

УДК 544.352.2:637.133

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-1\(51\)-79-92](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-1(51)-79-92)

Поступила в редакцию 10.10.2020

Received 10.10.2020

И. В. Подорожная¹, С. С. Ветохин²¹ОАО «Приборостроительный завод Оптрон», г. Минск, Республика Беларусь²Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БИОЙОГУРТОВ

Аннотация. Анализировались значения температуры заморозания, активной и титруемой кислотности, удельной электропроводности, доли свободной влаги, влажности и сухих обезжиренных веществ молока биойогуртов, широко представленных в торговой сети Минска. Исследованные физико-химические показатели йогуртов, обогащенных бифидобактериями, существенно отличаются от аналогичных показателей сырого коровьего молока. Все готовые кисломолочные пищевые продукты независимо от производителя, состава, в том числе стабилизационной системы и заквасочных культур микроорганизмов, в сравнении с сырым коровьим молоком обладали пониженными значениями температуры заморозания, pH, долей свободной влаги влажностью, и повышенными значениями титруемой кислотности, удельной электропроводностью и СОМО.

Обнаружен большой разброс исследуемых показателей продукции каждого производителя и между производителями. Йогурты с бифидобактериями, произведенные предприятиями Брестской области, обладали наиболее высокими значениями pH и СОМО и низкими значениями температуры заморозания и влажностью. Меньший по сравнению с другими продуктами разброс значений рассматриваемых физико-химических показателей свидетельствует о хорошо налаженном технологическом процессе производства биойогурта и прослеживаемости поставок сырья.

Определены границы доверительных интервалов полученных значений физико-химических показателей йогуртов, обогащенных бифидобактериями, как по отдельным производителям, так и совместно. Обнаружена весьма высокая связь между удельной электропроводностью и температурой заморозания некоторых изготовителей. Прослежена динамика изменений исследуемых показателей за последние годы.

Ключевые слова: йогурт, бифидобактерии, температура заморозания, кислотность, удельная электропроводность, влажность, СОМО

I. V. Podorozhniaya¹, S. S. Vetokhin²¹Instrument-making Factory Optron, Minsk, Republic of Belarus²Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

ANALYSIS OF SOME PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF YOGHURT WITH *BIFIDOBACTERIUM* IN BELARUS

Abstract. The values of freezing point, titratable and active acidities, conductivity, water activity, humidity, nonfat milk solids the of samples of market bioyoghurt were analyzed. They significantly differ from the same row milk indicators. So, they demonstrated lower values of freezing point, active acidity, water activity, humidity, and increased values of titratable acidity and conductivity, and nonfat milk solids.

A large dispersion of the studied products' properties was found for each manufacturer production as well as between producers. Yoghurts with *Bifidobacterium* that were produced at the Brest region had the highest values of pH, nonfat milk solids and lowest values of freezing point and humidity. This fact evidences the manufacturer has a well-established technological process for the production of bioyogurt and traceability of raw milk supply.

The boundaries of the confidence intervals of physical and chemical properties both by individual manufacturers and jointly were determined. A close relationship between conductivity and freezing point in bioyoghurts of some manufacturers has been found. The dynamics of their changes in last years is traced.

Keywords: yoghurts, *Bifidobacterium*, freezing point, acidities, conductivity, humidity, nonfat milk solids

Введение. Йогурт, обогащенный бифидобактериями, производство которого ведется в хорошо управляемых условиях, обеспечивающих получение готового продукта с заданными вкусовыми свойствами и питательной ценностью, прочно вошел в число популярных товаров на белорусском рынке. Обогащение этого кисломолочного продукта живыми культурами бифидобактерий проводится в процессе ферментации и/или после нее, что повышает его пищевую и биологическую ценность. Приставка «био» в его наименовании оправдана отсутствием термической обработки готового продукта, что позволяет сохранить в нем активные полезные микроорганизмы [1–3].

Согласно [2–7], йогурт — кисломолочный продукт с повышенным содержанием сухих обезжиренных веществ молока, произведенный с использованием заквасочных микроорганизмов (термофильных молочнокислых стрептококков и болгарской молочнокислой палочки).

Для придания продукту дополнительных вкуса, пищевой и биологической ценности для конечного потребителя в йогурты могут вноситься как вместе, так и по отдельности:

- ♦ пробиотические микроорганизмы — бифидобактерии (*Bifidobacterium*), молочнокислая ацидофильная палочка и/или другие пробиотические микроорганизмы;
- ♦ пищевые биологически активные вещества (витамины, витаминные комплексы (премиксы), макро- и микроэлементы, пищевые волокна, пребиотики);
- ♦ пищевкусовые компоненты (ароматизаторы, немолочные компоненты: сахар, фруктовые наполнители и т.п.) [1, 3].

При производстве йогуртов, в том числе обогащенных, без пищевкусовых компонентов, ароматизаторы, сахар и иные немолочные компоненты не используются [2–4].

Стабилизаторы используются для сохранения и улучшения структуры, консистенции, вязкости, внешнего вида и вкуса данного кисломолочного продукта. Количество и видов, в том числе и их смесей, применяемых стабилизаторов велико. Применяемая концентрация стабилизатора(ов) может ограничиваться законодательно, зависеть от количества сухих веществ в исходном сырье или самим изготовителем до появления нежелательного привкуса при добавлении слишком большого количества. Однако, как правило, она варьируется от 0,02 г пектинов на 100 г готового продукта и не превышает 2 г некоторых крахмальных составов на 100 г йогурта [1].

Согласно [8], молекулярная масса пектиновых веществ, группы высокомолекулярных полисахаридов, достигает 200000 и зависит от вида источника выделения, возраста растения, способа получения и т. д.

Галактоманнаны представляют собой гетерогликаны, содержащиеся в семенах стручковых растений и выполняющие функцию предотвращения обезвоживания семян. Коммерческие препараты растительных галактоманнанов получили название камеди. Наиболее распространенными в качестве пищевых добавок в этой группе являются галактоманнаны семян двух видов растений — гуара, произрастающего в Индии и Пакистане, и рожкового дерева, произрастающего на побережье Средиземного моря.

Эти камеди (E410 и E412) имеют сходное химическое строение и представляют собой нейтральные полисахариды [9].

Гуаровая камедь (гуар) — натуральный растительный нейтральный полисахарид галактоманнан ($C_6H_{10}O_5$)_n, пищевая добавка E412. Гуаровая камедь используется в том числе для загущения и стабилизации соусов, майонезов, кетчупов, мороженого в количестве до 1,0 %; может использоваться для сохранения свежести хлебобулочных изделий в количестве 0,2–0,5 % [10].

Если производство продукта вели без добавления стабилизатора, то готовый кисломолочный продукт представляет собой однородную в меру вязкую жидкость. При добавлении стабилизатора — желеобразную или кремообразную жидкость [3].

Определение в биойогуртах массовой доли белка, жира, сухих обезжиренных веществ молока (далее — СОМО), сахара, титруемой кислотности, температуры при выпуске с предприятия осуществляется в соответствии с требованиями стандартов на данную продукцию [2–5]. Как правило, результаты исследований иных физико-химических показателей биойогуртов, приводимые в литературных источниках, касаются влияния на них состава и /или заквасочных культур микроорганизмов [11–14].

Данные об иных физико-химических показателях биойогуртов в литературных источниках представлены недостаточно.

Цель данной работы — определить расширенный набор физико-химических показателей биойогуртов и установить их взаимосвязи.

