

**ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ /
INNOVATIVE DEVELOPMENTS**

Обзорная статья / *Review article*

УДК 637.1

DOI: 10.31208/2618-7353-2022-18-9-25

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ
АГРАРНО-ПИЩЕВЫХ ИННОВАЦИЙ МОЛОЧНОГО ДЕЛА
НА ПРИМЕРЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ.**

Диафильтрация

***TECHNOLOGICAL BREAKTHROUGH OF THE AGRARIAN-AND-FOOD
INNOVATIONS IN DAIRY CASE FOR EXAMPLE OF UNIVERSAL
AGRICULTURAL RAW MATERIALS.***

Diafiltration

Андрей Г. Храмцов, доктор технических наук, профессор, академик РАН

Andrey G. Khramtsov, doctor of technical sciences, professor, academician of RAS

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь

North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Контактное лицо: Храмцов Андрей Георгиевич, доктор технических наук, профессор, академик РАН, профессор-консультант кафедры прикладной биотехнологии Института живых систем, Северо-Кавказский федеральный университет; 355009, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1; e-mail: akhramtcov@ncfu.ru; тел.: 89624477823; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5188-4657>.

Формат цитирования: Храмцов А.Г. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхозсырья. Диафильтрация // Аграрно-пищевые инновации. 2022. Т. 18, № 2. С. 9-25. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2022-18-9-25>.

Principal Contact: Andrey G. Khramtsov, Dr Technical Sci., Professor, Academician of RAS, Professor-consultant of the Department of Applied Biotechnology, Institute of Life Science, North-Caucasus Federal University; 1, Pushkin st., Stavropol, 355009, Russian Federation; e-mail: akhramtcov@ncfu.ru; tel.: +79624477823; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5188-4657>.

How to cite this article: Khramtsov A.G. Technological breakthrough of the agrarian-and-food innovations in dairy case for example of universal agricultural raw materials. Diafiltration. *Agrarian-and-food innovations*. 2022;18(2):9-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2022-18-9-25>.

Резюме

Цель. Рассмотрение диафильтрации как процесса мембранной технологии (МТ) для молекулярно-ситового разделения концентратов молочной сыворотки.

Обсуждение. Диафильтрация обеспечивает получение деминерализованной молочной сыворотки, изолятов сывороточного белка и высококачественной лактозы. Процесс истинной диафильтрации пока практически малоизвестен и не масштабирован в молочной отрасли

пищевой индустрии АПК. Он не нашел своего места в систематологии мембранных технологий. Теоретически диафильтрация может быть реализована в Технологической Платформе производства концентратов сывороточных белков (80% и изоляты), деминерализованной сыворотки (уровень 50%) и высококачественной лактозы (пищевая и фармакопейная). В молочной промышленности России в настоящее время диафильтрация используется на практике эпизодически. Диафильтрация специфична для вида каждого концентрата (ретентата) – микрофильтрата, ультрафильтрата, нанофильтрата и даже обратного осмоса, а также концентрированной традиционными способами (выпаривание) молочной сыворотки. Например, диафильтрация нанофильтрата с разбавлением «чистой водой» НФ концентрата (реверс обратного осмоса) снижает зольность до 50% с удалением части органических кислот и низкомолекулярного азота. Диафильтрация достаточно широко масштабирована в молочной промышленности мира при получении белковых концентратов из молочной сыворотки – КСБ 80 и 90%.

Заключение. Диафильтрация должна рассматриваться как дополнительный пакет к микрофильтрации, ультрафильтрации и особенно (идеал) нанофильтрации для направленного и управляемого регулирования содержания низкомолекулярных соединений в концентратах (ретентатах) МТ (минералы, азотсодержащие и кислоты), при необходимости для готовой продукции.

Ключевые слова: диафильтрация, молочная сыворотка, диафильтраты, технологический модуль диафильтрации

Abstract

Aim. Consideration of diafiltration as a membrane technology (MT) process for molecular-sieve separation of whey concentrates.

Discussion. Diafiltration provides the production of demineralized whey, whey protein isolates and high-quality lactose. The process of true diafiltration is still almost unknown and is not scaled up in the dairy industry of the food industry of the agro-industrial complex. It has not found its place in the systematology of membrane technologies. Theoretically, diafiltration can be implemented in a Technological Platform for the production of whey protein concentrates (80% and isolates), demineralized whey (50% level) and high-quality lactose (food and pharmacopoeia). In the Russian dairy industry, diafiltration is currently used in practice sporadically. Diafiltration is specific to the type of each concentrate (retentate) – microfiltrate, ultrafiltrate, nanofiltrate and even reverse osmosis, as well as concentrated by traditional methods (evaporation) of whey. For example, diafiltration of nanofiltrate with dilution with "pure water" of NF concentrate (reverse osmosis) reduces ash content by up to 50% with the removal of some organic acids and low molecular nitrogen. Diafiltration is quite widely scaled in the dairy industry of the world in the production of protein concentrates from whey – CSB 80 and 90%.

Conclusion. Diafiltration should be considered as a complementary package to microfiltration, ultrafiltration and especially (ideal) nanofiltration for targeted and controlled control of the content of low molecular weight compounds in concentrates (retentates) MT (minerals, nitrogenous and acids), if necessary for finished products.

Keywords: diafiltration, whey, diafiltrate, technological module of diafiltration

Введение. Диафильтрация как процесс мембранной технологии (МТ) для молекулярно-ситового разделения компонентов молочной сыворотки (универсального сельскохозяйственного сырья по академику Н.Н. Липатову [1]) может рассматриваться в качестве «гадкого утен-

ка» (разбавление водой) с его превращением в прекрасного «лебедя» (изоляты сывороточного белка, деминерализованная сыворотка и высококачественная лактоза). Именно это является целевым содержанием настоящей статьи, которая позиционируется с точки зрения аграрно-пищевых инноваций, как постановка проблемы в ракурсе Технологического Прорыва.

