

## ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА БИОСИНТЕЗ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДОВ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ КЕФИРНОГО ГРИБКА

**В.В. Ботвинникова<sup>1</sup>, И.В. Калинина<sup>1</sup>, И.Ю. Потороко<sup>1</sup>,  
Н.В. Попова<sup>1</sup>, О.Н. Красуля<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

<sup>2</sup> Московский государственный университет технологий и управления

им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет) (г. Москва), г. Москва

Одним из важных направлений развития пищевой промышленности Российской Федерации является внедрение инновационных методов в технологии переработки молочного сырья. Ультразвуковая кавитация является одной из перспективных технологий обработки молочного сырья для молочной промышленности. В качестве объектов исследования были выбраны кисломолочные продукты, в основе производства которых использовали восстановленное при помощи ультразвукового воздействия молочное сырье. Исследования показали, что сквашивание кефиров на закваске кефирного грибка протекало интенсивнее, чем в остальных образцах: через  $(6 \pm 0,5)$  часов сквашивания титруемая кислотность смеси достигла  $(85 \pm 2)$  °Т. Интенсивное нарастание титруемой кислотности позволяет сократить процесс сквашивания на 2–3 часа. Применение ультразвуковой кавитации на этапе подготовки молочного сырья к сквашиванию влияет на устойчивость сгустка к самопроизвольному уплотнению структуры: наибольший объем отделившейся сыворотки наблюдался у образцов, молоко для которых обрабатывалось в режиме УЗВ (мощность 60 %, длительность 3 минуты). Результаты исследований показали, что применение УЗВ в режиме 3 минуты при 30 % мощности для обработки сырого молока в технологии кефира, полученного с применением закваски кефирного грибка, снизило отделение сыворотки от сгустка в 1,4 раза, а для кисломолочного напитка на основе комбинированной закваски – в 1,5 раза. При микроскопировании фиксированных препаратов выявлено, что сгустки, полученные на основе симбиотической закваски кефирного грибка, характеризуются однородной консистенцией с меньшими агрегатами молочного белка и большим количеством комплексов белка небольшого размера, по сравнению с образцами, полученными на основе комбинированной закваски, содержащей культуры *Lac. lactis*, *Lac. cremoris*, *Leu. cremoris*, *Lactobacillus kefir*, *Acetobacter subsp. aceti*, *Saccharomyces lactis*. Динамика накопления кефирана в кисломолочных напитках находится в прямой зависимости от режимов УЗВ и активности заквасочных культур. Таким образом, накопление растворимых полисахаридов в кисломолочных напитках, как фактора, определяющего их функциональные свойства, необходимо регулировать режимами ультразвукового воздействия.

**Ключевые слова:** пищевые продукты, функциональные продукты питания, ультразвуковое воздействие, полисахарид кефиран.

### Введение

В настоящее время исследования в области питания направлены не только на разработку норм количественного потребления продуктов питания, но и на обоснование качественных аспектов, основу которых составляют принципы сбалансированности питания. Мировое научное сообщество рассматривает кисломолочные продукты в качестве основы здорового питания человека, способствующей сохранению здоровья, предупреждению ряда заболеваний и увеличению продолжительности

жизни [1, 3, 15]. Наряду с благоприятным влиянием на нормальную микрофлору кишечника, кисломолочные продукты, в том числе кефир и кефирные напитки, выполняют функции обеспечения организма необходимыми эссенциальными и биологически активными веществами.

Сообщество ученых доказано, что потребление кефира благоприятствует усвоению белка, стимулирует иммунную систему, улучшает пищеварение. Кефир обладает противовоспалительным и противоаллергическим

действием [8, 12], низким гликемическим индексом, что определяет терапевтический потенциал в лечении аллергической бронхиальной астмы и диабета, обладает противобактериальным, противоопухолевым действием.

Кефир является сложным продуктом, содержащим кроме продуктов молочнокислого и спиртового брожения живые клетки молочнокислых бактерий, дрожжи и продукты их метаболизма. Известно, что кефирные грибки являются уникальной симбиотической системой, которая представляет собой эволюционно сложившуюся ассоциативную культуру. Действительно, микроорганизмы в сообществах более устойчивы к различным воздействиям: изменениям pH, температуры, лимитированию субстратами и др. В таких сообществах между видами конкуренция обнаруживается редко. Даже когда один из видов благодаря более высокой скорости роста занимает господствующее положение, другие сохраняют жизнеспособность [2, 10, 13, 17].

Микроорганизмы кефирных грибков проявляют антагонизм по отношению к *S. albicans*, к мицелиальным грибам родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Absidia*, *Rhizopus*, *Cunninghamella*, причем ингибирующее действие на рост грибов оказывают не только микроорганизмы кефира, но и их метаболиты, образуемые в процессе культивирования. Современные исследования объясняют механизмы взаимодействия между бактериями в кефирных грибах. Две гетероферментативные бактерии *L. kefir* и *L. parakefir* обладают поверхностным белковым слоем (S-layer), чем и объясняется их способность к самоагрегации и агглютинации. Эти бактерии способны удерживаться на клетках Caco-2 (аденокарциномы толстого кишечника человека), тем самым показывая хорошие пробиотические свойства данных бактерий [8, 9, 16].

Несмотря на то, что сегодня в нашей стране среди населения все больше доминирует тенденция здорового образа жизни, тем не менее, объем потребления кефира и кефирных продуктов на душу населения составляет всего 7,4 кг в год. Хотя в соответствии с Приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 2 августа 2010 г. № 593н рациональный объем потребления кефира и кефирных продуктов на одного человека в год должен составлять порядка 36 кг в год [4].

Практически все молокоперерабатывающие предприятия осуществляют выработку кефира и кефирной продукции. В 2014 году, по сравнению с 2013-м, объем производства кефира и кефирной продукции в РФ сократился на 1,2 % в натуральном выражении, или на 12,714 тысячи тонн. Эффективному развитию российского рынка кефира и кефирных продуктов в значительной степени препятствует сезонность производства, обусловленная динамикой сырьевого рынка.

Сегодня производство кефирной продукции и кефира в основном выстроено на использовании лиофилизированных заквасок прямого внесения, так как технология производства собственных кефирных заквасок весьма кропотлива и требовательна к условиям.

