

РАЗРАБОТКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ
БЕЛКА ИЗ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ

I.A. Korotky, E.V. Korotkaya, E.N. Neverov,
D.E. Fedorov, A.A. Gushchin

THE DEVELOPMENT OF LOW-TEMPERATURE TECHNOLOGY FOR EXTRACTING
PROTEIN FROM CURD WHEY

Короткий Игорь Алексеевич – д-р техн. наук, проф. каф. теплохладотехники Кемеровского государственного университета, г. Кемерово.

E-mail: krot69@mail.ru

Короткая Елена Валерьевна – д-р техн. наук, проф. каф. физической и коллоидной химии Кемеровского государственного университета, г. Кемерово. E-mail: korotkayael@mail.ru

Неверов Евгений Николаевич – д-р техн. наук, проф. каф. теплохладотехники Кемеровского государственного университета, г. Кемерово.

E-mail: neverov42@mail.ru

Федоров Дмитрий Евгеньевич – канд. техн. наук, ст. преп. каф. теплохладотехники Кемеровского государственного университета, г. Кемерово.

E-mail: star-light@inbox.ru

Гущин Алексей Алексеевич – канд. техн. наук, зам. управляющего филиалом по НИР и экспертизе ООО «СибНИИУглеобогащение», Кемеровская обл., г. Прокопьевск.

E-mail: guschinaa@suek.ru

Korotky Igor Alexeyevich – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Heating Ventilation and Air Conditioning, Kemerovo State University, Kemerovo.

E-mail: krot69@mail.ru

Korotkaya Elena Valeryevna – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Physical and Colloidal Chemistry, Kemerovo State University, Kemerovo.

E-mail: korotkayael@mail.ru

Neverov Evgeny Nikolayevich – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Heating Ventilation and Air Conditioning, Kemerovo State University, Kemerovo.

E-mail: neverov42@mail.ru

Fedorov Dmitry Evgenyevich – Cand. Techn. Sci., Senior Lecturer, Chair of Heating Ventilation and Air Conditioning, Kemerovo.

E-mail: star-light@inbox.ru

Gushchin Alexey Alexeyevich – Cand. Techn. Sci., Deputy Manager, Research Work and Examination Branch, JSC “SibNIUgleobogashchenie”, Kemerovo Region, Prokopyevsk.

E-mail: guschinaa@suek.ru

Молочная сыворотка является ценным вторичным сырьем молочной промышленности. Большая часть сыворотки сливается как отход производства, что наносит не только экономический, но и экологический ущерб. Поэтому разработка эффективных технологий переработки молочной сыворотки является актуальной задачей молочной промышленности. Цель – разработка технологии переработки молочной сыворотки с применением разделительного вымораживания для извлечения белка. Для проведения экспериментальных исследований использовался криоконцентратор емкостного типа, в котором вымораживание продукта осуществляется в цилиндрической емкости, от стенок которой отводит-

ся теплота за счет работы холодильной машины. Проводили опыты по разделительному вымораживанию молочной сыворотки при различной температуре теплообменной поверхности кристаллизатора. Установлено, что наибольшая скорость льдообразования наблюдается в первые минуты разделительного вымораживания и постепенно уменьшается с течением времени. Чем ниже скорость вымораживания, т.е. чем выше температура теплообменной поверхности, тем меньше потери сухих веществ и эффективнее осуществляется процесс криоконцентрирования. В процессе вымораживания сыворотки наблюдается выпадение белкового осадка на дне емкости. Данное явление было изучено и проведе-

ны дополнительные эксперименты по подбору наиболее благоприятных режимов. Установлено, что наибольшее количество белкового осадка наблюдается при температурном дифференциале 1,5 градуса и температуре теплообменной поверхности минус 2 °С. При таком режиме количество выделяемого белкового осадка составляет около 2,0–2,1 г/100 г. Разработана технология выделения белка из молочной сыворотки методом разделительного вымораживания. Извлеченный белок может использоваться при производстве различных пищевых продуктов: молочных, кондитерских, хлебобулочных и т.д.

Ключевые слова: творожная сыворотка, разделительное вымораживание, белок, криоцентрирование.