В рамках поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- ♦ провести исследование температуры замерзания, титруемой и активной кислотностей, удельной электропроводности, показателя «активность воды», массовой доли влаги, СОМО;
- ♦ определить возможные взаимосвязи между исследованными показателями;
- ♦ рассмотреть изменения данных показателей в зависимости от даты изготовления кисломолочного обогащенного бифидобактериями продукта;

♦ сопоставить способы нахождения температуры замерзания по титруемой кислотности с полученными экспериментальными данными.

В качестве объектов исследования были выбраны йогурты с бифидобактериями без сахара жирностью от 1,5 % до 2,0 % четырех крупных отечественных производителей в потребительской таре от 120 до 450 г в розничной торговой сети г. Минска.

Условия сохранения соответствовали указанной на маркировке продукта: до вскрытия упаковки кисломолочные продукты хранили при температуре от плюс 2°С до плюс 6°С, а перед проведением эксперимента образцы прогревались до температуры не менее 14°С при комнатной температуре, за исключением определения влажности и содержания сухого вещества образца, где биойогурты помещались сразу после вскрытия потребительской тары.

Материалы и методы исследований. Температуру замерзания молочных продуктов определяли криоскопическим методом с помощью миллиосмометра-криоскопа термoeлектрического МТ-5-01 (Буревестник, СПб.). Удельную электропроводность измеряли настольным кондуктометром HI 2300 (HANNA Instruments, ФРГ) с автоматической температурной компенсацией (25°С). Активную кислотность молочных продуктов определяли pH-метром HI 221 (HANNA Instruments, ФРГ) или pH-метром милливольтметром pH-150М (РБ), а титруемую кислотность — по [15]. Измерения влажности и содержания сухого вещества образцов проводили ускоренным методом влагомером Radwag (Польша) с использованием высушенной фильтровальной бумаги. При этом был выбран стандартный профиль работы с температурой сушки 125°С и автоматическим выключением при падении скорости потери массы ниже 1 мг за 120 с.

Анализ доли свободной воды вели методом точки росы на охлаждаемом зеркале путем измерения показателя «активность воды» (a_w) прибором Roremeter RM-10 (NAGY Messsysteme GmbH, ФРГ). Данный экспресс-метод не позволяет проводить измерения непосредственно в жидких образцах и для измерения показателя «активность воды» в жидкостях ими пропитывают стандартную матрицу (инертный пористый наполнитель — целлит). В настоящее время имеется несколько видов целлита, производство которого является энергоемким процессом, что обуславливает его высокую стоимость. Для проведения многочисленных опытов требуется большое количество целлита. Поэтому нами в [16–19] рассмотрены и описаны возможные для применения в исследовательских целях высоковлажных продуктов различные наполнители. В частности, весьма удобной матрицей оказалась измельченная фильтровальная бумага, которая применялась нами и в настоящей работе. Измерения проводились при температуре окружающей среды (25 ± 1)°С, подготовленные образцы при которой выдерживались не менее 1 часа.

Массовую долю сухого обезжиренного вещества молока C_0 , % рассчитывали по следующей формуле:

$$C_0 = C - a, \quad (1)$$

где C — массовая доля сухого вещества, %; a — массовая доля жира, указанная на потребительской таре готового кисломолочного продукта, %.

Каждое измерение повторялось 3–5 раз. Результаты обрабатывались методами расчета статистической достоверности измерений с использованием программ Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение. Массовые доли жира, белка и углеводов, указанные производителем на маркировке потребительской тары готовых пищевых продуктов, приведены в табл. 1. Состав кисломолочного продукта, указанный на маркировке тары, сведен в табл. 2.

Таблица 1. Некоторые сведения, содержащиеся в маркировке упакованных биойогуртов*
Table 1. Some information for consumer on packaged bioyoghurts*

Отличительные признаки пищевой продукции	Номер производителя биойогурта			
	I	II	III	IV
Место нахождения изготовителя пищевой продукции	Брестская область	Минская область	Могилевская область	Минская область
Массовая доля белка, %	3,3	3,4	3,3	3,48
Массовая доля жира, %	2,0	1,5	1,5	1,5
Массовая доля углеводов, %	5,2	5,0	4,4	5,57
Энергетическая ценность, ккал	52,0	50,0	не менее 44,0	49,7
Срок годности, суток	30	30	20	20

*Примечание — по состоянию на 11.08.2020.

Нами не учитывались жирность, содержащиеся белок и стабилизаторы вследствие ничтожно малого влияния на измеряемые физико-химические показатели готовых кисломолочных обогащенных бифидобактериями продуктов [20–25].

Так, содержащиеся в стабилизаторе крахмалы являются высокомолекулярными соединениями и находятся в продуктах в коллоидном состоянии. Крахмалы и желатин практически не влияют на концентрацию токопроводящих ионов, по которым идет измерение величины удельной электропроводности.

Наши ранние исследования [16, 17] показали, что даже в высоких концентрациях крахмал различного происхождения не может оказать заметного влияния на «активность воды» в продукте. Установленная нами температура замерзания водных растворов 1% крахмала и 3% желатина составляют от минус 0,048°C до минус 0,037°C, что подтверждает слабое влияние этих веществ на криоскопические свойства образцов [26].

Предполагалось, что основное влияние на выбранные показатели будут оказывать содержащиеся в йогурте углеводы и соли, а также образующиеся в процессе ферментации и при последующем хранении кислоты.

Таблица 2. Состав биойогуртов по производителям (по данным маркировки)
Table 2. Composition of bioyoghurts by manufacturers (according information for consumer)

Номер производителя	Состав
I	Изготовлен из молока нормализованного пастеризованного, сухого обезжиренного молока, стабилизационной системы (желатин, пищевые добавки: стабилизаторы — гуаровая камедь, дикрахмалоадипат ацелированный) с использованием закваски, обогащенной бифидобактериями
II	Молоко нормализованное, сухое обезжиренное молоко, стабилизатор (ацелированный дикрахмалоадипат, желатин, крахмал, пектин) с использованием бактериальной закваски с бифидобактериями
III	Молоко нормализованное пастеризованное, молоко сухое, стабилизатор (модифицированный крахмал Е 1422, желатин, гуаровая камедь), закваска для изготовления йогурта, бифидобактерии
IV	Молоко нормализованное пастеризованное, сухое обезжиренное молоко, комплексная пищевая добавка (стабилизаторы: дикрахмалофосфат оксипропилированный, желатин, гуаровая камедь, пектины), с использованием закваски обогащенной бифидобактериями

Основными составляющими биойогуртов, обыкновенно изготавливаемых на территории Республики Беларусь, являются молоко коровье нормализованное пастеризованное и сухое обезжиренное коровье молоко. Требования к применяемому сырью при изготовлении йогуртов содержится в пункте 5.3 СТБ 1552-2017 [3].

Некоторые требования, предъявляемые национальным стандартом к биойогуртам приведены в табл. 3. Средние значения полученных результатов, а также разброс средних значений за все время исследований приведены в табл. 4 и 5.

Массовая доля белка неодинакова для кисломолочного продукта без пищевкусных добавок при различной жирности. Разброс значений массовой доли белка составляет не менее 3,5 % для обезжиренного кисломолочного продукта и не менее 3,2 % (до 01.10.2017 — не менее 2,8 %) в йогурте, в том числе обогащенного, жирностью 6,1–10,0 %. В промежуточных значениях жирности содержание белка не менее 3,3% [3, 4]. До введения в действие [4] содержание белка в йогуртах не нормировалось.

По результатам анализа информации, приведенной на маркировках готовых биойогуртов, можно сделать вывод о соответствии по содержанию массовой доли белка предъявляемым [2–4] требованиям. Однако по данному показателю несколькими годами ранее наблюдались несоответствия у производителя II, что, вероятно, связано с ошибкой при оформлении этикетки.