Патентный поиск в области разработок, связанных с кисломолочными продуктами, показал, что около 30 % разработок приходится на кисломолочные продукты с пробиотиками, 8 % – с пребиотиками, около 20 % – разработки, связанные с использованием вторичных продуктов переработки молочного сырья, более 10 % – с биологически активными веществами и такое же количество со стабилизирующими консистенцию системами.

Так, известен способ производства кефирного напитка (патент РФ 2409962) на основе внесения кедрового жмыха в количестве 0,5 %, а также внесение сиропа лактулозы в количестве 1,0 %. Изобретение позволяет получить напиток, обладающий высокими органолептическими показателями, бифидогенными свойствами, повышенной пищевой и биологической ценностью и хранимоспособностью.

Способ ускоренного производства кефира (Патент РФ № 2010116681/10) включает сквашивание пастеризованного охлажденного молока с омагниченной напряженностью суспензией из молока и кефирной закваски.

При производстве кефира для детского и диетического питания (Патент РФ 2105485) предлагается проводить деаэрацию молока до внесения кефирной закваски и биомассы бифидобактерий.

Особый интерес представляют разработки в области исследования способов, благоприятствующих накоплению полисахаридов, продуцированных молочнокислыми микроорганизмами. Одним из таких ценных полисахаридов молочнокислых бактерий является экзополисахарид (ЭПС) кефиран, продуци-

руемый кефирными грибами, который служит матрицей для удерживания, иммобилизации клеток микробных компонентов кефирных грибов. Кефиран производится некоторыми молочнокислыми бактериями, состоит из остатков глюкозы и галактозы (рис. 1) примерно в равном соотношении (1:1). Причем это соотношение может варьироваться в зависимости от условий культивирования и географического происхождения кефирных грибов. Известно, что кефиран влияет на реологические свойства кисломолочного продукта, выполняет функции стабилизатора, эмульгатора и влагоудерживающей системы [5, 16, 18, 19].

Кефиран обладает иммуномодулирующим, противоопухолевым, противовоспалительным, противоастматическим, ранозаживляющим действием. Он способствует снижению кровяного давления и уровня холестерина в крови за счет связывания гепатоэнтерально циркулирующего холестерина в кишечнике. Обладает ингибирующим действием в отношении патогенных микроорганизмов рода *Salmonella*, *Helicobacter*, *Shigella*, *Staphylococcus*, и *Escherichiacoli* [18, 19].

Доказано, что ЭПС выступают в качестве механизма адаптации заквасочных микроорганизмов в среде молока, причем в зависимости от конкретных условий синтезируются экзополисахариды различного состава и свойств [6]. Экстракция данного минорного БАВ в промышленных масштабах и последующее его применение в технологии молочных продуктов представляется весьма сложной и дорогостоящей, поэтому интерес представляют более простые в техническом отношении методы [6, 10]. В связи с чем одним из перспективных подходов к решению различ-

ных технологических задач в пищевой отрасли является ультразвуковое кавитационное воздействие на гетерогенные пищевые среды с жидкой фазой. Применение ультразвуковых кавитационных технологий, по сравнению с известными физическими способами, имеет ряд существенных преимуществ, обусловленных совокупностью специфических эффектов, которые оказывают комплексное действие, направленное на интенсификацию технологического процесса формирования потребительских свойств. Особенности протекания акустических ультразвуковых процессов в различных средах и их результаты активно изучаются О.Н. Красулей, С.Д. Шестаковым, Н.В. Дежкуновым, А.Г. Галстяном, М. Ashokkumar, D. Knorr, K.S. Suslick и другими авторами [7, 11, 14]. Коллективом ученых под руководством Н.А. Тихомировой, ведутся разработки в области модифицирования свойств цельного молока, используемого для производства кисломолочной продукции и творога. В частности, установлено, что совместная кавитация цельного молока с некоторым количеством сухого способствует изменению его дисперсности и углеводного состава, гомогенизирует и стабилизирует структуру.

**Цель исследования** – установление влияния акустических эффектов ультразвуковой кавитации на накопление экзополисахарида кефирана и реологические свойства стустков кисломолочных напитков, ферментированных на основе кефирного грибка.

### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали модельные образцы кисломолочных напитков, подготовленные в лабораторных условиях по традиционной (ТТИ ГОСТ Р 52093-005 «Кефир») и модифицированной с

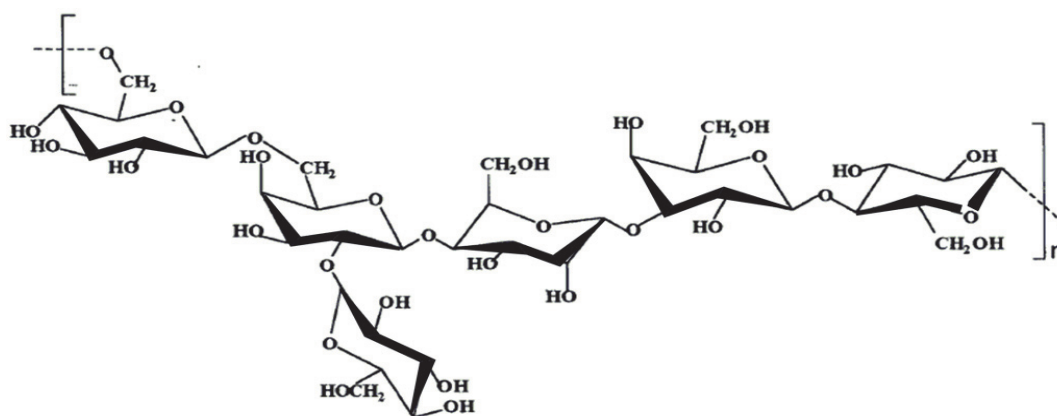


Рис. 1. Химическая структура кефирана

применением УЗВ технологий:

– кефир, полученный с применением закваски кефирного грибка (ККГ);

– кисломолочный напиток на основе закваски прямого внесения – LAT LC K, состоящая из *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactobacillus kefir*, *Acetobacter* subsp. *aceti*, *Saccharomyces lactis* в иммобилизованном виде (ККЗ);

– кисломолочный напиток на основе комбинированной закваски (ККГ+КЗ).

В качестве акустического источника упругих колебаний использовался аппарат ультразвуковой технологической «Волна» модель УЗТА-О,4/22-ОМ (частота механических колебаний  $22 \pm 1,65$  кГц).