Whey is a valuable secondary raw material of the dairy industry. Most of the whey merges as a waste product, which causes not only economic, but also ecological disorder. Therefore, the development of effective technologies for the whey processing is an urgent task for the dairy industry. The aim of the study is to develop the technology for the whey processing using separation freezing for protein extraction. For carrying out experimental studies a capacitive-type cryoconcentrator was used, in which the product was frozen out in a cylindrical tank, the heat of which was removed from the walls due to the operation of the refrigeration machine. The experiments on separation of the whey by freezing at different temperatures of the heat-transfer surface of the mold were conducted. It was established that the highest rate of ice formation was observed in the first minutes of separation freezing and gradually decreased over time. The lower the freezing rate, i.e. the higher the temperature of the heat exchange surface, the lower is the loss of dry matter and the more efficient is cryoconcentration process. During the whey freezing protein precipitate was observed at the bottom of the tank. This phenomenon was studied and additional experiments were conducted to select the most favorable modes. It was found that the largest amount of protein precipitate had been observed at the temperature differential of 1.5 degrees and the temperature of the heat exchange surface minus 2 °C. In this mode the amount of protein precipitate secreted was about 2.0–2.1 g / 100 g. The

technology had been developed for the isolation of protein from the whey by separation freezing. Extracted protein can be used in the production of various food products: dairy, confectionery, bakery, etc.

Keywords: curd whey, separation freezing, protein, cryoconcentration.

Введение. Молочная сыворотка является крайне ценным продуктом, содержащим в себе целый комплекс всевозможных микронутриентов в сбалансированном соотношении. Высокая пищевая ценность такого продукта обусловлена относительно высокой калорийностью и хорошей усвояемостью. В процессе получения сыворотки в нее переходит около половины сухих веществ молока.

В зависимости от производства того или иного продукта получают творожную, подсырную и казеиновую сыворотку. Все виды молочной сыворотки характеризуются схожим составом [1]. Достаточно большая разница наблюдается в кислотности сыворотки: подсырная характеризуется наименьшей кислотностью в $20 \pm 5^\circ\text{T}$, в то время как творожная обладает кислотностью 85 ± 35 . Состав сыворотки может меняться в определенном диапазоне в зависимости от ряда факторов, в том числе и от периода года [2].

Из молочной сыворотки и ее компонентов можно производить широкий спектр различных продуктов: сывороточные и молочно-сывороточные напитки, концентраты, кондитерские и хлебобулочные изделия, смеси спортивного питания и т.д. [3–7]

В настоящее время разработано множество способов переработки молочной сыворотки: мембранное разделение, электродиализ, разделительное вымораживание [8–11]. Последний способ представляет особый интерес у технологов, занимающихся переработкой молока. Данный метод состоит в том, что при медленном замораживании жидкого продукта в первую очередь кристаллизуется чистая влага, а сухие вещества выталкиваются в незамерзшую часть. В результате чего происходит его концентрирование, а в кристаллическую часть переходит по большей части чистая влага.

Преимуществом разделительного вымораживания являются низкие энергетические затраты и возможность получения относительно высокой степени концентрирования. Указанным

способом можно не только очищать воду [12, 13], но и концентрировать большую часть жидких пищевых продуктов [14–19]. Анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что разделительное вымораживание является перспективным методом переработки молочной сыворотки. При этом данная технология может использоваться не только для концентрирования указанного продукта, но и для извлечения из него определенных компонентов [20].

Цель работы. Разработка технологии переработки молочной сыворотки с применением разделительного вымораживания для извлечения белка.

Задачи: исследовать процесс разделительного вымораживания молочной сыворотки; выявить наиболее благоприятные режимы вымораживания для выделения белка; разработать технологическую схему получения концентрата сывороточного белка методом разделительного вымораживания.

Результаты и их обсуждение. Для решения поставленной цели были проведены экспериментальные исследования с использованием криоконцентратора емкостного типа.

Проводили эксперименты по вымораживанию молочной сыворотки в течение 180 мин при температурах теплообменной поверхности от минус 2 до минус 10 с шагом в 2 °С.

На рисунке 1 приведены графики зависимости массы образующегося льда от продолжительности вымораживания.