Независимо от жирности продукта нормируемые значения содержания СОМО в обогащенных йогуртах без пищевкусных компонентов составляют не менее 9,5 % [2–5].

Согласно требованиям национального стандарта, диапазон допускаемых значений титруемой кислотности в йогуртах довольно широк: от 75еТ до 140еТ [2, 4]. Новым национальным стандартом [3] предусмотрена возможность выпускать продукт с титруемой кислотностью до 160еТ. Однако вкусовые предпочтения потребителей находятся заметно ниже верхнего предела [1].

Согласно [2–6], в готовом продукте также нормируется в конце его срока годности общее содержание заквасочных микроорганизмов, бифидобактерий и других пробиотических микроорганизмов.

Таблица 3. Некоторые требования, предъявляемые к биоюогуртам
Table 3. Some requirements for bioyoghurts

Показатели	Продукт
	Биоюогурт согласно [3, 5]
Температура заморзания, °С	н/н
Титруемая кислотность, °Т	75–160
Удельная электропроводность, мСм/см	н/н
pH	н/н
a_w	н/н
Содержание влаги, %	н/н
СОМО, %	не менее 9,5

Примечание: н/н — не нормируется.

В промышленном процессе производства йогурта используются закваски с определенным набором молочнокислых бактерий. Выбор комбинаций заквасок, используемых при производстве йогурта осуществляется исходя из получения желаемых вкусовых характеристик продукта, накопления лактатов, ароматических соединений (ацетальдегида, ацетоина и диацетила) и экзополисахаридов (далее — ЭПС), а также стремления обеспечить потребителя широким выбором лечебных продуктов. Органолептические свойства продукта очень важны, и тщательный отбор различных штаммов может обеспечить получение самых разных сочетаний интенсивности оттенков вкуса и образования ЭПС.

Таблица 4. Средние значения физико-химических показателей биоюогуртов по производителям
Table 4. Average values of physical and chemical properties of bioyoghurts by manufacturers

Показатель	Номер производителя биоюогурта			
	I	II	III	IV
Температура заморзания, °С	-0,905±0,009	-0,795±0,009	-0,805±0,010	-0,810±0,010
Титруемая кислотность, °Т	107,4±5,1	103,5±5,7	103,9±6,5	111,8±4,0
Удельная электропроводность, мСм/см	7,30±0,17	6,96±0,15	6,99±0,18	7,54±0,15
pH	4,29±0,07	4,15±0,06	4,19±0,10	3,91±0,04
a_w	0,988±0,020	0,979±0,024	0,986±0,022	0,995±0,020
Содержание влаги, %	85,94±0,12	87,49±0,32	87,74±0,17	89,02±0,13
СОМО, %	12,06±0,11	11,01±0,31	10,54±0,29	9,48±0,13

В настоящее время идентифицировано 30 штаммов бифидобактерий, выделенных из различных источников; разработаны процессы культивирования микроорганизмов с использованием отобранных комбинаций заквасочных культур, которые можно четко контролировать. Для получения йогурта с выраженным ароматом и стабильной консистенцией сгустка важны процессы и катаболизма, и анаболизма, которые также играют определенную роль в образовании полисахаридов, влияющих на структуру продукта, и других веществ, полезных для здоровья [1].

Ранее нами было подтверждено, что применяемая закваска влияет и не только на вид получаемого продукта, но и на его характерные физико-химические свойства. Более подробно экспериментально полученные результаты рассмотрены в [27, 28].

Законодательством не предусмотрена обязанность производителей указывать в составе продукта штаммы каждого вида используемых заквасочных микроорганизмов.

Полученные данные показывают, что температура заморзания кисломолочных продуктов существенно ниже температуры заморзания сырого молока.

Величины температуры заморзания сырого молока (сборного, отдельных доек), приводимые в литературных источниках значительно колеблются от -0,560°С до -0,342°С [22]. Отечественными стандартами предусмотрено определение температуры заморзания только при закупках сырого молока, которая для молока любого сорта должна составлять не выше -0,520°С. Однако если отсутствуют условия для определения температуры заморзания сырого молока, то разрешено проводить определение показателя «плотность» [5, 29].

Проведенные нами исследования [27, 28] выявили значительное понижение температуры заморзания биохимически обработанного коровьего молока и особенно выраженным оно было у йогуртов, в том числе обогащенных бифидобактериями.

Таблица 5. Диапазон средних значений физико-химических показателей биоюгуртов по производителям
Table 5. Range average values of physical and chemical properties of bioyoghurts by manufacturers

Показатель	Номер производителя биоюгурта			
	I	II	III	IV
Температура заморозки, °С	-0,950...-0,845	-0,892...-0,700	-0,845...-0,740	-0,851...-0,759
Титруемая кислотность, °Т	78,0...128,0	73,0...125,0	82,0...115,0	91,0...127,0
Удельная электропроводность, мСм/см	6,43...7,96	6,22...7,61	6,06...7,54	6,44...8,03
pH	4,02...4,52	3,99...4,57	3,90...4,57	3,79...4,03
a_w	0,968...1,000	0,877...1,000	0,938...1,000	0,972...1,000
Содержание влаги, %	85,38...86,73	86,22...89,27	87,04...88,07	88,30...89,44
СОМО, %	11,27...12,62	9,23...12,28	10,43...11,46	9,06...10,2

Очевидно помимо накопления молочной и других кислот, спиртов, диоксида углерода и т. д. в результате брожения оказывала влияние и высокая массовая доля СОМО йогуртов, которые должны по национальному стандарту составлять не менее 9,5 %, в то время как в большинстве случаев в сыром молоке массовая доля СОМО не менее 8,0 % и не является обязательно нормируемым и контролируемым показателем и устанавливается по усмотрению изготовителя [5].

Температура заморозки молока зависит только от концентрации истинно растворимых компонентов молока. Около 80 % снижения температуры заморозки обеспечиваются лактозой и ионами макроэлементов. Оставшаяся часть приходится на небелковые соединения, прежде всего карбамид, а также на свободные низкомолекулярные жирные кислоты и CO_2 . Оказывать влияние на величину данного показателя могут различные факторы, например, возраст, порода животного, рацион кормления, содержание, период лактации, состояние здоровья, время года, внесение посторонних добавок (воды, нейтрализующих веществ и др.), дегазация, термообработка и/или сквашивание сырого молока [22, 27, 28]. Причем разбавление молока водой приводит к повышению температуры заморозки, а скисание молока или добавление сухих веществ, наоборот, ее понижает. При биохимическом расщеплении одной молекулы лактозы образуется четыре молекулы молочной кислоты, что приводит к увеличению концентрации ионов в молоке и к значительному понижению температуры заморозки [20].

Подобные зависимости получены и для удельной электропроводности. Вероятно, в результате, полученные кондуктометрическим методом, вносят вклад побочные продукты брожения, образующие истинный раствор в продукте, и повышенное содержание сухих веществ в биоюгуртах из-за необходимости наличия в составе продукта сухого молока. Так, удельная электропроводность сырого коровьего молока, приведенная в литературных источниках, колеблется от 4,0 мСм/см до 6,0 мСм/см и обусловлена наличием и концентрацией диссоциированных солей в молоке, их подвижностью и взаимным влиянием.

Средние значения и разбросы средних значений титруемой кислотности йогуртов, обогащенных бифидобактериями, в целом соответствовали установленным [3] требованиям. Единоразово за все время проведения исследований, ориентировочно в середине срока годности, было получено значение титруемой кислотности 73°Т в готовом пищевом продукте производителя II.