Процесс диафильтрации пока практически малоизвестен и не масштабирован в молочной отрасли пищевой индустрии АПК. Он не нашел своего места в систематологии мембранных технологий даже в классической монографии профессора А. Тамима [2]. Правда, в тексте автор (А. Тамим) трижды упоминает, приводя краткую информацию, диафильтрацию как способ повышения качества получаемой с использованием МТ продукции. В том числе отдельный раздел имеется в МТ по молочной сыворотке. Нет упоминания о диафильтрации в фундаментальном справочнике по молочной сыворотке [3] – значит не пришло еще время. Это же имеет место (нет основания) в монографиях по лактозе и ее производным [4], феномене и новациям «спрятанного и найденного сокровища» – молочной сыворотки [5, 6]. Однако следует отметить, что о диафильтрации как частном случае ультрафильтрации с разбавлением водой концентрата (ретентата) и повторении процесса все же было упомянуто [7]. Кроме того, в 90-е годы XX столетия в Украинском НИИ мясомолочной промышленности Минмясомолпрома СССР (г. Киев) академик Г.А. Ересько с сотрудниками продолжительное время занимались изучением диафильтрации молочного сырья (в т.ч. и молочной сыворотки) для получения «чистых» белковых продуктов. К сожалению, работа не получила практической реализации.

В молочной промышленности России (по имеющейся в нашем распоряжении информации) в настоящее время диафильтрация используется на практике эпизодически, а постоянно лишь на нескольких предприятиях [8].

Системные, целенаправленные исследования (теория и практика) по диафильтрации пока не проводятся. Поиск ведется спонтанно на практике и энтузиастами. Принципиальную постановку вопроса эффективных МТ для глубокой переработки молочного сырья и вторичных ресурсов (ОВ – молочная сыворотка, как проблема отрасли) нам оставил академик РАН В.Д. Харитонов [9]. Он указывает, что ценовые объемы базовых молочных продуктов из молочной сыворотки: сывороточные белковые концентраты, изоляты и микропартикуляты; лактоза; лактулоза; БАВ, имеют высокую добавленную стоимость и могут быть получены только «глубокой переработкой» на молекулярном уровне с применением МТ. В СКФУ творческим коллективом профессора И.А. Евдокимова диафильтрация рассматривается в Технологической Платформе производства концентратов сывороточных белков (80% и изоляты), деминерализованной сыворотки (уровень 50% и выше), а так же высококачественной лактозы (пищевая и фармакопейная) [10-12]. На рисунке 1 приведена схема производства белковых концентратов из молочной сыворотки с использованием МТ, в т.ч. диафильтрации.

Практическая реализация диафильтрации масштабирована творческим коллективом профессоров А.Н. Пономарева и Е.И. Мельниковой (фирма «Молвест») в аспекте законченного технологического цикла переработки молочной сыворотки с получением линейки белковых концентратов и сухого пермеата [13, 14].

Интересные решения по комплексу аппаратного оформления МТ с использованием системы «Полишер» и установок семейства «Водопад ...» предлагает известный в отрасли профессор В.А. Лялин [15]. Комплекс позволяет получать «КСБ-80» (естественно, с диафильтрацией) и имеет блок подготовки (очистки) воды. Одна из установок показана на рисунке 2.