Обнаружено, что наибольшая скорость льдообразования наблюдается в первые минуты разделительного вымораживания и постепенно уменьшается с течением времени. При температуре теплообменной поверхности минус 2 °С через 180 мин вымерзло около 1,07 кг влаги, что составляет 30 % от исходной массы сыворотки. При температуре поверхности кристаллизатора минус 10 °С это значение составляет 2,63 кг, что соответствует 75 % от массы исходной сыворотки.

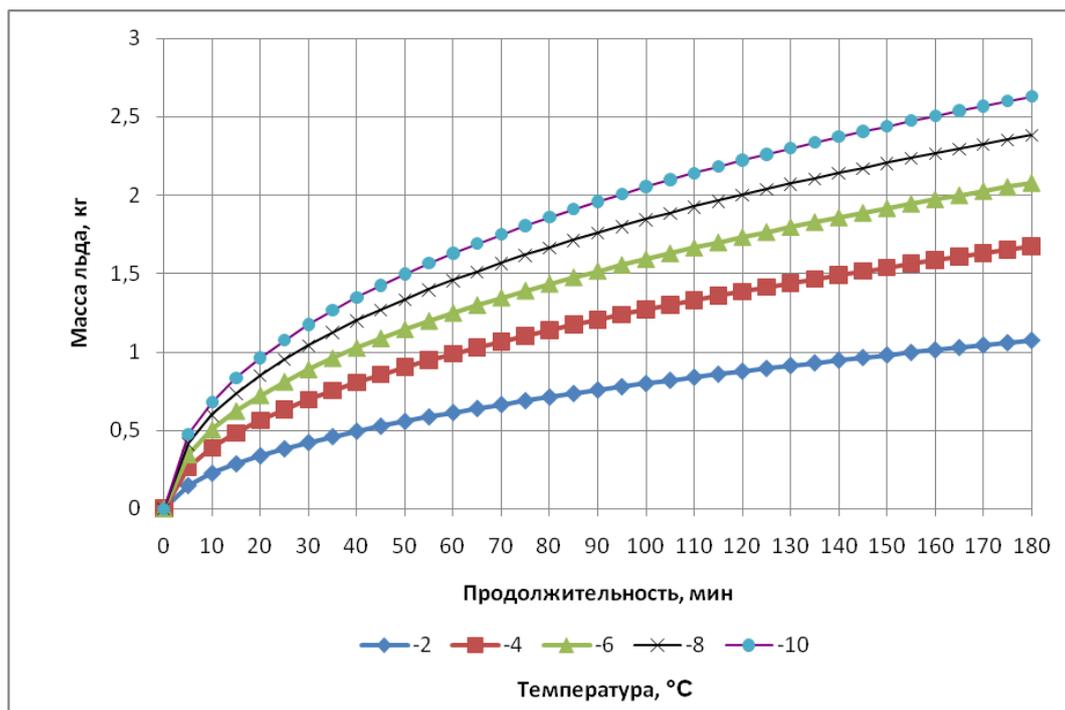


Рис. 1. Зависимость массы образующегося льда при разделительном вымораживании молочной сыворотки от продолжительности процесса

В процессе вымораживания сыворотки наблюдается выпадение белкового осадка на дне емкости. Данное явление было изучено и проведены дополнительные эксперименты по подбору наиболее благоприятных режимов. Выпа-

дение белкового осадка происходит в результате изменения кислотности сыворотки и влияния нестационарного температурного поля, обусловленного периодичностью действия компрессора холодильной машины.

Эксперименты по подбору наиболее благоприятных режимов выпадения белкового осадка проводили при температуре поверхности кристаллизатора от минус 2 до минус 8 °С с шагом в 2 °С. Температурный дифференциал холодильной машины составлял 0,5 °С. По завершении процесса вымораживания осуществлялось центрифугирование концентрата при час-

тоте 4200 мин⁻¹ в течение 25 мин для лучшего отделения белкового осадка. После этого осадок фильтровался через фильтр-бумагу для получения концентрата сывороточного белка.

Количество белкового осадка в зависимости от температуры поверхности кристаллизатора и степени вымораживания приведено на рисунке 2.