Несмотря на то, что стандартами предусмотрено определение только титруемой кислотности йогуртов в книжных изданиях производителям чаще всего рекомендуется вести производственный контроль качества продукта по pH. Хотя по литературным данным нет прямой корреляции между титруемой кислотностью и величиной pH, а титриметрический метод определения кислотности считается достаточно субъективным, поскольку на визуальное определение окончания титрования могут повлиять расположение источника света и индивидуальное цветоощущение у людей. Объективные методы определения точки равновесия также дают достаточно высокую погрешность из-за обычно несимметричной пологой титриметрической кривой и высокой степени неопределенности критической точки [2–5, 20, 21]. Для сопоставления единиц титруемой кислотности и показаний pH для молока и основных кисломолочных продуктов имеются установленные Всероссийским научно-исследовательским институтом молочной промышленности и Всероссийским научно-исследовательским институтом маслоделия и сыроделия усредненные соотношения, из которых следует, что при титруемой кислотности сырого молока выше 18°Т, когда происходит образование молочной кислоты, pH понижается незначительно. Это объясняется наличием в молоке ряда буферных систем — белковой, фосфатной, цитратной, бикарбонатной и т. д. [22].

Хотя в такой буферной системе, как йогурт, отсутствует прямая корреляция между титруемой кислотностью и величиной рН, очень удобно определять рН электрометрическим способом. Установив единожды взаимосвязь между рН и желаемыми характеристиками того или иного типа йогурта, можно внедрить в обычную практику наблюдение (мониторинг) этой величины в ходе технологического процесса. Тем не менее, для более тщательного контроля кислотности готового продукта, рекомендуется проводить анализ на титруемую кислотность репрезентативного числа образцов охлажденного йогурта [1].

Среди факторов, влияющих на значение рН йогурта, можно выделить следующие:

- ♦ концентрирование молока;
- ♦ изменение температуры;
- ♦ биохимические преобразования компонентов молока.

Влияние кислотности на рН обусловлено не концентрацией компонентов молока с кислотными свойствами, а активностью водородных ионов. Поэтому концентрирование молока вызывает снижение рН.

При повышении температуры происходит увеличение диссоциации воды и протекание реакций в молоке: улетучивание CO_2 , выделение ионов водорода при снижении растворимости гидрофосфата кальция с образованием коллоидного фосфата кальция, приводящих к повышению и снижению рН соответственно в результате одновременного протекания данных реакций.

Особенно сильные изменения рН наблюдаются при биохимическом воздействии на молоко с образованием из одной молекулы лактозы четырех молекул молочной кислоты. При этом активная кислотность продукта может опуститься до 3,4 ед. Кроме консервирующих свойств выделившаяся молочная кислота обладает и буферными свойствами, препятствующие дальнейшему нарастанию кислотности [22].

Для защиты живых организмов от резких изменений рН, которые могут привести к их гибели или создать для них неблагоприятные условия, все биологические жидкости обладают буферными системами, способными поддерживать постоянную величину рН. Поэтому при внесении в сырое молоко нейтрализующих веществ в небольших количествах оно способно поддерживать некоторое время постоянную величину активной кислотности при медленном нарастании титруемой кислотности [20].

Белки молока обладают буферными свойствами благодаря карбоксильным и аминным группам. Накапливающаяся при скисании молочная кислот вступает в реакцию с аминными группами белков, а добавляемая щелочь — с карбоксильными. Диссоциация белков незначительна, поэтому концентрация ионов водорода остается неизменной, а титруемая кислотность повышается, т. к. при ее определении в реакцию со щелочью вступают активные и связанные ионы водорода. Изменение рН при накоплении молочной кислоты в молоке произойдет только тогда, когда будут использованы все аминные группы белков [20].

Буферные свойства фосфорнокислых солей проявляются постепенным переходом двузамещенных фосфатов в однозамещенные с ростом концентрации кислоты, а так как анион H_2PO_4^- слабо диссоциирует, то этот процесс практически не изменяет рН среды, хотя титруемая кислотность будет возрастать. И рН не будет повышаться до тех пор, пока двузамещенные фосфаты не перейдут в однозамещенные. Аналогичными буферными свойствами обладают бикарбонаты и цитраты молока [20].

Буферная способность характеризуется буферной емкостью — количеством 0,1 н раствора кислоты или щелочи, которое необходимо прибавить, чтобы изменить величину рН на единицу. Буферная емкость молока по кислоте при рН 4,5–5,5 составляет 2,34–2,70 мл, по щелочи — 1,2–1,4 мл, то есть по отношению к кислоте молоко обладает значительно большей буферной емкостью, чем по отношению к щелочи [20].

Биохимическая обработка молока приводит к уменьшению значений рН пищевого продукта вследствие накопления молочной и других кислот, спиртов и т. д. Полученные значения активной кислотности образцов отечественных йогуртов, в общем, согласовывались с приведенными в литературных источниках и полученными нами ранее [1, 11–14, 27, 28, 30].

Значения доли свободной влаги биойогуртов приближались к данным характерным для сырого коровьего молока [22]. Несмотря на повышенное содержание сухих веществ в биойогуртах, значение показателя «активность воды» было немного выше, чем указанное в литературных источниках [13]. Однако полученные результаты соотносились с [27, 28].

Влагосодержание образцов отечественных биойогуртов зависит от жирности конечного пищевого продукта и содержания СОМО, минимальные требования к которому определены техническими нормативными правовыми актами [2–5]. Полученные значения массовой доли влаги сопоставимы с [14, 27, 28].

В общем, средние значения и разбросы средних значений массовой доли сухих обезжиренных веществ молока соответствовали требованиям, за исключением нескольких случаев в готовых про-

дуктах производителей II и IV. Несоответствия у производителя II были обнаружены в выпущенных биоигуртах под заказ и новой под новой торговой марке. Таким образом, продукты данных производителей только появились на отечественном рынке. Очевидно пониженное содержание СОМО связано с применяемым сырьем. Стоит отметить, что вскоре эта проблема была устранена изготовителем IV и дальнейшие партии биоигуртов соответствовали требованиям национального стандарта. Однако данные обстоятельства повлияли на итоговое среднее значение СОМО производителя IV в меньшую сторону как и минимально зафиксированное значение данного показателя у производителя II.

По сравнению с образцами готовых пищевых продуктов других изготовителей биоигурты производителя I обладали примечательными результатами следующих показателей: активная кислотность, температура заморзания, влажности и СОМО. По консистенции продукт был намного гуще, чем у остальных производителей, что, очевидно, повлияло и на полученные результаты отдельных физических показателей. Исследования образцов данного изготовителя показали самые высокие средние значения pH и СОМО, низкие — значения температуры заморзания и влажности. При этом средние значения титруемой кислотности находились ближе к нижним средним значениям указанного показателя. Хотя разброс полученных средних значений титруемой кислотности за все время исследований стремился к наибольшему. Учитывая густую консистенцию, максимальное среднее значение СОМО и минимальное среднее значение температуры заморзания, можно сделать вывод о наличии в составе готового продукта большего количества сухого молока по сравнению с другими йогуртами, обогащенными бифидобактериями, иных отечественных производителей.

Биоигурты, изготовленные производителем IV, продемонстрировали ярко выраженные наибольшие за весь период исследований средние значения титруемой кислотности, удельной электропроводности, доли свободной влаги и влажности и наименьшие средние значения активной кислотности и СОМО. Причем полученные в результате таких исследований средние значения физико-химических показателей преимущественно находились в узком диапазоне.

В образцах готового пищевого продукта производителя II было установлено минимальное среднее значение титруемой кислотности, удельной электропроводности и показателя «активность воды», максимальные средние значения температуры заморзания и многочисленные случаи максимальных разбросов полученных средних результатов в период проведения исследований. Хотя диапазон средних значений удельной электропроводности оставался узким по сравнению с образцами других изготовителей.