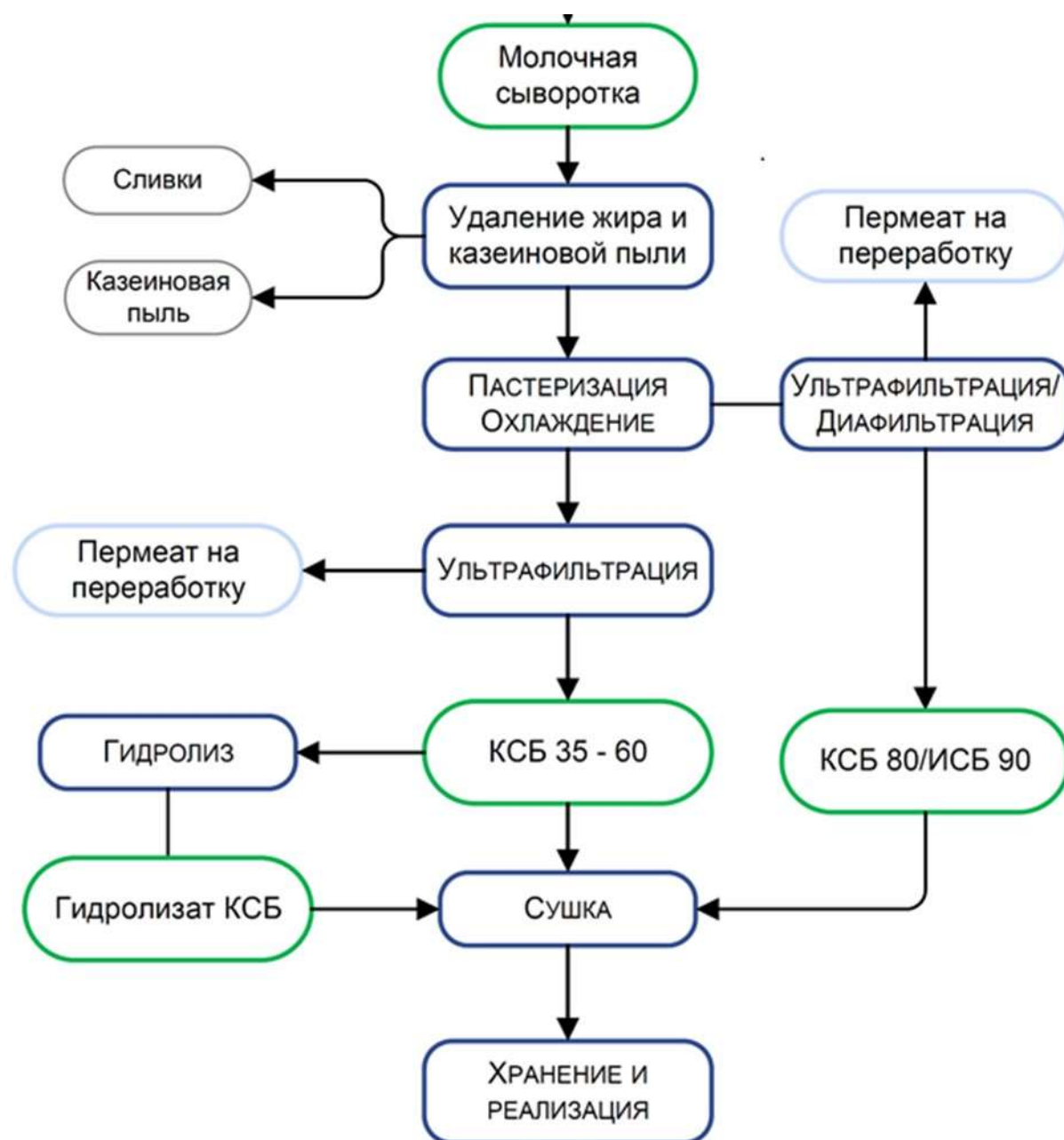


Рисунок 1. Логистическая схема производства белковых концентратов из молочной сыворотки методами МТ

Figure 1. Logistics scheme for the production of protein concentrates from whey by MT methods



Рисунок 2. Общий вид установки МТ семейства «Водопад»

Figure 2. General view of the MT installation of the "Waterfall" family

Систему МТ для молочной промышленности предлагает АО «НПК МЕДИАНА-ФИЛЬТР». Для получения высококачественного белкового концентрата с удалением лактозы и минеральных солей используется диафильтрация [16, 17].

Зарубежная информация по диафильтрации достаточно обширна и конкретна. Например, диафильтрация, совмещенная с нанофильтрацией (нанодиафильтрация), рассмотрена как метод удаления молочной кислоты из кислой (для нас творожной) сыворотки в исследованиях Chandrapala et al. [18]. Оптимизация ультрафильтрации с диафильтрацией рассмотрена применительно к подсырной сыворотке для производства напитков [19] и сывороточных белков [20].

Аппаратурное оформление и сопровождение процесса диафильтрации рассматривается в ореоле МФ, УФ и НФ с выделением отдельного пакета, возможностью смены мембран и системы обеспечения, а также др. новациями, в основном «ноу-хау» машиностроителей.

Нами предпринята попытка рассмотреть процесс мембранной технологии на примере диафильтрации применительно к молочной сыворотке, как универсальному сельскохозяйственному сырью.

Объекты и методология познания.

В качестве объектов для исследований процесса диафильтрации практически могут быть использованы все виды концентратов (ретентатов) МТ, а также (возможно) специально сгущенная молочная сыворотка. Среднестатистический состав концентратов (ретентатов) МТ, по имеющейся информации [21], показан в таблице 1.

Таблица 1. Среднестатистический состав концентратов (ретентатов) МТ для диафильтрации
Table 1. Average composition of MT concentrates for diafiltration

Продукт <i>Product</i>	Сухие вещества <i>Dry matters</i>	Белок <i>Protein</i>	Лактоза <i>Lactose</i>	Жир <i>Fat</i>	Зола <i>Ash</i>
Цельное молоко <i>Whole milk</i>	23,75	8,48	4,91	9,1	1,25
Обезжиренное молоко <i>Skimmed milk</i>	22,75	15,0	4,34	следы	0,47
Пахта <i>Buttermilk</i>	20,5	12,5	5,79	1,6	0,96
Молочная сыворотка <i>Whey</i>	18,0	12,5	4,5	–	0,6

Что касается концентратов сгущенной молочной сыворотки для диафильтрации с целью направленного и управляемого регулирования ее минерального состава и кислотности, то, видимо, следует принять возможность применения всех известных шести видов (13, 20, 30, 40, 60 и 75% сухих веществ) с разведением (кроме 13 и 20%) до желательной концентрации на уровне 20%. Последующая диафильтрация обеспечивает снижение зольности исходного концентрата до 50%.

Методология познания, учитывая обзорно-постановочный характер настоящей статьи проблемно-ориентированного назначения для новой генерации профессионалов отрасли, включает когнитивную (осмысление) и конвергентную (совмещение) составляющие. Они реализованы в иллюстрациях и тексте для мотивации использования диафильтрации в исследованиях наноуровня и практике в качестве технологического модуля (пакета) управления качеством готового продукта.

Методы исследований включали общепринятые в отрасли (сухие вещества, лактоза, молочный жир, белковые соединения, минеральный комплекс, активная и титруемая кислотности), а также специфические, описанные ранее [22]. Математическая (статистическая) обработка результатов исследований для оценки достоверности получаемых результатов проводилась в соответствии с методическими указаниями [23].

Прослеживаемость и безопасность получаемых продуктов в логистике проводимых исследований и опытно-промышленных испытаний осуществлялась в соответствии с принятыми в настоящее время нормативами [24, 25].

Обсуждение. Процесс диафильтрации по своей функции (размеру пор мембран – от 0,3 нм до 10 мкм, давлению – от 0,1 до 6,0 МПа, виду материала мембран – полисульфонамид, полиэфирсульфан, полипиперазинамид, керамика и отсечению – от 100 Да до 500 кДа) в настоящее время теоретически рассматривается и практически осуществляется аналогично микрофильтрации [26, 27], ультрафильтрации [28] и нанофильтрации [22]. На рисунке 3 показаны периодический и непрерывный процессы диафильтрации (по А. Тамиму [2]) с некоторым уточнением и развитием в рамках темы настоящей статьи.