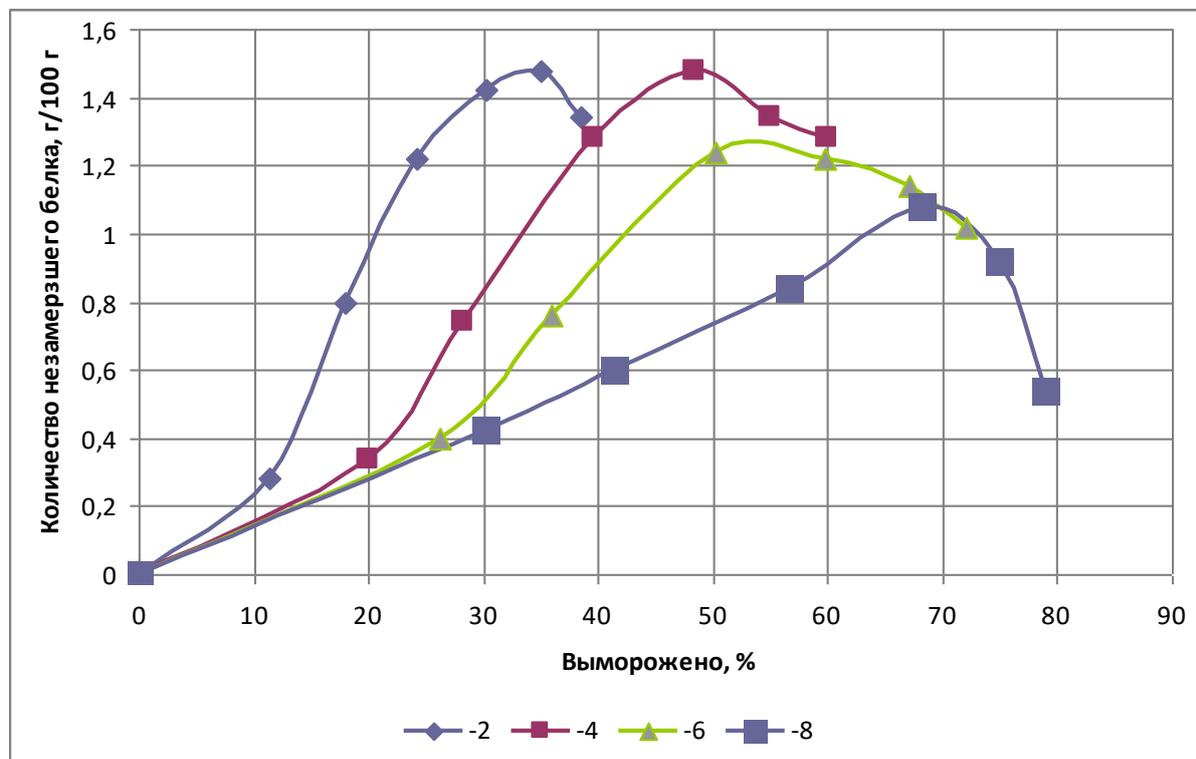


Рис. 2. Количество белковой фракции сыворотки в жидкой фазе концентрата в зависимости от степени вымораживания при различных температурах теплообменной поверхности

Поскольку наибольшая эффективность разделительного вымораживания наблюдалась при температуре теплообменной поверхности минус 2 °С и минус 4 °С, то в дальнейших экспериментах использовались данные режимы.

Далее осуществляли подбор температурного дифференциала холодильной машины. Опыты проводили при указанном параметре от 0,5 до 3 °С с шагом в 0,5 °С. Продолжительность вымораживания при этом выбиралась исходя из данных, приведенных на рисунке 2, с учетом наибольшего количества выпадаемого осадка. Установлено, что наибольшее количество белкового осадка наблюдается при температурном

дифференциале 1,5 °С. При таком режиме количество выделяемого белка составляет около 2,0–2,1 г/100 г.

Таким образом, исходя из вышепредставленных результатов, можно рекомендовать следующие режимы разделительного вымораживания молочной сыворотки для выделения белка: температура поверхности кристаллизатора минус 2° С, продолжительность – 240 мин, температурный дифференциал – 1,5 градуса. Технологическая схема выделения белка из творожной сыворотки может выглядеть следующим образом (рис. 3).