Стоит отметить минимальный разброс средних значений титруемой кислотности, влажности и СОМО и максимальный интервал — среди разброса средних значений активной кислотности в биоигуртах производителя III.

Во всех остальных случаях средние значения полученных физико-химических показателей йогуртов, обогащенных бифидобактериями, показали промежуточные варианты. Вместе с тем, по отсутствию экстремальных разбросов значений рассматриваемых физико-химических показателей обогащенного пищевого продукта изготовителя I можно сделать вывод о хорошо налаженном технологическом процессе производства продукта, начиная от используемого молока-сырья и до выпуска готового биоигурта.

В целом, большой разброс значений исследуемых физико-химических показателей, обнаруженный для образцов разных производителей, очевидно, связан с составом и качеством применяемого сырья, заквасочных культур микроорганизмов, а также технологическими особенностями производства на предприятиях.

В большинстве случаев с учетом предела допустимой погрешности результатов измерений полученные значения физико-химических показателей пищевых продуктов находились в определенных интервалах, которые сведены в табл. 6.

Из табл. 6 видно, что по всем показателям получены узкие доверительные интервалы, следовательно, получены точные оценки вероятных значений для анализируемых физико-химических показателей.

Стоит отметить, что для каждого изготовителя кисломолочного пищевого продукта характерен собственный доверительный интервал по исследуемым физико-химическим показателям (табл. 7). Установленные доверительные интервалы по показателям каждого наименования пищевого продукта также находились в узком диапазоне, за исключением показателя «активность воды» биоигуртов производителей II и III. Очевидно в связи с налаживанием производственной линии, подбором сырья и иных составляющих это приводило к резким перепадам полученных средних значений данного показателя.

Следует подчеркнуть, что несмотря на разный состав применяемого молока-сырья, стабилизационных систем, заквасочных культур микроорганизмов, возможностей производственных линий и технологических приемов создания готового продукта, на каждом заводе наблюдаются подобные гра-

ницы доверительных интервалов по каждому из исследуемых физико-химических показателей. По-видимому, применение большего количества сухого молока при производстве готового пищевого продукта производителем I по сравнению с остальными изготовителями привело к ощутимым отличиям в температуре заморозки, влажности и СОМО.

Таблица 6. Установленные интервалы значений физико-химических показателей биоогуртов совместно по всем производителям

Table 6. Intervals of values of physical and chemical properties of biooghurts in total for all manufacturers

Показатель	Фактические крайние средние значения по показателям	Границы доверительного интервала при уровне значимости 0,05
Температура заморозки, °C	-0,950...-0,700	-0,848...-0,835
Титруемая кислотность, °T	73,0...128,0	105,6...110,9
Удельная электропроводность, мСм/см	6,06...8,03	7,14...7,30
pH	3,79...4,57	4,10...4,17
a_w	0,938...1,000	0,982...0,991
Содержание влаги, %	85,38...89,44	87,19...87,68
СОМО, %	9,06...12,62	10,66...11,09

Таблица 7. Установленные интервалы значений физико-химических показателей биоогуртов по каждому производителю в отдельности

Table 7. Intervals of values of physical and chemical properties of biooghurts for each manufacturers separately

Показатель	Границы доверительного интервала по каждому производителю биоогурта при уровне значимости 0,05			
	I	II	III	IV
Температура заморозки, °C	-0,908...-0,900	-0,808...-0,784	-0,808...-0,796	-0,816...-0,804
Титруемая кислотность, °T	104,4...114,2	94,2...108,8	98,0...109,0	107,9...115,6
Удельная электропроводность, мСм/см	7,17...7,47	6,83...7,10	6,82...7,13	7,41...7,66
pH	4,25...4,35	4,10...4,20	4,11...4,28	3,88...3,93
a_w	0,984...0,992	0,965...0,993	0,977...0,994	0,991...0,999
Содержание влаги, %	85,84...86,04	87,19...87,79	87,57...87,90	88,90...89,14
СОМО, %	11,96...12,16	10,71...11,31	10,26...10,81	9,36...9,60

Для определения возможных взаимосвязей между исследованными показателями нами проведен соответствующий поиск как для каждого производителя биоогуртов в отдельности, так и по всем изготовителям совместно. Кроме того, проведены дополнительные исследования влияния даты изготовления на значения некоторых физико-химических показателей всех производителей одновременно и по отдельности.

Нахождение зависимостей осуществлялось до получения максимальных значений величины достоверности аппроксимации по следующим видам зависимостей: линейной, экспоненциальной, логарифмической, степенной и полиномиальной.

Наилучшие результаты проанализированных зависимостей, где величина достоверности аппроксимации была больше 0,75, с соответствующими функциями, а также обнаруженные зависимости (при условии, что хотя бы $R^2 > 0,5$), характерные для биоогуртов всех производителей вместе взятых, отражены в табл. 8.

Значения величины достоверности аппроксимации больше 0,5 были выбраны с целью поиска всех приемлемых моделей и истолкования качественной характеристики силы связи при использовании шкалы Чеддока как «высокая» и «весьма высокая».

Рассмотренные физико-химические показатели биоогуртов, изготовленных в разные периоды времени, изменялись не равномерно. Приблизительно в 2015 году были достигнуты минимальные значения титруемой кислотности образцов кисломолочного продукта. Доля свободной влаги готовых кисломолочных обогащенных пищевых продуктов чаще всего находилась ближе к максимальным значениям, но в последнее время показатель «активность воды» стремится к минимальным значе-

ниям за весь период наблюдений. В целом, наблюдались широкий диапазон значений температуры заморозки, влажности, СОМО и узкий диапазон значений удельной электропроводности, pH йогуртов, обогащенных бифидобактериями в рассматриваемом периоде.

Не обнаружено изменений используемых показателей в процессе хранения образцов в закрытой потребительской таре (в пределах срока годности), что показывает на прекращение ферментной активности после упаковки. Очевидно, в продуктах, несмотря на отсутствие термообработки, содержалось крайне мало микроорганизмов, способных привести к его порче, а степень ферментации оказалась достаточно высокой, чтобы прекратить дальнейшее образование молочной и др. кислот.

Из табл. 8 видно, что на производство кисломолочного продукта с повышенным содержанием сухих обезжиренных веществ молока и обогащенного бифидобактериями влияло множество различных факторов. Причем даже анализ как двух биойогуртов определенного изготовителя одной партии, так и с разницей в 10 дней могли приводить к широкому несопоставимому разбросу отдельных полученных результатов испытаний.