Каждому из объектов исследования были определены условия ультразвукового воздействия с учетом вариаций по мощности (120 Вт – 30 % от паспортной, 180 Вт – 45 % от паспортной, 240 Вт – 60 % от паспортной) (табл. 1).

Таблица 1  
Характеристика условных кодов модельных образцов

Мощность обработки, Вт (% от номинальной мощности прибора)	Время обработки, мин		
	1	3	5
120 (30 %)	1-30*	3-30	5-30
180 (45 %)	1-45	3-45	5-45
240 (60 %)	1-60	3-60	5-60

\* «1-30» означает 1 минуту обработки про 30 % мощности прибора от паспортной.

В исследованиях использовались как стандартные, так и современные физико-химические, биохимические и микробиологические методы исследований.

Морфологию микрофлоры закваски изучали путем приготовления препаратов, окрашенных метиленовым синим и по Грамму, с последующим микропированием в иммерсионной системе с объективом с нанесением капель кедрового масла.

Титруемую кислотность молочного сырья и продуктов переработки определяли титриметрическим методом с применением индикатора фенолфталеина (ГОСТ 3624), активную кислотность определяли потенциометрически с помощью рН-метров: рН-150, WTW рН/Cond 340I и стеклянного электрода ЭСЛ-

15-11 в паре с хлорсеребряным ЭВЛ-1М4 (по ГОСТ 26781).

Динамическую вязкость оценивали посредством определения предельного напряжения сдвига, на вискозиметре ротационном Brookfield DV-III Ultra. Диапазон вязкости определяли от 1 мПа·с до  $6 \times 10^6$  мПа·с, диапазон скоростей – 0,01...250 об/мин. Определение степени синерезиса кисломолочных напитков осуществляется путем измерения количества сыворотки, выделившейся за 1 час свободного фильтрования 100 см<sup>3</sup> продукта.

Количественное определение полисахарида (кефирана), производимого молочнокислыми бактериями, определяли по методу, предложенному Р. Еникеевым [6].

#### Результаты и их обсуждение

Изучение влияния акустических эффектов ультразвука проводили в несколько этапов. Производственную закваску на кефирном грибке вносили в количестве 5 % от массы заквашиваемой смеси. Культивирование осуществляли при температуре ( $23 \pm 1$ ) °С в течение 10...12 часов. Последующее созревание продукта проводили в течение 10...12 часов в условиях бытового холодильника ( $t = 4...10$  °С). Комбинированную закваску, состоящую из закваски прямого внесения (сухой заквасочной культуры LAT LC K) в сочетании с закваской на кефирном грибке.

Комплексная оценка сгустков проводилась по следующим параметрам:

1) динамика процесса сквашивания – по показателю «титруемая кислотность» и показателю «активная кислотность» (рН);

2) оценка структурного состояния сгустков – по органолептическим показателям (консистенция и внешний вид); показателю «эффективная вязкость» и синеретическим свойствам сгустков (синерезис);

3) функциональные свойства – по массовой доле кефирана; составу микрофлоры (качественный и количественный состав);

Исследования титруемой и активной кислотности осуществляли через каждый час в течение всего периода сквашивания.

Процессы сквашивания протекали идентично (табл. 2), наблюдалось некоторое снижение интенсивности кислотообразования в первые два часа для образцов, полученных на основе УЗВ, а затем – активизация процесса накопления молочной кислоты.

Исследования показали, что сквашивание кефира на закваске кефирного грибка (обра-

Результаты оценки титруемой кислотности в процессе сквашивания

Наименование Режим УЗВ	Титруемая кислотность, град. Т при культивировании в течение времени, ч				
	2	4	6	8	10
Контроль ККГ	34 ± 0,02	48 ± 0,03	68 ± 0,02	80 ± 0,05	103 ± 0,02
ККГ 5-30	30 ± 0,04	43 ± 0,02	74 ± 0,04	84 ± 0,03	96 ± 0,05
ККГ 3-45	32 ± 0,03	46 ± 0,02	83 ± 0,02	92 ± 0,04	101 ± 0,04
ККГ 3-60	29 ± 0,03	43 ± 0,02	85 ± 0,03	94 ± 0,02	111 ± 0,03
Контроль ККГ+КЗ	27 ± 0,04	42 ± 0,02	68 ± 0,03	82 ± 0,03	104 ± 0,02
ККГ+КЗ 5-30	29 ± 0,04	45 ± 0,03	67 ± 0,05	83 ± 0,03	98 ± 0,05
ККГ+КЗ 3-45	32 ± 0,05	48 ± 0,04	73 ± 0,03	88 ± 0,02	106 ± 0,03
ККГ+КЗ 3-60	26 ± 0,04	45 ± 0,03	75 ± 0,04	96 ± 0,03	110 ± 0,02

зец ККГ 3-60 и ККГ 3-45) протекало интенсивнее, чем в остальных образцах. Так, через (6 ± 0,5) часов сквашивания титруемая кислотность смеси достигла (85 ± 2) °Т. Интенсивное нарастание титруемой кислотности позволяет сократить процесс сквашивания на 2–3 часа. Другие образцы сквашивались гораздо медленнее, рекомендуемый уровень титруемой кислотности (85 °Т) в сгустках ККГ 5-30 и ККГ+КЗ 5-30 был достигнут через (9 ± 0,5) часов сквашивания.

УЗВ высокой мощности обеспечивает дисперсность молочной системы и, как следствие, биодоступность белков молока к действию бактериальных ферментов. Развитие заквасочной микрофлоры и активность ферментов зависят от рН. Оптимальное значение рН для сквашенных продуктов на отдельных этапах производства составляет: начало охлаждения – 4,6–4,7; начало перемешивания 4,2–4,6; готовый продукт 4,0–4,4. Активная кислотность образцов кефира в конце сквашивания (рис. 2) достигла оптимума для всех напитков на закваске кефирного грибка (ККГ) и заквасочной смеси (ККГ+КЗ). Органолептические свойства, в том числе консистенция кисломолочных напитков, взаимосвязаны с показателем активной кислотности (рН).

Структурно-механические свойства, влагоудерживающая способность, синергетические свойства зависят в большей степени от состава молока, режимов тепловой и механической обработки. Применение ультразвуковой кавитации на этапе подготовки молочного сырья к сквашиванию повлияло на устойчи-

вость сгустка к самопроизвольному уплотнению структуры.