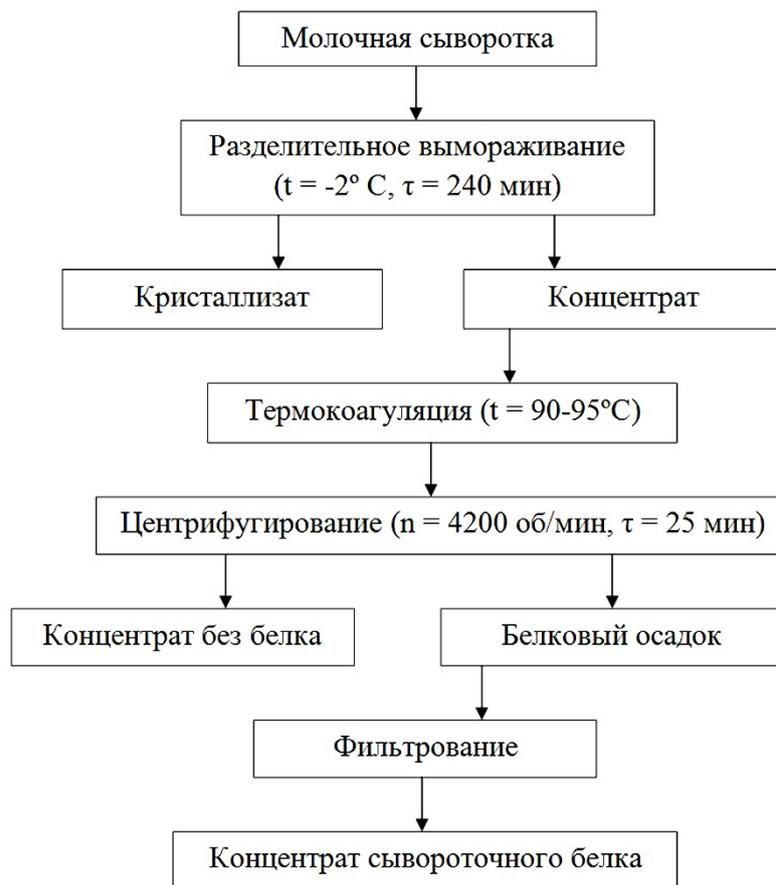


Рис. 3. Технологическая схема выделения белка из молочной сыворотки методом разделительного вымораживания

Заключение. Таким образом, в результате выполненной работы был исследован процесс разделительного вымораживания молочной сыворотки в емкостном криоконцентраторе. Определены наиболее благоприятные режимы для выделения белка: температура поверхности кристаллизатора – минус 2 °С, продолжительность – 240 мин, температурный дифференциал – 1,5 градуса. Разработана технологическая схема выделения белка из молочной сыворотки методом криоконцентрирования. Извлеченный белок может использоваться при производстве различных пищевых продуктов: молочных, кондитерских, хлебобулочных и т.д.

Литература

1. Никитина А.А., Мощенко А.В., Шмат Е.В. Диетическая молочная сыворотка – полезный продукт и экономическая выгода на производстве // Научный альманах. – 2016. – № 9-2(23). – С. 196–198.
2. Черников Е.М., Базарнова Ю.Г. Состав и функциональные свойства творожной сыворотки в технологии фаршевых изделий // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2014. – № 1.
3. Черевач Е.И., Теньковская Л.А. Разработка технологии функциональных напитков на молочной сыворотке с растительными экстрактами // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – № 4 (39). – С. 99–105.
4. Бабеньшев С.П., Емельянов С.А., Жидков В.Е. [и др.]. Основные аспекты получения напитков из молочной сыворотки с добавлением растительных полисахаридов на основе использования процесса ультрафильтрации // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – № 3 (38). – С. 5–10.
5. Волкова Т.А. Переработка молочной сыворотки: предлагаемые решения // Актуальные проблемы молочной отрасли: сб. мат-лов междунар. науч.-практ. конф. – Углич, 2016. – С. 112–117.