Таблица 8. Уравнения выявленных зависимостей
Table 8. Dependency equations

Номер производителя биойогурта	Вид зависимости	Вид уравнения	R ²
III	Удельная электропроводность от температуры заморозки	$y = 0,0147x^2 - 0,2646x + 0,32$	0,828
II	Удельная электропроводность от титруемой кислотности	$y = 26,316x - 79,371$	0,525
III	Влажность от температуры заморозки	$y = 0,114x^2 - 19,909x + 868,11$	0,546
IV	Влажность от удельной электропроводности	$y = -1,8952x^2 + 337,67x - 15033$	0,585
I	Влажность от pH	$y = 0,5298x^2 - 91,449x + 3950,7$	0,606
II	Влажность от pH	$y = 0,1509x^2 - 26,443x + 1162,1$	0,697
III	Влажность от pH	$y = -2,1247x^2 + 372,22x - 16297$	0,506
III	Влажность от показателя «активность воды»	$y = -0,1338x^2 + 23,419x - 1023,5$	0,604
III	СОМО от титруемой кислотности	$y = 23,296x^2 - 486,49x + 2632,6$	0,517
IV	СОМО от удельной электропроводности	$y = -1,8952x^2 + 35,69x - 160,3$	0,585
I	СОМО от pH	$y = 0,5298x^2 - 12,385x + 76,499$	0,606
II	СОМО от pH	$y = 0,1509x^2 - 3,2932x + 22,007$	0,697
III	СОМО от pH	$y = -2,1247x^2 + 46,355x - 248,36$	0,506
III	СОМО от показателя «активность воды»	$y = -0,1338x^2 + 2,9471x - 15,215$	0,604
I, II, III, IV	Влажность от температуры заморозки	$y = -0,0146x^2 + 2,5824x - 115,29$	0,633
I, II, III, IV	СОМО от температуры заморозки	$y = -0,0203x^2 + 0,4005x - 2,7608$	0,556

Учитывая, что образцы обогащенных йогуртов производителя III показали один вид зависимости и величину достоверности аппроксимации от 0,506 до 0,604 семь раз можно сделать вывод об улучшении в последние годы качественного состава сырьевой базы предприятия.

В последние годы изготовители биойогуртов стремятся сделать продукт более привлекательным для потребителя путем повышения содержания сухих обезжиренных веществ молока для придания продукту густой консистенции. Из табл. 8 видно, что данное обстоятельство нелинейно отражается и на температуре заморозки образцов.

По титруемой кислотности можно рассчитать приблизительное количество образовавшейся молочной кислоты в йогуртах [22], которая формирует белковый сгусток и придает кисломолочным продуктам приятный вкус. Согласно литературным данным существуют следующие способы приблизительной оценки массовой доли молочной кислоты в готовом кисломолочном продукте [1, 22]:

- ♦ 1°Т соответствует 0,009 г молочной кислоты в 100 см³ продукта,
- ♦ от конечного значения титруемой кислотности следует отнять 17,5°Т и полученную разницу, которая обусловлена молочной кислотой образовавшейся в процессе сквашивания, умножают на

0,009 и получают массу молочной кислоты в 100 см³ продукта. При делении на значение плотности получают массовую долю молочной кислоты в продукте.

Кроме того, в [1] предложена таблица, которая отражает прямую зависимость между титруемой кислотностью и процентным содержанием молочной кислоты: 1°Т соответствует 0,0090% молочной кислоты.

В [31, 32] описан способ нахождения температуры замерзания по молочной кислоте в процессе скисания сырого молока. Данный способ применялся для оценки качества исходного сырого молока и для учета этого обстоятельства при проведении процессов, связанных с длительной выдержкой молока. Для нахождения температуры замерзания по молочной кислоте в процессе скисания сырого молока рекомендуется на каждый градус Тернера свыше 17,5°Т, что принято за нормальную кислотность для сырого молока, полученную первоначальную величину температуры замерзания повышать на 0,0025°С. Величина рассчитанной температуры замерзания биоигуртов таким способом будет стремиться к нулю, что совершенно противоречит [20, 22, 27, 28]. Справочные данные о понижении температуры замерзания веществ хорошо представлены для водных растворов хлоридов калия и натрия, некоторых других неорганических и органических веществ. Однако в литературных источниках отсутствует информация о понижении температуры замерзания молочной кислоты [33].

Не обнаружена зависимость значений температуры замерзания от массовой доли молочной кислоты в кисломолочных продуктах, описанная в литературных источниках [1, 31, 32]. Расчетные значения и результаты прямых измерений в нашем случае демонстрировали различия до 0,3°С, что представлялось не приемлемым. Вероятно, достаточно убедительная модель связи физико-химических характеристик таких сложных продуктов требует учета дополнительных факторов, а результаты, подобные полученным в работах [31, 32] или нами (табл. 8), можно использовать лишь для ограниченного класса объектов (продуктов, предприятий и иных условий). Скорее всего, такая модель будет представлять собой семейство параметрических линий или, по меньшей мере, функцию с двумя или тремя аргументами.

Экспериментально нами было получено иное значение понижения температуры замерзания при увеличении титруемой кислотности на каждый градус Тернера свыше 17,5°Т, что принято за нормальную кислотность для сырого молока, которое составило 0,0023°С, а увеличение доли сухих обезжиренных веществ молока на каждый грамм свыше 8,5 г, принятое за СОМО сборного молока, приводит к понижению температуры замерзания на 0,0531°С. При таком способе расчета удалось добиться разницы между экспериментально полученными значениями температуры замерзания биоигуртов и рассчитанными до 0,15°С. Тем не менее нами и в дальнейшем будут проводиться работы по улучшению данного результата.

Заключение. Нормируемые физико-химические показатели исследованных образцов биоигуртов четырех производителей находятся в пределах существующих требований, в том числе в процессе хранения в закрытой потребительской таре в течение всего срока годности при значительном их разбросе для различных предприятий. Остальные ненормируемые показатели согласовывались с полученными нами ранее данными и литературными источниками.

Как правило, зависимость между измеренными значениями разных показателей отсутствует. Однако, каждым изготовителем при неизменности технологического процесса изготовления продукции, рецептуры и видового состава заквасочных культур микроорганизмов возможно установления единожды взаимосвязи между желаемыми характеристиками того или иного показателя биоигурта, а также внедрения в повседневную практику мониторинга этой величины в ходе технологического процесса.

Способы расчета молочной кислоты по титруемой кислотности и по ней температуры замерзания плохо отражают полученные экспериментальные данные и требуют дальнейшего поиска влияющих факторов.

Список использованных источников

1. Тамим, А. Й. Йогурт и другие кисломолочные продукты: научные основы и технологии / А. Й. Тамим, Р. К. Робинсон; пер. с англ. под науч. ред. Л. А. Забодаловой. — СПб.: Профессия, 2003. — 664 с.
2. Продукты молочные. Йогурты. Общие технические условия: СТБ 1552-2005 (ГОСТ Р 51331-99). — Введ. 01.01.2006 (введен впервые). — Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2005. — 55 с.
3. Йогурты. Общие технические условия: СТБ 1552-2017. — Введ. 01.10.2017 (взамен СТБ 1552-2012). — Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. — 27 с.