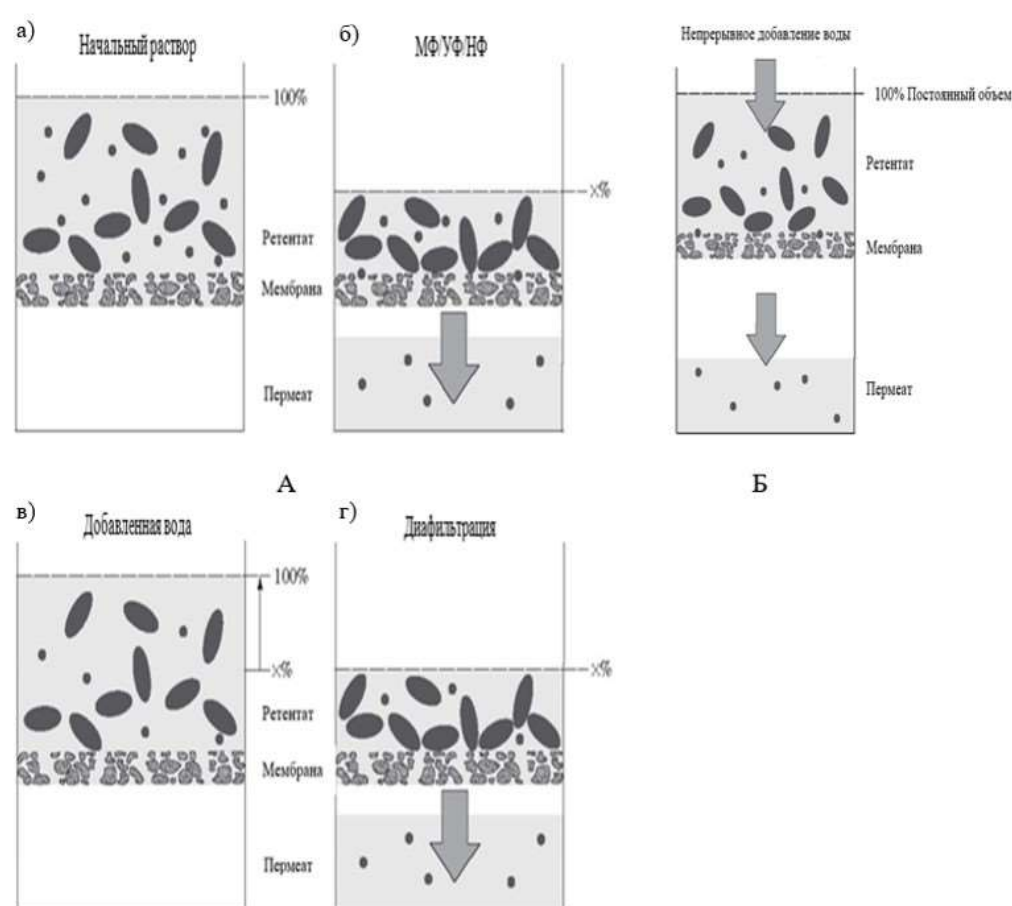


Рисунок 3. Периодический и непрерывный процессы диафильтрации по А. Тамиму:

А – периодическая диафильтрация с переменным объемом: а) начальный раствор; б) МФ/УФ/НФ-процесс до заданного объема, x%; в) добавление воды до исходного объема; г) диафильтрация (ДФ-процесс);
Б – непрерывная диафильтрация с постоянным объемом

Figure 3. Periodic and continuous diafiltration processes according to A. Tamim:

A – periodic diafiltration with variable volume: a) initial solution; b) MF/UF/NF-process to a given volume, x%; в) addition of water to the initial volume; г) diafiltration (DF-process);

B – continuous diafiltration with constant volume

Имеются установки для МТ, которые совмещают диафильтрацию с известными видами молекулярно-ситового разделения молочной сыворотки – МФ, УФ, НФ [22, 26-29].

Однако в действительности диафильтрация специфична для каждого вида концентрата (ретентата) – микрофильтрата, ультрафильтрата, нанофильтрата и обратного осмоса (МФ, УФ, НФ, ОО), а также концентрированной традиционными способами (выпариванием) молочной сыворотки. На рисунке 4 линейки МТ (МФ, УФ, НФ, ОО) эта специфика показана

отдельным блоком ДФ во всей возможной гамме происходящих процессов молекулярно-ситового разделения применительно к компонентам молочной сыворотки [5].