Так, динамика отделения сыворотки от сгустка (рис. 3) имела различную скорость, особенно это проявилось в первые 30 мин наблюдений. Средний прирост объема составлял для контроля от 5,5 до 9 мл, сгусток с режимом обработки УЗВ 3-60 для всех видов заквасок в первые пятнадцать минут слабо удерживал сыворотку, объем истечения 17 мл для ККГ и 13 мл для ККГ+КЗ.

В последующие периоды объем истечения находился в диапазоне от 4 до 2 мл. Наибольший объем отделившейся сыворотки был у образцов, молоко для которых обрабатывалось в режиме УЗВ мощность 60 %, длительность 3 минуты. Из приведенных данных видно, что применение УЗВ в режиме 3 минуты при 30 % мощности для обработки сырого молока в технологии ККГ снизило отделение сыворотки от сгустка в 1,4 раза, а для ККГ+КЗ – в 1,5 раза.

При микрокопировании экспериментальных образцов наблюдалась типичная для данных видов заквасок микрофлора, посторонних микроорганизмов не обнаружено. Вместе с тем, при микроскопировании фиксированных препаратов выявлено, что сгустки, полученные на основе симбиотической закваски КГ, характеризуются однородной консистенцией с меньшими агрегатами молочного белка и большим количеством комплексов белка небольшого размера, по сравнению с образцами, полученным на основе комбинированной закваски ККГ+КЗ, содержащий культуры

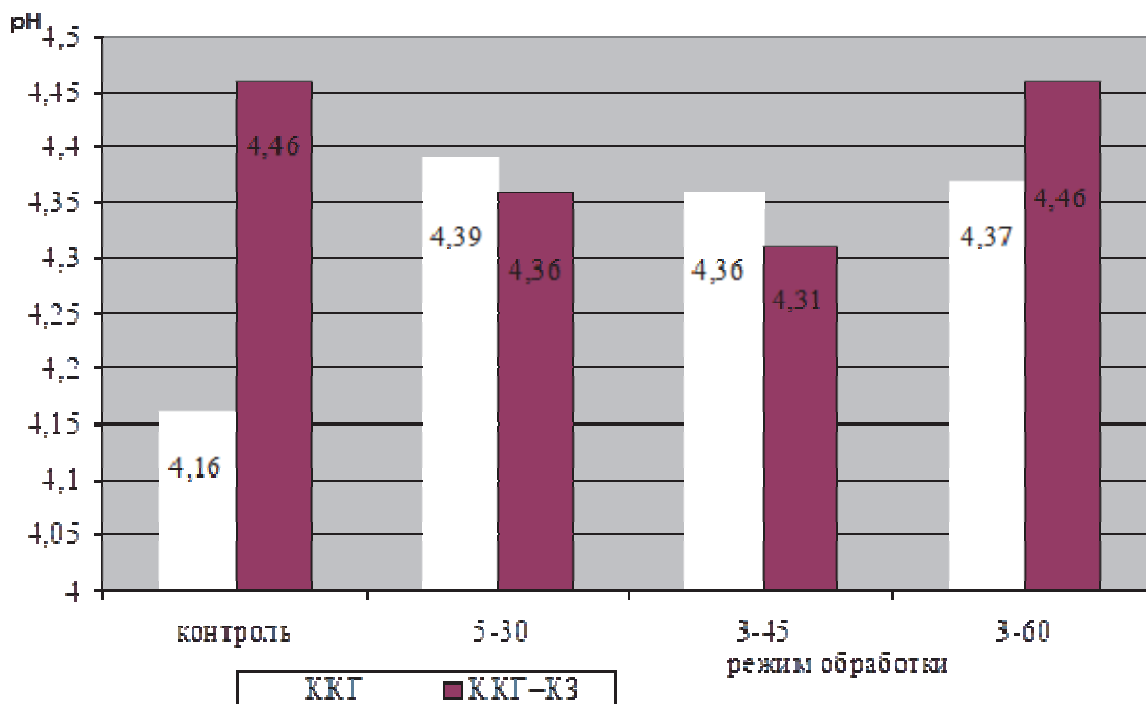


Рис. 2. Зависимость активной кислотности (рН) от состава закваски и режимов УЗВ, усл. ед.

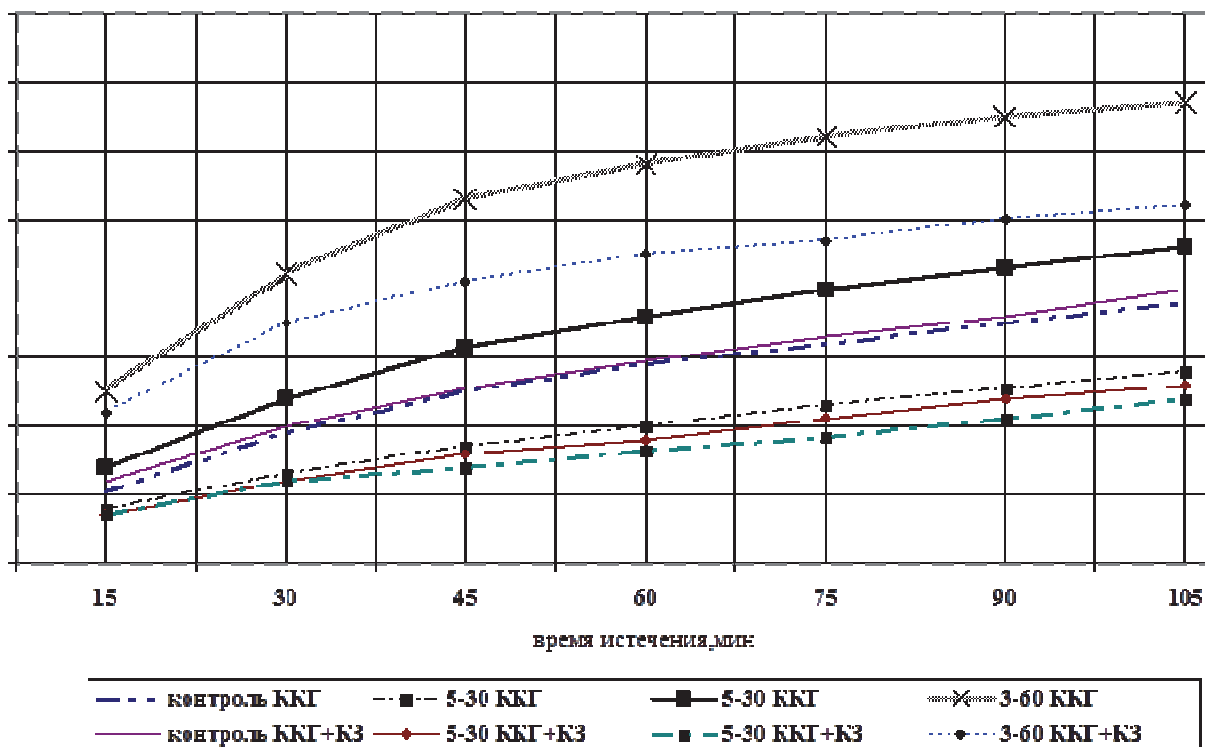


Рис. 3. Динамика синерезиса сгустков кефира, полученных при различных режимах УЗВ, мл