4. Йогурты. Общие технические условия: СТБ 1552-2012. — Введ. 01.07.2012 (взамен СТБ 1552-2005 (ГОСТ Р 51331-99)). — Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012. — 28 с.
5. О безопасности молока и молочной продукции: ТР ТС 033/2013. — Введ. 01.05.2014 (введен впервые). — Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2013. — 108 с.
6. Молоко и продукты переработки молока. Термины и определения: СТБ 1744-2007. — Введ. 01.10.2007 (введен впервые с отменой на территории РБ ГОСТ 17164-71 в части применения терминов 1-70). — Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. — 16 с.
7. Молоко и продукты переработки молока. Термины и определения: СТБ 2530-2018. — Введ. 01.02.2019 (взамен СТБ 1744-2007, СТБ 1748-2007). — Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. — 31 с.
8. Пищевые волокна / М.С. Дудкин [и др.]. — Киев: Урожай, 1988. — С. 33–35.
9. Шейфель, О. А. Пищевые добавки, используемые в молочной промышленности: конспект лекций / О. А. Шейфель. — Кемерово: КемТИПП, 2005. — С. 32–39.
10. Атлас. Морфология крахмала и крахмалопродуктов / В. В. Литвяк [и др.]. — Минск: Беларус. навука, 2013. — С. 12–13.
11. *Tomovska, J.* Examination of pH, Titratable Acidity and Antioxidant Activity in Fermented Milk / J. Tomovska, N. Gjorgievski, B. Makarijoski // J. of Materials Science and Engineering A 6. — 2016. — № 11-12. — P. 326–333. DOI: 10.17265/2161-6213/2016.11-12.006.
12. *Soukoulis, C.* Industrial Yogurt Manufacture: Monitoring of Fermentation Process and Improvement of Final Product Quality / C. Soukoulis, P. Panagiotidis, R. Koureli, C. Tzia // J. Dairy Sci. — 2007. — Vol. 90, № 6. — P. 2641–2654. DOI: 10.3168/jds.2006-802.
13. *Brodziak, A.* Changes in the Physicochemical Parameters of Yoghurts with Added Whey Protein in Relation to the Starter Bacteria Strains and Storage Time / A. Brodziak, J. Król, J. Barłowska, A. Teter, M. Florek // J. Animals. — 2020. — Vol. 10. — P. 1350–1370. DOI: 10.3390/ani10081350.
14. *Ferreiro, J. L.* Chemical and Microbiological Quality Evaluation of Yoghurt Produced and Marketed in Chimoio, Mozambique / J. L. Ferreiro, G. M. Pitrosse // Food Nutr. J. — 2018. — Vol. 3, iss. 01. — P. 163–167. DOI: 10.29011/2575-7091.100063.
15. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности: ГОСТ 3624-92. — Введ. 01.01.94 (взамен ГОСТ 3624-67). — Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. — 12 с.
16. Изучение активности воды в жирных молочных продуктах: отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. технол. университет; рук. С. С. Ветохин; исполн.: А. А. Галиновский [и др.]. — Минск, 2010. — 69 с. — № ГР 20091078.
17. Ветохин, С. С. Определение активности воды молочных продуктов / С. С. Ветохин, И. В. Подорожная, И. В. Ненартович // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология орган. в-в и биотехнология. — 2012. — Вып. XX. — С. 25–28.
18. Изучение влияния условий измерений на величину активности воды / С. С. Ветохин [и др.] // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология орган. в-в и биотехнология. — 2010. — Вып. XVIII. — С. 248–251.
19. Ветохин, С. С. Инертные наполнители при измерении активности воды / С. С. Ветохин, И. В. Подорожная, И. В. Ненартович // Труды БГТУ. — 2013. — №4 (160): Химия, технология орган. в-в и биотехнология. — С. 72–74.
20. Твердохлеб, Г. В. Химия и физика молока и молочных продуктов / Г. В. Твердохлеб, Р. И. Рама-наускас. — М.: ДеЛи принт, 2006. — С. 139–242.
21. Богатова, О. В. Химия и физика молока: учеб. пособие / О. В. Богатова, Н. Г. Догарева. — Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. — С. 65–72.
22. Тёпел, А. Химия и физика молока / А. Тёпел; пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С. А. Фильчаковой. — СПб.: Профессия, 2012. — 832 с.
23. Вожадаева, Л. И. Общая технология молочной отрасли: учеб. пособие / Л. И. Вожадаева, Т. В. Котова. — Кемерово: КемТИПП, 2006. — С. 21–23.
24. Горбатова, К. К. Химия и физика молока: учебник для вузов / К. К. Горбатова. — СПб.: ГИОРД, 2004. — С. 170–182.
25. Горбатова, К. К. Химия и физика молока и молочных продуктов / К. К. Горбатова, П. И. Гунькова; под общ. ред. К. К. Горбатовой. — СПб.: ГИОРД, 2012. — С. 94–130.
26. Подорожная, И. В. Изучение зависимости точки замерзания молочных продуктов от состава: дис. ... маг. техн. наук: 1-38 80 06 / И. В. Подорожная. — Минск, 2010. — С. 47–48.
27. Ветохин, С. С. Анализ биохимически обработанного молока экспресс-методами / С. С. Ветохин, И. В. Подорожная // Качество продукции, технологий и образования: материалы VIII-й Международ. науч.-практич. конф., Магнитогорск, 23 апреля 2013 г. / Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова; редкол.: Н. И. Барышникова [и др.]. — Магнитогорск, 2013. — С. 40–44.
28. *Podorozhnyaya, I. V.* Investigation of Freezing Point of Some Belarussian Dairy Products / I. V. Podorozhnyaya, S. S. Vetokhin // Industrial Technology and Engineering J. — 2015. — №4 (17). — P. 86–90.

29. Молоко коровье сырое. Технические условия: СТБ 1598-2006. — Введ. 01.08.2006 (введен впервые с отменой на территории РБ ГОСТ 13264-88). — Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015. — 18 с.
30. Обер, С. Создание идеального резервуарного йогурта — однородного и сливочного / С. Обер, В. Маяускайте // Молочная промышленность. — 2015. — № 7. — С. 16–17.
31. Строкач, Д. А. Исследование и разработка технологий молочных продуктов с регулируемым углеводным составом : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Д. А. Строкач. — СПб., 2004. — 113 л.
32. Арсеньева, Т. П. Развитие теоретических основ и разработка технологий низколактозных молочных продуктов с регулируемым жирнокислотным составом : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.04 / Т. П. Арсеньева. — СПб, 2008. — 456 л.
33. Новый справочник химика и технолога. Химическое равновесие. Свойства растворов: справочное издание / А. В. Зинченко [и др.]. — СПб. : АНО НПО «Профессионал», 2004. — С 382–396.