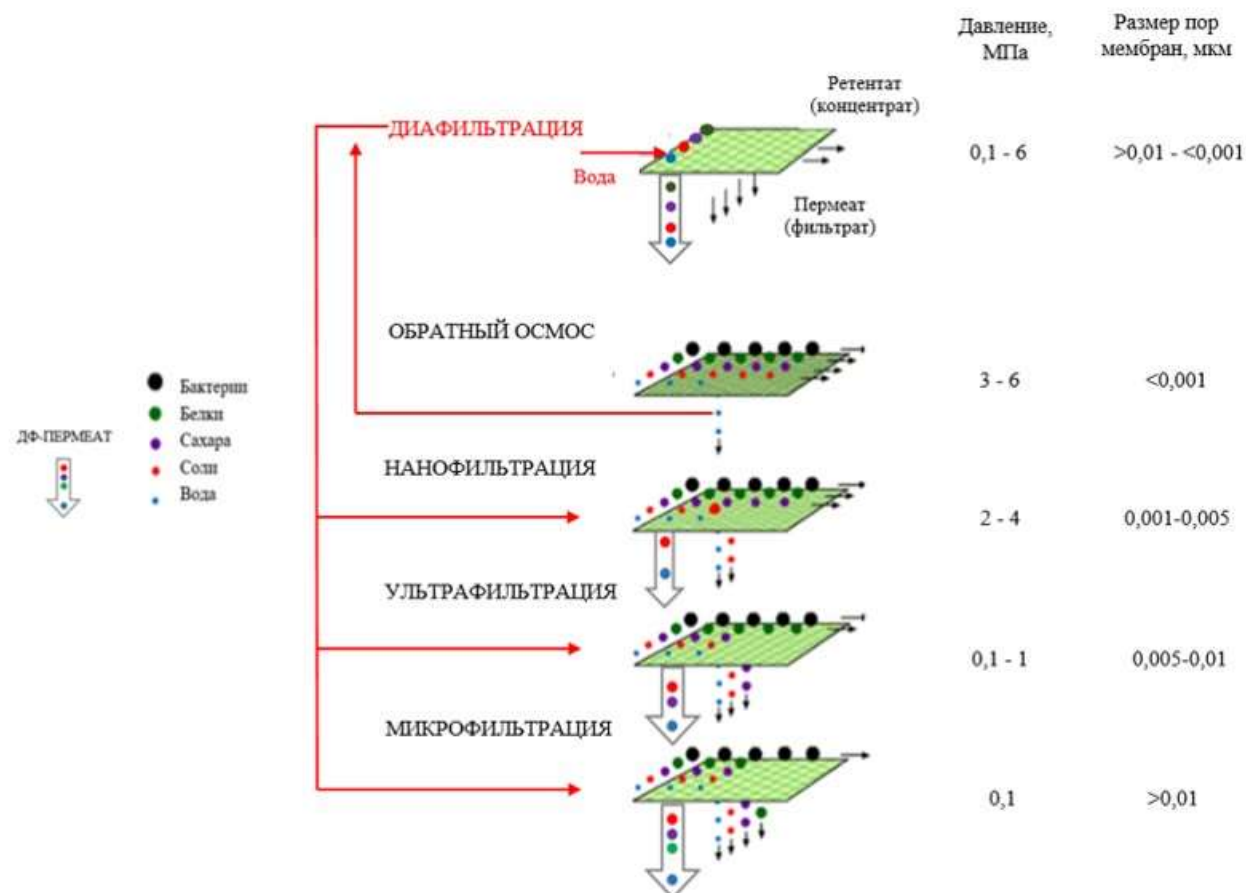


Рисунок 4. Логистическая схема гибридизации МТ (МФ, УФ, НФ, ОО) с диафилтрацией (ДФ)

Figure 4. Logistic scheme of hybridization of MT (MF, UV, NF, OO) with diafiltration (DF)

Содержательная часть термина «гибридизации» МТ (МФ, УФ, НФ, ОО и сгущение) с пакетом диафилтрации достаточно подробно освещена в докладах проф. И.А. Евдокимова в Совете Федерации РФ и Отделении сельхознаук РАН [29, 30].

В сравнительных пилотных исследованиях [31] было показано, что совмещение диафилтрации с нанофилтрацией и электродиализом обеспечивает самое глубокое удаление минералов и молочной кислоты.

В систематизированном виде, с учетом имеющейся информации, ниже излагается подборка по возможным направлениям диафилтрации в технологическом цикле молочного дела Отечества применительно к объекту статьи – молочной сыворотке.

1. Прежде всего, с учетом фактуры состояния промышленной фабрикации молочной сыворотки в сухой продукт с явно выраженной тенденцией по деминерализации, остановимся на возможности использования диафилтрации для направленного и управляемого снижения зольности.

При этом нужно иметь в виду, что нанофилтрация молочной сыворотки, очищенной от казеиновой пыли и молочного жира сепарированием или микрофилтрацией (предпочтительна, т.к. обеспечивает одновременно санацию с возможным исключением последующей пастеризации), обеспечивает частичное удаление в НФ-фильтрат (пермеат) до 20% минеральных солей (зольность). Последующая диафилтрация с разбавлением «чистой водой» НФ концентрата (реверс обратного осмоса) снижает зольность до 50% с удалением части органических кислот (например, молочной) и низкомолекулярного азота (мочевина, креатинины и др.). В таблице 2 приведена выборка состава сухой молочной сыворотки (на примере подсырной) без мембранной обработки, после нанофилтрации (20%) и диафилтрации (50%), а также творожной (70%).

Таблица 2. Органолептические и физико-химические показатели сыворотки молочной сухой
Table 2. Organoleptic and physic-chemical parameters of dry milk serum

Показатель <i>Indicator</i>	Сыворотка <i>Whey</i>		
	подсырная распылительной сушки <i>cheese whey of spray drying</i>	творожная распылительной сушки <i>curd whey of spray drying</i>	
Вкус и запах <i>Taste and smell</i>	Сладковато-солончатый; слегка кисловатый, без наличия посторонних привкусов и запахов <i>Sweetish-salty; slightly sour, free of foreign taste and smell</i>		
Консистенция <i>Consistency</i>	Сухой мелко распыленный гигроскопический порошок при распылительной сушке и сухой порошок из измельченных комочков при пленочной сушке. Допускается незначительное количество плотных комочков, легко рассыпающихся при механическом воздействии <i>Dry small sprayed hygroscopic powder when spray drying and dry powder from crushed lumps when film drying. A small amount of dense lumps is allowed, easily crumbling under mechanical action</i>		
Цвет <i>Color</i>	от белого до желтого <i>from white to yellow</i>		
Массовая доля сухих веществ, %, не менее <i>Mass fraction of dry matters, %, not less than</i>	95	95	
в том числе лактозы, %, не менее <i>including lactose, %, not less than</i>	45	45	
Кислотность сыворотки, восстановленной до массовой доли сухих веществ 6,5%, °Т, не более <i>Acidity of whey, reconstituted to a mass frac- tion of dry matters 6.5%, °T, not more than</i>	20	75	
Растворимость, мл сырого осадка, не более <i>Solubility, ml of raw sediment, not more than</i>	0,8	0,8	
Массовая доля солей олова в пересчете на олово, %, не более <i>Mass fraction of tin salts in terms of tin, %, not more than</i>	0,01	0,01	
Массовая доля солей меди в пересчете на медь, %, не более <i>Mass fraction of copper salts in terms of copper, %, not more than</i>	0,0008	0,0008	
Наличие солей свинца <i>Presence of lead salts</i>	Не допускается <i>Not allowed</i>		
Показатель <i>Indicator</i>	Значение показателей для сыворотки деминерализованной <i>Indicators value for demineralized whey</i>		
	подсырной с уровнем деминерализации <i>cheese whey with a level of demineralization</i>	творожной с уровнем деминерализации <i>curd whey with a level of demineralization</i>	
	20%	50%	70%
Массовая доля влаги, %, не более <i>Mass fraction of moisture, %, not more than</i>	5,0	3,0	3,0
Массовая доля золы, %, не более <i>Mass fraction of ash, %, not more than</i>	7,2	4,5	3,8
Титруемая кислотность, °Т, не более <i>Titrated acidity, °T, not more than</i>	25	20	40
Индекс растворимости, см ³ сырого осадка, не более <i>Solubility index, cm³ of raw sediment, not more than</i>	0,3		0,5