6. Храмов А.Г. Прогностический взгляд на перспективы переработки молочной сыворотки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – № 2-3 (362-363). – С. 9–12.
7. Монгуш С.Д., Кыргыз Ш.А. Технология производства мармелада на основе молочной сыворотки // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 4-4. – С. 671–673.
8. Гуцин А.А. Анализ процессов криоконцентрирования молочной сыворотки в нескольких последовательных ступенях // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – № 2 (45). – С. 87–92.
9. Храмов А.Г. Промпереработка молочной сыворотки. Сухие продукты. Инновации // Переработка молока. – 2016. – № 6 (200). – С. 46–48.
10. Тихонов С.Л., Лазарев В.А., Муратов А.А. Безотходная мембранная технология переработки молочной сыворотки // Индустрия питания. – 2017. – № 1 (2). – С. 60–71.
11. Золоторева М.С., Володин Д.Н., Чаблин Б.В. [и др.]. Мембранные технологии как основа переработки молочной сыворотки в современных экономических условиях // Молочная промышленность. – 2017. – № 11. – С. 42–44.
12. Учайкин А.В., Короткая Е.В. Подготовка методом разделительного вымораживания при производстве восстановленного молока // Экологически безопасные технологии природообустройства и водопользования: теория и практика: мат-лы Междунар. конф., посвящ. 25-летию программы УНИТВИН Кафедры ЮНЕСКО. – Новосибирск, 2017. – С. 127–131.
13. Учайкин А.В. Исследование процессов работы промышленного кристаллизатора для очистки воды вымораживанием // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 4 (127). – С. 107–112.
14. Павлов А.А., Короткий И.А. Концентрирование. Разделительное вымораживание березового сока // Пищевые инновации в биотехнологии: сб. тез. VI Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Кемерово, 2018. – С. 242–244.
15. Остроумов Л.А., Короткая Е.В., Мальцева О.М. Влияние криоконцентрирования на содержание сухих веществ обезжиренного молока // Молочная промышленность. – 2018. – № 8. – С. 60–61.
16. Orellana-Palma P., González Y., Petzold G. Improvement of Centrifugal Cryoconcentration by Ice Recovery Applied to Orange Juice // Chemical Engineering and Technology. – 2019. – № 42 (4). – P. 925–931
17. Zielinski A.A.F., Zardo D.M., Alberti A. [et al.]. Effect of cryoconcentration process on phenolic compounds and antioxidant activity in apple juice // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2019. – № 99(6). – P. 2786–2792.
18. Orellana-Palma P., Petzold G., Guerra-Valle M. [et al.]. Impact of block cryoconcentration on polyphenol retention in blueberry juice // Food Bioscience. – 2017. – № 20. – P. 149–158.
19. Orellana-Palma P., Takhar P.S., Petzold G. Increasing the separation of block cryoconcentration through a novel centrifugal filter-based method // Separation Science and Technology (Philadelphia). – 2019. – № 54(5). – P. 786–794.
20. Мальцева О.М., Пикалов Э.О., Павлов А.А. Применение разделительного вымораживания для извлечения лактозы из молочной сыворотки // Новая наука. Современное состояние и пути развития. – 2016. – № 2-2 (62). – С. 164–166.

Literatura

1. Nikitina A.A., Moshchenko A.V., Shmat E.V. Dieticheskaya molochnaya syvorotka – poleznyj produkt i ekonomicheskaya vygoda na proizvodstve // Nauchnyj al'manah. – 2016. – № 9-2(23). – S. 196–198.
2. Chernikov E.M., Bazarmova Yu.G. Sostav i funkcional'nye svojstva tvorozhnoj syvorotki v tekhnologii farshevyh izdelij // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. – 2014. – № 1.
3. Cherevach E.I., Ten'kovskaya L.A. Razrabotka tekhnologii funkcional'nyh napitkov na molochnoj syvorotke s rastitel'nymi ekstraktami // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. – 2015. – № 4 (39). – S. 99–105.
4. Babenyshev S.P., Emel'yanov S.A., Zhidkov V.E. [i dr.]. Osnovnye aspekty polucheniya napitkov iz molochnoj syvorotki s dobavleniem rastitel'nyh polisaharidov na osnove ispol'zova-

