефицитных состояний и обеспечивающих организм эссенциальными микроэлементами. ■

Поступила в редакцию: 30.03.2025  
Принята в печать: 28.04.2025

## New Technological Solutions in Functional Milk Drinks

**Irina A. Barkovskaya, Anastasia E. Ryabova**

All-Russian Research Institute of Dairy Industry, Moscow

The current iodine intake of 40–80 µg/day indicates a serious iodine deficiency in Russia. Food salt iodization programs and iodine-fortified food products may raise the national micronutrient consumption. However, the problem of iodine deficiency remains unsolved, which requires new nutritional approaches. The article introduces a new technology for pasteurized milk fortified with iodine and zinc. The experimental additive consisted of hydrolysate powder of whey proteins with immobilized organic trace elements. It contained  $78.2 \pm 1.2$  g protein,  $131.8 \pm 27.5$  mg zinc, and  $1.8 \pm 0.4$  mg iodine per 100 g. Homogenization and pasteurization were supposed to affect the preservation of iodine and zinc introduced into raw milk in the forms associated with whey protein hydrolysate. Homogenization had no statistically significant effect on the iodine and zinc content, while pasteurization reduced the iodine concentration to 7–16%, depending on the temperature. The mass fraction of zinc remained stable due to the strong chelate forms in the protein-peptide matrix. The new fortified milk product contained 15.0–17.4% of recommended daily iodine and zinc intake with 5.3 kg of powder per 1 ton of milk. The finished product contained 1.8 mg zinc and 26.1 µg iodine per single serving (200 g). The new technology can find application in the functional food industry, providing bioavailable trace elements to eliminate the national iodine deficiency.

**Keywords:** milk fortification, iodine, zinc, whey protein hydrolysate, trypsin

### Список литературы

1. Драпкина, О. М. Алиментарно-зависимые факторы риска хронических неинфекционных заболеваний и привычки питания: диетологическая коррекция в рамках профилактического консультирования / О. М. Драпкина, Н. С. Карамнова, А. В. Концевая [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20, № 5. С. 273–334. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2952>; <https://elibrary.ru/roekhj>
2. Абдулхабирова, Ф. М. Клинические рекомендации "Заболевания и состояния, связанные с дефицитом йода" / Ф. М. Абдулхабирова, О. Б. Безлепкина, Д. Н. Бровин [и др.] // Проблемы эндокринологии. 2021. Т. 67, № 3. С. 10–25. <https://doi.org/10.14341/probl12750>; <https://elibrary.ru/xntcze>
3. Трошина, Е. А. Устранение дефицита йода – забота о здоровье нации. Экскурс в историю, научные аспекты и современное состояние правового регулирования проблемы в России / Е. А. Трошина // Проблемы эндокринологии. 2022. Т. 68, № 4. С. 4–12. <https://doi.org/10.14341/probl13154>; <https://elibrary.ru/gakbbm>
4. Тутельян, В. А. Ключевые проблемы в структуре потребления пищевой продукции и прорывные технологии оптимизации питания для здоровьесбережения населения России / В. А. Тутельян, Д. Б. Никитюк // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 1. С. 6–21. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21>; <https://elibrary.ru/xcdqzj>

5. **Большакова, Л. С.** Обогащение йодом пищевых продуктов / Л. С. Большакова, Д. Е. Лукин, Е. Г. Меркулова, Н. Н. Толкунова // Здоровьесберегающие технологии в ВУЗе: состояние и перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции / под ред. Ю. Н. Зубцова. Орел: Орловский государственный университет экономики и торговли, 2018. С. 96–98. <https://elibrary.ru/xwvewl>
6. **Храмцов, А. Г.** Нульвалентный селен в технологии молочных продуктов / А. Г. Храмцов, А. В. Серов, М. В. Мирошниченко // Молочная промышленность. 2012. № 6. С. 78–79. <https://elibrary.ru/ozscqr>
7. **Савлукова, Ю. О.** Получение функционального йогурта, обогащенного йодом в биодоступной форме / Ю. О. Савлукова, Е. Г. Ковалева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2023. Т. 11, № 2. С. 83–92. <https://doi.org/10.14529/food230210>; <https://elibrary.ru/hmhnlc>
8. **Кобалава, Ж. Д.** Потребление поваренной соли и артериальная гипертония: есть ли основания для смены позиций? / Ж. Д. Кобалава, С. В. Виллевалде, Е. А. Троицкая // Кардиология. 2013. Т. 53, № 11. С. 75–83. <https://elibrary.ru/rofezt>
9. **Arias-Borrego, A.** Iodine deficiency disturbs the metabolic profile and elemental composition of human breast milk / A. Arias-Borrego, I. Velasco, J. L. Gómez-Ariza // Food Chemistry. 2022. Vol. 371. 131329. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131329>
10. **Gharibzahedi, S. M. T.** The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation / S. M. T. Gharibzahedi, S. M. Jafari // Trends in Food Science & Technology. 2017. Vol. 62. P. 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
11. **Мосолова, Н. И.** Органические формы йода и селена в рационе лактирующих коров / Н. И. Мосолова, Е. Ю. Злобина, А. А. Короткова, Е. В. Карпенко // Главные эпизоотологические параметры популяции животных: сборник научных трудов ФГБОУ ВПО НГСХА, представленных на 2-й сессии Международной научно-практической конференции / под ред. В. В. Сочнева. Т. 1. Нижний Новгород: БИКАР, 2015. С. 459–465. <https://elibrary.ru/tqibtv>
12. **Бирюкова, З. А.** Сохранность йода в молоке при стерилизации и хранении / З. А. Бирюкова, О. Г. Пантелеева, Е. А. Юрова, А. Я. Гончарова // Молочная промышленность. 2014. № 10. С. 54–56. <https://elibrary.ru/sujajt>
13. **Зобкова, З. С.** Внедрение и коммерциализация результатов научно-исследовательских работ в цельномолочной отрасли / З. С. Зобкова // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1, № 1. С. 199–204 <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-199-204>; <https://elibrary.ru/bnojwn>
14. **Степычева, Н. В.** Творог, обогащенный йодказеином / Н. В. Степычева, С. А. Патронова // Молочная промышленность. 2020. № 8. С. 52–53. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-08-52-53>; <https://elibrary.ru/qrmnwc>
15. **Барковская, И. А.** Перспективы обогащения молочных консервов йодированными сывороточными белками / И. А. Барковская // Молочная промышленность. 2024. № 2. С. 35–39. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-2-6>; <https://elibrary.ru/ckvodh>