Сравнивая данные, приведенные в таблице 2, с известным составом сухой молочной сыворотки распылительной сушки следует обратить внимание на зольность и индекс растворимости. Все показатели в пользу деминерализации, что приближает продукт к составу молока-сырья и дает основание для широкомасштабного использования его в технологии традиционных и инновационных изделий функционального назначения. Именно это следует из перечня некоторых показателей (таблица 3) по пищевой и энергетической ценности сыворотки молочной деминерализованной сухой.

Таблица 3. Пищевая и энергетическая ценность сыворотки молочной деминерализованной сухой

Table 3. Nutritional and energy value of demineralized dry whey

Вид сыворотки <i>Type of whey</i>	Содержание в 100 г, г <i>Content in 100 g, g</i>			
	жиры <i>fats</i>	белки <i>proteins</i>	углеводы <i>carbohydrates</i>	энергетическая ценность, ккал <i>energy value, kcal</i>
Сыворотка деминерализованная подсырная сухая с различными уровнями деминерализации, %: <i>Dry demineralized cheese whey with different levels of demineralization, %:</i>				
20	1,0	11,4	68,0	309,6
50	1,3	12,5	74,0	339,2

Биобезопасность и прослеживаемость сухой деминерализованной молочной сыворотки, впрочем, как и без деминерализации, полностью соответствует Техрегламенту Таможенного Союза. Все технологические операции производства (от сырья до упаковки и условия хранения) рассчитаны на получение конкурентоспособного инновационного продукта с полным импортозамещением и возможностью экспорта.

Имеется информация французской фирмы «Novoser» о возможности увеличения степени деминерализации НФ-концентратов МТ диафильтрацией до 70%. Показана также возможность диафильтрацией после нанофильтрации обеспечить уровень деминерализации молочной сыворотки при рН 4,6 на уровне 72% с полным сохранением лактозы [32].

2. На практике диафильтрация достаточно широко масштабирована в молочной промышленности мира и начинает свой «жизненный цикл» в нашей стране при получении белковых концентратов из молочной сыворотки (КСБ) [33]. Пожалуй, можно считать, что существует целая подотрасль [34] со своей спецификой рубрикации: КСБ-30; КСБ-50; КСБ-80; КСБ-90 (изолят). Обобщенная технологическая схема получения концентратов сывороточных белков показана на рисунке 5.