## Прикладная биохимия и биотехнологии

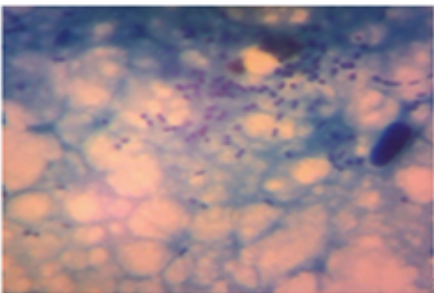
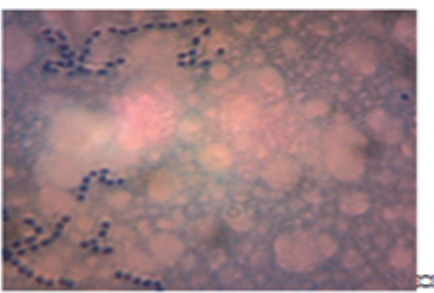
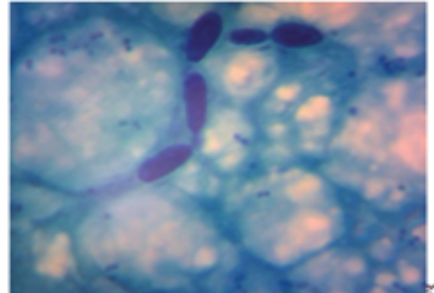
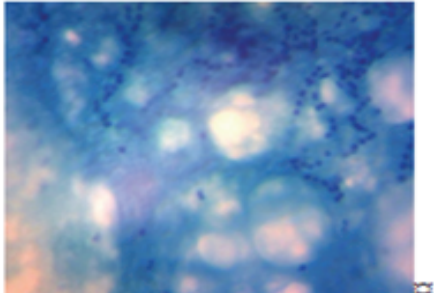
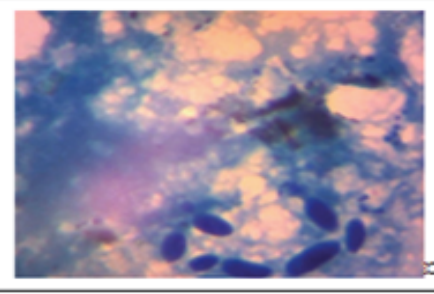
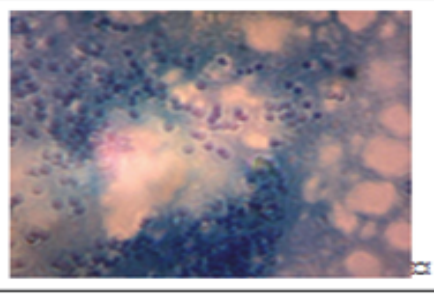
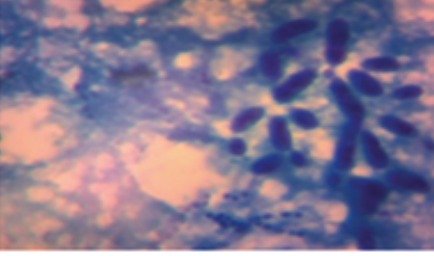
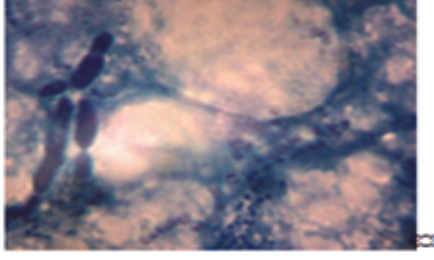
*Lac.lactis*, *Lac.cremoris*, *Leu.cremoris*, *Lactobacillus kefir*, *Acetobacter subsp. aceti*, *Saccharomyces lactis* (табл. 3).

Основными морфологическими типами микрофлоры в исследованных образцах являлись стрептококки, диплококки, палочки, дрожжи. Дрожжи существенно преобладали над кокковой микрофлорой по мере увеличения мощности УЗВ. В образцах кефира дрож-

жи присутствовали практически в каждом поле зрения, в отличие от кефирного продукта, полученного на основе комбинированной закваски. При выработке кефира с использованием грибковой закваски уровни БГКП и *S. aureus* во время сквашивания и созревания не увеличивались.

Исследование дисперсной системы кисломолочных напитков показало, что образцы

Таблица 3  
Микрофотографии образцов кефирных сгустков (окраска комбинированным фиксатором метиленовым синим, увеличение 90×15)

Наименование и режим УЗВ	Микрофотографии микрофлоры сгустков кисломолочных напитков в зависимости от исходного сырья и технологий	
	ККГ	ККГ+КЗ
контроль		
5-30		
3-45		
3-60		



ККГ 3-45 и ККГ 3-60 отличались зернистыми комплексами молочного белка, образующих в общей массе продукта неоднородные зоны большей или меньшей плотности, сгруппированные как в небольшие комплексы, так и в крупные агрегаты.

Динамика накопления кефирана в кисломолочных напитках находится в прямой зависимости от режимов УЗВ и активности заквасочных культур. Так, при приготовлении кисломолочных напитков с использованием закваски КГ количество кефирана составляет 164,24...204,94 мкг/г. В напитках, полученных на комбинированной закваске ККГ+ЗК продуцируется кефирана меньше и его содержание колеблется в диапазоне 187,7–190,7. На рис. 4 наглядно отражено влияние экспозиции УЗВ на накопление ЭПС, кривые линий тренда имеют разную степень кривизны, но, тем не менее, коррелируют с кривыми вязкости.