- niya processa ul'trafil'tracii // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. – 2015. – № 3 (38). – S. 5–10.
5. Volkova T.A. Pererabotka molochnoj syvorotki: predlagaemye resheniya // Aktual'nye problemy molochnoj otrasli: sb. mat-lov mezhdunar. Nauch.-prakt. konf. – Uglich, 2016. – S. 112–117.
 6. Hramcov A.G. Prognosticheskiy vzglyad na perspektivy pererabotka molochnoj syvorotki // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya. – 2018. – № 2-3 (362-363). – S. 9–12.
 7. Mongush S.D., Kyrgys S.H.A. Tekhnologiya proizvodstva marmelada na osnove molochnoj syvorotki // Mezhdunarodnyj studencheskiy nauchnyj vestnik. – 2018. – № 4-4. – S. 671–673.
 8. Gushchin A.A. Analiz processov kriokoncentrovaniya molochnoj syvorotki v neskol'kih posledovatel'nyh stupenyah // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. – 2017. – № 2 (45). – S. 87–92.
 9. Hramcov A.G. Prompererabotka molochnoj syvorotki. Suhie produkty. Innovacii // Pererabotka moloka. – 2016. – № 6 (200). – S. 46–48.
 10. Tihonov S.L., Lazarev V.A., Muratov A.A. Bezothodnaya membrannaya tekhnologiya pererabotka molochnoj syvorotki // Industriya pitaniya. – 2017. – № 1 (2). – S. 60–71.
 11. Zolotareva M.S., Volodin D.N., Chablin B.V. [i dr.]. Membrannye tekhnologii kak osnova pererabotka molochnoj syvorotki v sovremennyh ekonomicheskikh usloviyah // Molochnaya promyshlennost'. – 2017. – № 11. – S. 42–44.
 12. Uchajkin A.V., Korotkaya E.V. Vodopodgotovka metodom razdelitel'nogo vymorazhivaniya pri proizvodstve vosstanovlennogo moloka // Ekologicheski bezopasnye tekhnologii prirodobustrojstva i vodopol'zovaniya: teoriya i praktika: mat-ly Mezhdunar. konf., posvyashch. 25-letiyu programmy UNITVIN Kafedry YUNESKO. – Novosibirsk, 2017. – S. 127–131.
 13. Uchajkin A.V. Issledovanie processov raboty promyshlennogo kristallizatora dlya oчитki vody vymorazhivaniem // Vestnik KrasGAU. – 2017. – № 4 (127). – S. 107–112.
 14. Pavlov A.A., Korotkij I.A. Koncentrirovanie. Razdelitel'noe vymorazhivanie berezovogo soka // Pishchevye innovacii v biotekhnologii: sb. tez. VI Mezhdunar. nauch. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. – Kemerovo, 2018. – S. 242–244.
 15. Ostroumov L.A., Korotkaya E.V., Mal'ceva O.M. Vliyaniye kriokoncentrovaniya na sodержaniye suhih veshchestv obezhirennogo moloka // Molochnaya promyshlennost'. – 2018. – № 8. – S. 60–61.
 16. Orellana-Palma P., González Y., Petzold G. Improvement of Centrifugal Cryoconcentration by Ice Recovery Applied to Orange Juice // Chemical Engineering and Technology. – 2019. – № 42 (4). – P. 925–931
 17. Zielinski A.A.F., Zardo D.M., Alberti A. [et al.]. Effect of cryoconcentration process on phenolic compounds and antioxidant activity in apple juice // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2019. – № 99(6). – P. 2786–2792.
 18. Orellana-Palma P., Petzold G., Guerra-Valle M. [et al.]. Impact of block cryoconcentration on polyphenol retention in blueberry juice // Food Bioscience. – 2017. – № 20. – P. 149–158.
 19. Orellana-Palma P., Takhar P.S., Petzold G. Increasing the separation of block cryoconcentration through a novel centrifugal filter-based method // Separation Science and Technology (Philadelphia). – 2019. – № 54(5). – P. 786–794.
 20. Mal'ceva O.M., Pikalov E.O., Pavlov A.A. Primeneniye razdelitel'nogo vymorazhivaniya dlya izvlecheniya laktozy iz molochnoj syvorotki // Novaya nauka. Sovremennoe sostoyaniye i puti razvitiya. – 2016. – № 2-2 (62). – S. 164–166.