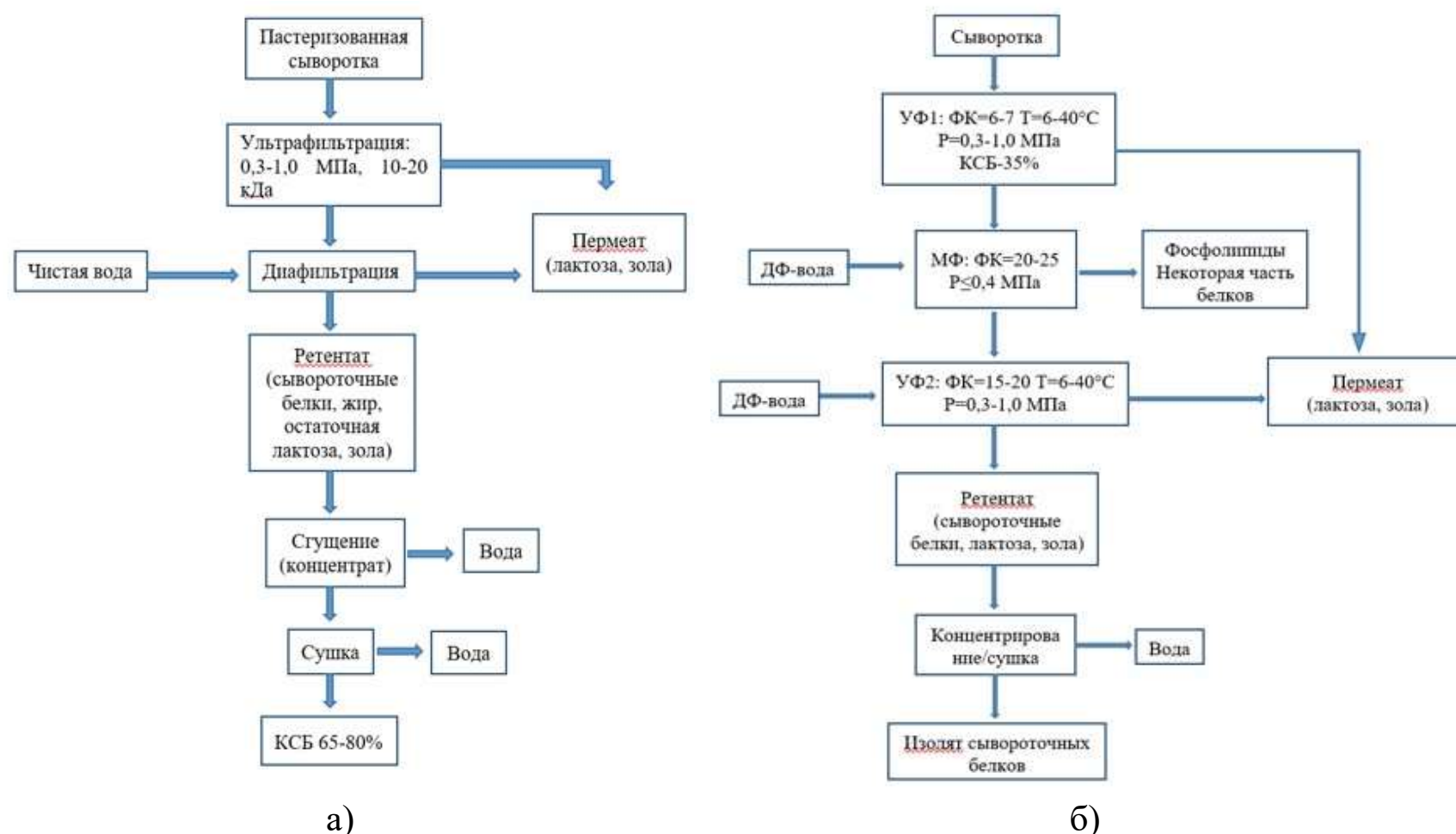


Рисунок 5. Обобщенная технологическая схема получения концентратов сывороточных белков: а) КСБ 80%; б) КСБ 90% (изолят)
Figure 5. Generalized technological scheme for the production of whey protein concentrates: a) CSB 80%; b) CSB 90% (isolate)

Состав белковых концентратов с использованием диафильтрации (80 и 90) в сравнении с 30 показан в таблице 4. Комментарии излишни.

Таблица 4. Состав КСБ 80 и КСБ 90 (изолята) разных производителей (зарубежных) [35]

Table 4. The composition of CSB 80 and CSB 90 (isolate) of different manufacturers (foreign) [35]

Параметр <i>Parameter</i>	Изолят 1 <i>Isolate 1</i>	Изолят 2 <i>Isolate 2</i>	КСБ1 <i>CSB1</i>	КСБ2 <i>CSB2</i>
рН	6,92	6,22	6,23	6,60
Зола, % сухой массы <i>Ash, % dry mass</i>	2,02	2,43	2,79	2,72
Влага, % <i>Moisture, %</i>	4,15	3,37	4,51	4,02
Белок, % сухой массы <i>Protein, % dry mass</i>	93,94	89,88	78,2	80,0
Жир, % сухой массы <i>Fat, % dry mass</i>	0,66	0,50	5,41	5,55
Кальций, мг/100 г <i>Calcium, mg / 100 g</i>	56,6	525,0	529,5	548,0
Магний, мг/100 г <i>Magnesium, mg / 100 g</i>	2,5	122,5	53,20	57,80
Калий, мг/100 г <i>Potassium, mg / 100 g</i>	41,4	422	519,0	519,0
Натрий, мг/100 г <i>Sodium, mg / 100 g</i>	789,0	231,5	157,0	151,0
Фосфат, мг/100 г <i>Phosphate, mg / 100 g</i>	63,4	219,0	339,5	330,5

Из практики Калачеевского молочного завода Воронежской области (фирма «Мол-Вест») можно констатировать, что двойной ультрафильтрацией с разбавлением перед второй УФ концентрата «чистой водой» (фактически диафильтрация) обеспечивается получение качественного КСБ-80, состав которого приведен ниже:

массовая доля влаги – не более 5%;

массовая доля белка в пересчете на сухое вещество – не менее 80%;

массовая доля жира – не более 8%;

массовая доля лактозы – не более 9%.

3. Известно применение диафильтрации в технологии высококачественной лактозы, своего рода инновационное решение в парадигме гибридных нанотехнологий. Данная инновация относится к молочной промышленности и может быть реализована при производстве высококачественного молочного сахара (лактозы) – пищевой и фармакопейной. Способ производства в реалиях МКС предусматривает ультрафильтрацию обезжиренного молока с получением концентрата (ретентата УФ) – белкового комплекса исходного сырья (используется в сыроделии) и фильтрата (пермеата УФ – аналог молочной сыворотки) [36, 37].

Совершенно понятно и логично, что процесс производства может быть начат с использованием любого вида молочной сыворотки или бесказеиновой фазы по изложенному выше алгоритму.

Задачей предлагаемого способа является обеспечение высокого конечного уровня деминерализации сырья, достигаемого без использования электродиализа, за счет совмещения нанофильтрации с диафильтрацией.

Техническим результатом является полное исключение из технологической цепочки производства молочного сахара электродиализа, повышение уровня деминерализации лактозосодержащего сырья после его нанофильтрации до значений 70-90%. Это обеспечивается технологической операцией – диафильтрацией, путем подвода (внесения) чистой (обратно-осмотической) воды к исходному сырью в процессе его НФ-обработки.

Еще одним техническим результатом является то, что диафильтрация приводит к повышению выведения из сырья не только солей (деминерализация), но и других низкомолекулярных соединений, например, молочной кислоты, а также небелкового азота.

Величина фактора объемного сжатия сырья (2,5-3,0), при котором начинают диафильтрацию, была установлена экспериментальным путем в рамках исследований по гибридным технологиям. Именно эта величина позволяет добиться существенного уровня деминерализации (90%) и снизить расход чистой воды.

При этом обеспечивается повышение доброкачественности (чистоты) исходных УФ-пермеатов на 1,2-1,8%, что имеет важное значение при получении высококачественной лактозы. Дополнительным положительным техническим результатом является то, что процесс наноконцентрирования и диафильтрации можно вести через «молекулярное сито» – мембраны – до достижения сухих веществ 23-25%, что обеспечивает значительную экономию энергоресурсов при последующем сгущении сырья на вакуум-выпарной установке.

В целом данный способ производства молочного сахара, предусматривающий ультрафильтрацию обезжиренного молока, нанофильтрацию УФ-пермеата, сгущение, кристаллизацию лактозы, отделение кристаллов лактозы, сушку, отличается тем, что нанофильтрацию проводят до уровня деминерализации 70-90% и содержания сухих веществ 23-25%. Для достижения требуемого уровня деминерализации используют диафильтрацию, которую начинают при величине фактора объемного сжатия сырья 2,5-3,0. Сгущение проводят на вакуум-аппарате до содержания сухих веществ 59-61%. Кристаллизацию лактозы проводят с темпом

охлаждения 2-5°C/час до температуры 10-12°C в течение 18-22 часов, отделяют кристаллы от маточного раствора, промывают и сушат. Готовый продукт – высококачественная лактоза, аналогична получаемой по традиционной технологии с заметным сокращением затрат на производство, за счет исключения электродиализной обработки. Технология подлежит масштабированию.