Структурные характеристики кисломолочных напитков обусловлены дисперсностью белковых частиц, структурой сгустков и их устойчивостью. Известно, что структура кефира представляет собой крупные сгустки белковых частиц с вязкостью в диапазоне 30–90 мПа. В наших исследованиях значения показателя вязкости варьировало в диапазоне 58,5 до 149 мПа в образцах кефира на КГ и в диапазоне от 74,3 до 100,19 мПа в образцах кисломолочных напитков, полученных сквашиванием на комбинированной закваске ККГ+КЗ.

Следовательно, можно полагать, что накопление растворимых полисахаридов в кисломолочных напитках как фактора, определяющего их функциональные свойства, необходимо регулировать. Возможно, за счет эффектов ультразвукового воздействия. В связи с чем последующие исследования были направлены на поиск путей регулирования процессов формирования потребительских свойств кисломолочных напитков, а также процессов накопления кефирана при наращивании микробной биомассы кефирного грибка.

#### **Заключение**

В процессе исследования было доказано, что применение кавитационных эффектов в модернизации технологии восстановленных продуктов переработки молока, повышение их качества, улучшение функциональных свойств продукта. Данные, полученные в ходе работы, дают основание для рекомендации использования кавитационного ультразвуко-

вого реактора в технологии йогуртовых продуктов. Это будет являться новым подходом, позволяющим обеспечить потребителей функциональной продукцией высокого качества.

#### **Литература**

1. Арсеньева, Т.П. Основные вещества для обогащения продуктов питания / Т.П. Арсеньева, И.В. Баранова // *Пищевая промышленность*. – 2007. – № 1. – С. 6–8.
2. Артюхова, С.И. Кисломолочные десертные продукты для функционального питания / С.И. Артюхова, А.А. Макишев. – Омск: Омский научный вестник, 2007. – 77 с.
3. Артюхова, С.И. Молочная сыворотка в функциональных продуктах / С.И. Артюхова, А.А. Макишев, Ю.А. Гаврилова // *Молочная промышленность*. – 2008. – № 12. – С. 63.
4. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации Указ Президента Российской Федерации от 30 января 2010 года № 120 // *Российская газета*. – Федеральный выпуск № 5100(21). – 3 февраля 2010 г.
5. Еникеев, Р.Р. Разработка технологии производства кефира с повышенным содержанием полисахарида кефирана: автореф. дис. кандидата. техн. наук: 05.18.04 / Р.Р. Еникеев. – Самара, 2011. – 23 с.
6. Патент RU 2437092 от 23.03.2010 «Способ количественного анализа полисахарида, производимого молочнокислыми бактериями» / Р.Р. Еникеев, Д.Н. Бобошко, Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев; заяв. и патентообл. Самарский государственный технический университет.
7. Потороко, И.Ю. Системный подход в технологии водоподготовки для пищевых продуктов / И.Ю. Потороко, Р.И. Фаткуллин, Л.А. Цирульниченко // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*. – 2013. – Т. 7, № 3. – С. 153–158.
8. Роцупкина, Н.В. Функциональные ингредиенты для молочносодержащих продуктов и спредов / Н.В. Роцупкина, А. Тихонова // *Сыроделие и маслоделие*. – 2011. – № 2. – С. 50–51.
9. Технический регламент ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции. – <http://docs.cntd.ru/document/499050562>
10. Хамагаева, И.С. Влияние условий автоселекции на биосинтез экзополисахаридов и адгезивную активность микробного консор-