References

1. Tamim A. J., Robinson R. K. Jogurt i drugie kislomolochnye produkty: nauchnye osnovy i tekhnologii [Yoghurt. Science and Technology]. St. Petersburg, Professija Publ., 2003. 664 p. (in Russian).
2. STB 1552-2005 (GOST R 51331-99). Produkty molochnye. Jogurty. Obshchie tekhnicheskie usloviya [State Standard 1552-2005 (Russian State Standard 51331-99). Yoghurts. General Specifications]. Minsk, Belarusian Gos. Institute of Standardization and Certification Publ., 2005. 55 p. (in Russian).
3. STB 1552-2017. Jogurty. Obshchie tekhnicheskie usloviya [State Standard 1552-2017. Yoghurts. General Specifications]. Minsk, Belarusian Gos. Institute of Standardization and Certification Publ., 2017. 27 p. (in Russian).
4. STB 1552-2012. Jogurty. Obshchie tekhnicheskie usloviya [State Standard 1552-2012. Yoghurts. General Specifications]. Minsk, Belarusian Gos. Institute of Standardization and Certification Publ., 2012. 28 p. (in Russian).
5. TR TS 033/2013. O bezopasnosti moloka i molochnoj produkcii [Technical Regulation of the Customs Union 033/2013. On Safety of Milk and Dairy Products]. Minsk, Belarusian Gos. Institute of Standardization and Certification Publ., 2013. 108 p. (in Russian).
6. STB 1744-2007. Moloko i produkty pererabotki moloka. Terminy i opredeleniya [State Standard 1744-2007. Milk and Products of Milk Processing. Terms and Definitions]. Minsk, Belarusian Gos. Institute of Standardization and Certification Publ., 2007. 16 p. (in Russian).
7. STB 2530-2018. Moloko i produkty pererabotki moloka. Terminy i opredeleniya [State Standard 2530-2018. Milk and Products of Milk Processing. Terms and Definitions]. Minsk, Belarusian Gos. Institute of Standardization and Certification Publ., 2018. 31 p. (in Russian).
8. Dudkin M. S. Pishchevye volokna [Food fibers]. Kiev, Urozhaj Publ., 1988. Pp. 33–35. (in Russian).
9. Shejfel O. A. Pishchevye dobavki, ispol'zuemye v molochnoj promyshlennosti [Food Additives in Dairy Industry]. Kemerovo: KemIFST Publ., 2005. Pp. 32–39. (in Russian).
10. Litvyak V. V. Atlas. Morfologiya krahmala i krahmaloproduktov [Atlas. Morphology of starch and starch products]. Minsk, Belarus. Navuka Publ., 2013. Pp. 12–13. (in Russian).
11. Tomovska J., Gjorgievski N., Makarijoski B. Examination of pH, Titratable Acidity and Antioxidant Activity in Fermented Milk. J. of Materials Science and Engineering A 6, 2016, № 11-12, pp. 326–333.
12. Soukoulis C., Panagiotidis P., Koureli R., Tzia C. Industrial Yogurt Manufacture: Monitoring of Fermentation Process and Improvement of Final Product Quality. J. Dairy Sci., 2007, Vol. 90, № 6, pp. 2641–2654.
13. Brodziak A., Król J., Barłowska J., Teter A., Florek M. Changes in the Physicochemical Parameters of Yoghurts with Added Whey Protein in Relation to the Starter Bacteria Strains and Storage Time. J. Animals, 2020, Vol. 10, pp. 1350–1370.
14. Ferro J. L., Pitrosse G. M. Chemical and Microbiological Quality Evaluation of Yoghurt Produced and Marketed in Chimoio, Mozambique, Food Nutr. J., 2018, Vol. 3, iss. 01, pp. 163–167.
15. GOST 3624-92. Moloko i molochnye produkty. Titrimetricheskie metody opredeleniya kislornosti [State Standard 3624-92. Milk and milk products. Titrimetric methods of acidity determination]. Minsk, Belarusian Gos. Institute of Standardization and Certification Publ., 2007. 12 p. (in Russian).
16. Vetokhin S. S., Nenartovich I. V., Galinovskij A. A., Podorozhniaya I. V. Izuchenie aktivnosti vody v zhirnyh molochnyh produktah : otchet o NIR (zaklyuch.) [Study of water activity in fatty dairy products: research report (conclusion)]. Minsk, 2010, 69 p., № GR 20091078. (in Russian).
17. Vetokhin S. S., Podorozhniaya I. V., Nenartovich I. V. Opredelenie aktivnosti vody molochnyh produktov [Determination of the water activity of dairy products]. Trudy BGTU = Proceedings of BSTU, 2012, ed. XX, pp. 25–28. (in Russian).
18. Vetokhin S. S., Nenartovich I. V., Galinovskij A. A., Podorozhnyaya I. V., Lepekho D. N. Izuchenie vliyaniya uslovij izmerenij na velichinu aktivnosti vody [Study of the influence of measurement conditions

- on the value of water activity]. Trudy BGTU = Proceedings of BSTU, 2010, ed. XVIII, pp. 248–251. (in Russian).
19. Vektokhin S. S., Podorozhniaya I. V., Nenartovich I. V. Inertnye napolniteli pri izmerenii aktivnosti vody [Inert fillers for measuring water activity]. Trudy BGTU = Proceedings of BSTU, 2013, № 4 (160), pp. 72–74. (in Russian).
 20. Tverdohleb G. V., Ramanauskas R. I. Himiya i fizika moloka i molochnyh produktov [Chemistry and Physics of Milk and Dairy Products]. Moscow, DeLi Print Publ., 2006. pp. 139–265. (in Russian).
 21. Bogatova O. V., Dogareva N. G. Himiya i fizika moloka [Chemistry and Physics of Milk]. Orenburg, GOU OGU Publ., 2004. pp. 65–71. (in Russian).
 22. Tyopel A. Himiya i fizika moloka [Chemistry and Physics of Milk]. St. Petersburg, Professija Publ., 2012. 832 p. (in Russian).
 23. Vozhdaeva L. I., Vozhdaeva L. I., Kotova T. V. Obshchaya tekhnologiya molochnoj otrasli [General technology of the dairy industry]. Kemerovo, KemIFST Publ., 2006. pp. 21–23. (in Russian).
 24. Gorbatova K. K. Himiya i fizika moloka [Chemistry and Physics of Milk]. St. Petersburg, GIOR Publ., 2004. pp. 170–182. (in Russian).
 25. Gorbatova K. K. Himiya i fizika moloka i molochnyh produktov [Chemistry and Physics of Milk and Dairy Products]. St. Petersburg, GIOR Publ., 2012. pp. 94–130. (in Russian).
 26. Podorozhniaya I. V. Izuchenie zavisimosti tochki zamerzaniya molochnyh produktov ot sostava. Diss. master tekhn. nauk [Study of the dependence of the freezing point of dairy products on the composition. Master engineering sci. diss.]. Minsk, 2010, pp. 47–48. (in Russian).
 27. Vetokhin S. S., Podorozhniaya I. V. Analiz biohimicheski obrabotannogo moloka ekspress-metodami [Analysis of biochemically processed milk by express methods]. Materialy VIII-j Mezhdunarod. nauch.-praktich. konf. «Kachestvo produkci, tekhnologii i obrazovaniya» [Materials of the VIII-th International Scientific and Practical Conf. «Quality of products, technologies and education»]. Magnitogorsk, 2013, pp. 40–44. (in Russian).
 28. Podorozhniaya I. V., Vetokhin S. S. Investigation of Freezing Point of Some Belarussian Dairy Products. Industrial Technology and Engineering J., 2015, № 4 (17), pp. 86–90.
 29. STB 1598-2006. Moloko korov'e syroe. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 1598-2006. Raw cow's milk. Specifications]. Minsk, Belarussian Gos. Institute of Standardization and Certification Publ., 2015. 18 p. (in Russian).
 30. Ober S., Mayauskajte V. Sozdanie ideal'nogo rezervuarnogo jogurta — odnorodnogo i slivochnogo [Creation of an ideal tank yoghurt — homogeneous and creamy]. Molochnaya promyshlennost' = Dairy Industry, 2015, № 7, pp. 16–17. (in Russian).
 31. Stokach D. A. Issledovanie i razrabotka tekhnologij molochnyh produktov s reguliruемым uglevodnym sostavom. Diss. kand. techn. nauk [Research and development of technologies for dairy products with controlled carbohydrate composition. PhD engineering sci. diss.]. St. Petersburg, 2004. 113 p. (in Russian).
 32. Arsen'eva T. P. Razvitie teoreticheskikh osnov i razrabotka tekhnologij nizkolaktoznyh molochnyh produktov s reguliruемым zhirnokislotsnym sostavom. Diss. dokt. techn. nauk [Development of theoretical foundations and development of technologies for low-lactose dairy products with controlled fatty acid composition. Dr. engineering sci. diss.]. St. Petersburg, 2008. 456 p. (in Russian).
 33. Zinchenko A. V. Novyj spravochnik himika i tehnologa. Himicheskoe ravновесие. Svoystva rastvorov [New handbook of chemist and technologist. Chemical equilibrium. Properties of solutions]. St. Petersburg, ANO NPO «Professional» Publ., 2004. Pp. 382–396. (in Russian).

Информация об авторах

Подорожная Ирина Викторовна — магистр технических наук, младший научный сотрудник ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» (220141, г. Минск, ул. Франциска Скорины, 52, 423, Республика Беларусь). E-mail: iaya@tut.by

Ветохин Сергей Сергеевич — кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физико-химических методов сертификации продукции учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: veto@belstu.by

Information about authors

Podorozhniaya Irina V. — Master of Engineering, Junior Researcher, Instrument-making Factory Optron (423, 52, F. Skoriny Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: iaya@tut.by

Vetokhin Siarhei S. — PhD (Physics and Mathematics), Head of the Department of Physical-Chemical Methods of Products Certification, Belarussian State Technological University (13a, Sverdlova Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: veto@belstu.by