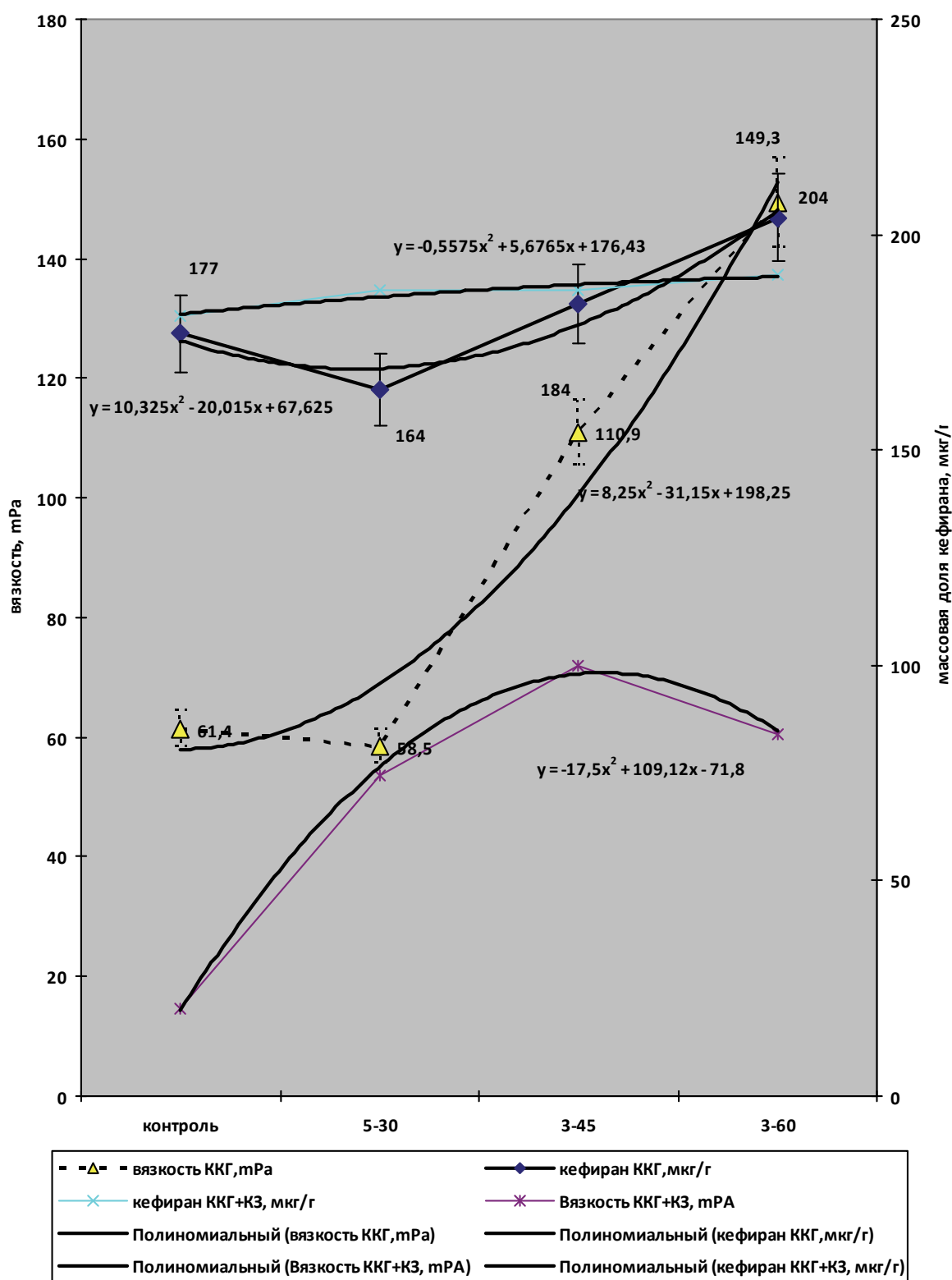


Рис. 4. Соотношение показателя вязкости сгустков и массовой доли кефирана в образцах ККГ и ККГ+КЗ при различных режимах УЗВ

циума/ И.С. Хамагаева, Т.Н. Занданова, Н.А. Замбалова // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2013. – № 2. – С. 57–62.

11. Хмелев, В.Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография / В.Н. Хмелев, О.В. Попова. – Барнаул: Изд. АлмГТУ, 1997. – 160 с.

12. Cheirsilp B., Shimizu H., Shioya S. Modelling and optimization of environmental conditions for kefir production by *Lactobacillus kefirifaciens* // *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2001, Vol. 57. – P. 639–646.

13. Fox, P.F. Milk proteins: molecular, colloidal and functional properties/ P.F. Fox, D.M. Mulvihill// *J. Dairy Res.* – 1982. – V. 49. – № 4. – P. 679–693.

14. Lahey, R. Sonofusion technology revisited / R. Lahey, R. Taleyarkhan and R. Nigmatulin // *Nuclear Eng. and Design.* – 2007. – V. 237. – P. 1571–1585.

15. Macfarlane G.T., Steed H., Macfarlane S. Bacterial metabolism and health-related effects of galacto-oligosaccharides and other prebiotics // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2008. – Vol. 104. – № 2. – P. 305–344.

16. Maeda H., Zhu X., Mitsuoka T. Effects of an exopolysaccharide (kefiran) from *Lactobacillus kefirifaciens* on blood glucose in KKAY mice and constipation in SD rats induced by low-fiber diet // *Bioscience Microflora*, 2004, Vol. 23, № 4. – P. 149–153.

17. Rodrigues K.L. et al. Antimicrobial and healing activity of kefir and kefiran extract // *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2005, Vol. 25. – P. 404–408.

18. Shiomi M. Et al. Antitumor activity in mice of orally administered polysaccharide from kefir grain // *Jpn. J. Med. Sci. Biol.*, 1982, Vol. 35, № 2. – P. 75–80.

19. Yokoi H., Watanabe T. Optimum culture conditions for production of kefiran by *Lactobacillus sp. KPB-167B* isolated from kefir grains // *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1992, Vol. 74, № 5. – P. 327–329.

**Ботвинникова Валентина Викторовна.** Доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии» высшей медико-биологической школы, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), valens\_b@mail.ru

**Калинина Ирина Валерьевна.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), 9747567@mail.ru

**Потороко Ирина Юрьевна.** Доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina\_potoroko@mail.ru

**Попова Наталия Викторовна.** Доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии» высшей медико-биологической школы, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), tef\_pорова@mail.ru

**Красуля Ольга Николаевна.** Доктор технических наук, профессор, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет) (г. Москва), okrasulya@mail.ru.

*Поступила в редакцию 5 октября 2016 г.*

## THE INFLUENCE OF ULTRASOUND ACOUSTIC EXPOSURE ON BIOSYNTHESIS OF EXOPOLYSACCHARIDES AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CULTURED MILK FOODS OBTAINED ON THE BASIS OF KEFIR FUNGUS

V.V. Botvinnikova<sup>1</sup>, I.V. Kalinina<sup>1</sup>, I.Yu. Potoroko<sup>1</sup>, N.V. Popova<sup>1</sup>, O.N. Krasulya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovskiy, Moscow, Russian Federation

One of the leading development tendencies of Russian Federation food industry is implementing innovative methods in dairy raw materials processing technology. Ultrasonic cavitation is one of the perspective technologies for dairy raw material processing in dairy industry. Cultured milk foods produced on the basis of dairy raw materials reduced with the use of ultrasonic exposure are chosen as subjects of the research. The research showed that kefir souring on the kefir fungus starter progresses faster than in other samples: after  $(6 \pm 0,5)$  hours of souring, titrable acidity of the mixture reached  $(85 \pm 2)$  °T. Intensive growth of titrable acidity allows reducing the souring period by 2–3 hours. Ultrasonic cavitation implementation on the stage of preparing dairy raw material for souring influences the blob stability to the spontaneous densifying of the structure: the biggest volume of isolated whey is observed among the samples, in which milk is processed in the ultrasonic exposure regime (60 % force, 3 minutes duration). The research results showed that using ultrasonic exposure in the raw milk processing regime of 3 minutes duration with the force equal 30 % in the technology of obtaining kefir with the use of kefir fungus leaven 1,4 times decreases whey isolation out of a blob, whereas for fermented milk drink on the basis of composite ferment the decrease is 1,5 times. During microscopic examination of constant preparations, it is revealed that the blobs obtained on the basis of kefir fungus symbiotic starter are characterized by homogenous consistency with lesser aggregates of dairy protein and bigger amount of protein complexes of small sizes, compared to the samples obtained on the basis of composite ferment containing the following cultures: *Lac. lactis*, *Lac. cremoris*, *Leu. cremoris*, *Lactobacillus kefir*, *Acetobacter subsp. aceti*, *Saccharomyces lactis*. Dynamics of kefiran accumulation in fermented milk drinks is in direct relation with ultrasonic exposure regimes and starter cultures activity. Therefore, soluble polysaccharides accumulation in fermented milk drinks, as a factor determining their functional properties, is necessary to be regulated by the ultrasonic exposure regimes.

**Keywords:** alimentary products, functional food, ultrasonic exposure, kefiran polysaccharide.

### References

1. Arsen'eva T.P., Baranova I.V. [Main substances for enrichment of food products]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 2007, no. 1, pp. 6–8. (in Russ.)
2. Artyukhova S.I., Maksheev A.A. *Kislomolochnye desertnye produkty dlya funktsional'nogo pitaniya* [Fermented-milk desserts for functional nutrition]. Omsk, Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin], 2007. 77 p.
3. Artyukhova S.I., Maksheev A.A., Gavrilova Yu.A. [Milk whey in functional foods]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2008, no. 12, p. 63. (in Russ.)
4. *Doktrina prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 30 yanvarya 2010 goda № 120* [Food Security Doctrine of the Russian Federation, Decree of the President of the Russian Federation of January 30, 2010 No. 120]. Rossiyskaya gazeta. Federal'nyy vypusk № 5100(21). – 3 February 2010.
5. Enikeev R.R. *Razrabotka tekhnologii proizvodstva kefira s povyshennym soderzhaniem polisakharida kefirana* [Development of producing technology for obtaining kefir with high concentration of kefiran polysaccharide]. Abstract of Technical Sciences Candidate's dissertation. Samara, 2011. 23 p.
6. Enikeev R.R., Boboshko D.N., Rudenko E.Yu., Zimichev A.V. Patent RU 2437092 ot 23.03.2010. *Sposob kolichestvennogo analiza polisakharida, proizvodimogo molochnokislymi bakteriyami* [Method of quantitative analysis of a polysaccharide produced by lactic-acid bacteria].
7. Potoroko I.Yu., Fatkullin R.I., Tsirulnichenko L.A. The system approach to water treatment technology for food production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2013, vol. 7, no. 3, pp. 153–158. (in Russ.)

8. Roshchupkina N.V., Tikhonova A. [Functional ingredients for milk-containing products and spread]. *Syrodelie i maslodolie* [Cheese and butter manufacturing], 2011, no. 2, pp. 50–51. (in Russ.)
9. *Tekhnicheskiiy reglament TS 033/2013. O bezopasnosti moloka i molochnoy produktii* [Technical regulation TS 033/2013. On safety of milk and dairy products]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499050562>
10. Khamagaeva I.S., Zandanova T.N., Zambalova N.A. [The influence of autoselection conditions on biosynthesis of exopolysaccharides and adhesive activity of microbial consortium]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya* [Vestnik of East Siberia State University of Technology and Management], 2013, no. 2, pp. 57–62. (in Russ.)
11. Khmelev V.N., Popova O.V. *Mnogofunktsional'nye ul'trazvukovye apparaty i ikh primeneniye v usloviyakh malyykh proizvodstv, sel'skom i domashnem khozyaystve* [Multifunctional ultrasonic apparatus and their use in the context of small business, agricultural sector and household]. Barnaul, 1997. 160 p.
12. Cheirsilp B., Shimizu H., Shioya S. Modelling and optimization of environmental conditions for kefir production by *Lactobacillus kefirifaciens*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2001, vol. 57, pp. 639–646. DOI: 10.1007/s00253-001-0846-y
13. Fox P.F., Mulvihill D.M. Milk proteins: molecular, colloidal and functional properties. *J. Dairy Res.*, 1982, vol. 49, no. 4, pp. 679–693. DOI: 10.1017/s0022029900022822
14. Lahey R., Taleyarkhan R. and Nigmatulin R. Sonofusion technology revisited. *Nuclear Eng. and Design*, 2007, vol. 237, pp. 1571–1585. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2006.12.014
15. Macfarlane G.T., Steed H., Macfarlane S. Bacterial metabolism and health-related effects of galactooligosaccharides and other prebiotics. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2008, vol. 104, no. 2, pp. 305–344. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2007.03520.x
16. Maeda H., Zhu X., Mitsuoka T. Effects of an exopolysaccharide (kefiran) from *Lactobacillus kefirifaciens* on blood glucose in KKAY mice and constipation in SD rats induced by low-fiber diet. *Bioscience Microflora*, 2004, vol. 23, no. 4, pp. 149–153. DOI: /10.12938/bifidus.23.149
17. Rodrigues K.L. et al. Antimicrobial and healing activity of kefir and kefiran extract. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2005, vol. 25, pp. 404–408. DOI: /10.1016/j.ijantimicag.2004.09.020
18. Shiomi M. et al. Antitumor activity in mice of orally administered polysaccharide from kefir grain. *Jpn. J. Med. Sci. Biol.*, 1982, vol. 35, no. 2, pp. 75–80.
19. Yokoi H., Watanabe T. Optimum culture conditions for production of kefiran by *Lactobacillus* sp. KPB-167B isolated from kefir grains. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1992, vol. 74, no. 5, pp. 327–329. DOI: 10.1016/0922-338x(92)90069-7

**Valentina V. Botvinnikova**, Associate Professor of the Food and Biotechnology Department, Higher School of Biology and Medicine, South Ural State University, Chelyabinsk, valens\_b@mail.ru

**Irina V. Kalinina**, Candidate of Sciences (Engineering), associate professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, 9747567@mail.ru

**Irina Yu. Potoroko**, Doctor of Sciences (Engineering), professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, irina\_potoroko@mail.ru

**Natalia V. Popova**, Associate professor of the Department of Food and Biotechnology, Higher School of Medicine and Biology, South Ural State University, Chelyabinsk, tef\_popova@mail.ru

**Olga N. Krasulya**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovskiy (Moscow), okrasulya@mail.ru.

*Received 5 October 2016*

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Влияние акустического воздействия ультразвука на биосинтез экзополисахаридов и реологические свойства кисломолочных продуктов, полученных на основе кефирного грибка / В.В. Ботвинникова, И.В. Калинина, И.Ю. Потороко и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 4. – С. 14–25. DOI: 10.14529/food160402

#### FOR CITATION

Botvinnikova V.V., Kalinina I.V., Potoroko I.Yu., Popova N.V., Krasulya O.N. The Influence of Ultrasound Acoustic Exposure on Biosynthesis of Exopolysaccharides and Rheological Properties of Cultured Milk Foods Obtained on the Basis of Kefir Fungus. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 4, pp. 14–25. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160402