Следует здесь же заметить, что получаемый в результате нанофильтрации и диафильтрации фильтрат (пермеат) может рассматриваться в качестве «молочной воды» для получения товарного продукта с добавленной стоимостью, что реализовано на МКС [31, 38].

Кроме вышеуказанного оригинального направления, традиционно нано- и диафильтрат на МКС подвергается обратноосмотической обработке (ОО) на специальной установке. После этого фильтрат ОО в качестве «чистой воды» – дистиллята, полностью используется для технологических нужд, в частности, для разбавления концентратов (ретентатов) нанофильтрации при их диафильтрации, а также производства товарной питьевой воды с расфасовкой в полиэтиленовые пакеты емкостью 1 л. Таким образом, на МКС реализован замкнутый цикл переработки молока-сырья с полным использованием всех видов молочной сыворотки. Это полностью соответствует зарубежным новациям молочного дела [38].

В заключение хотелось бы вернуться к диафильтрации, как «гадкому утенку», имея в виду разбавление молочных концентратов (ретентантов) или подсушенной молочной сыворотки водой (желательно чистой на уровне конденсата/дистиллята). В молочном деле всегда внесение воды (разбавление) считалось крайне нежелательным и даже преступным. В древнем Риме охрана города делала экспресс-анализ молока селян – «капля на ноготь». Если капля растекалась (разбавление водой) – полный запрет ввоза товара в город и расследование. А в нашем случае диафильтрация с обязательным внесением значительных количеств воды превращает концентрат в «прекрасного лебедя» – идеальный состав для получения «изумительной пищи». При этом получаемый в результате фильтрат (пермеат) логически, в рамках гибридных МТ, направляется в систему обратного осмоса для получения чистой дистиллированной воды, которая, естественно, предназначена для использования при диафильтрации. Цикл переработки исходного молочного сырья замкнулся!

Непредвзятый анализ изложенного выше позволяет совершенно однозначно считать, что гибридная схема МТ с ДФ является **законченным технологическим циклом молочного дела** и реальным возвратом чистой «молочной воды» в основное производство молочных/молокосодержащих продуктов после ОО либо ее (просто «молочная вода», обогащенная ценнейшими нутриентами молока) выводом в качестве товарного продукта с добавленной стоимостью после ДФ. Фильтраты (пермеаты) МФ, УФ и НФ с диафильтрацией концентрата (ретентата) и появлением вторичного фильтрата должны рассматриваться как «молочная вода» процесса ОО или создания нового ассортимента молочной продукции для непосредственного потребления функционального и даже лечебного назначения (аналог минеральных вод биоЭКОпроисхождения).

Заключение. В принципе, диафильтрация пока мало известна в молочном деле, должна рассматриваться как дополнительный пакет к микрофильтрации, ультрафильтрации и особенно (идеал) нанофильтрации для направленного и управляемого регулирования содержания низкомолекулярных соединений в концентратах (ретентатах) МТ (минералы, азотсодержащие и кислоты) при необходимости для готовой продукции (ингредиентах): белковых концентратах, деминерализованной сыворотке и высококачественной лактозе, например, в рецептуры для детского, диетического и даже лечебного питания функционального назначения с добавленной стоимостью.

Благодарность: Профессору Евдокимову И.А., его аспиранту Школе С.С. и кандидату техн. наук Анисимову Г.С. за консультативную помощь и представление материалов по тематике статьи.

Acknowledgment: To the professor Evdokimov I.A., his graduate student Shkola S.S. and Ph.D. Sciences Anisimov G.S. for advisory assistance and provision of materials on the subject of the article.

Список источников

1. Липатов Н.Н., Марьин В.А., Фетисов Е.А. Мембранные методы разделения молока и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1976. 168 с.
2. Тамим А.И. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов. СПб.: Профессия, 2016. 420 с.
3. Гаврилов Г.Б., Просеков А.Ю., Кравченко Э.Ф., Гаврилов Б.Г. Справочник по переработке молочной сыворотки. Технологии, процессы и аппараты, мембранное оборудование. СПб: ИД Профессия, 2015. 176 с.
4. Синельников Б.М., Храмцов А.Г., Евдокимов И.А., Рябцева С.А., Серов А.В. Лактоза и её производные. СПб.: Профессия, 2011. 768 с.
5. Храмцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2011. 804 с.
6. Храмцов А.Г. Новаиии молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2016. 490 с.
7. Храмцов А.Г. Инновационные технологии промышленной переработки и использования молочной сыворотки. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2014. 147 с.
8. Соколова А.С. Применение мембранных методов для получения инновационных продуктов с высокой добавленной стоимостью // Переработка молока. 2020. № 5. С. 56-61.
9. Харитонов В.Д. Глубокая переработка молочного сырья и вторичных ресурсов // Молочная промышленность. 2018. № 6. С. 30-31.
10. Володин Д.Н., Золоторёва М.С., Костюк А.В., Топалов В.К., Евдокимов И.А., Чаблин Б.В., Гридин А.С. Использование сывороточных ингредиентов в производстве продуктов питания // Молочная промышленность. 2017. № 2. С. 65-67.
11. Золоторёва М.С., Володин Д.Н., Евдокимов И.А., Харитонов В.Д. Мембранные технологии для обеспечения эффективности и безопасности молочного производства // Молочная промышленность. 2018. № 5. С. 36-39.
12. Володин Д.Н., Гридин А.С., Евдокимов И.А. Перспективы производства сухих белковых ингредиентов на основе сухого молочного сырья // Молочная промышленность. 2020. № 1. С. 28-30.
13. Пономарёв А.Н., Мельникова Е.И., Богданова Е.В. Молочная сыворотка как сырьевой ресурс для производства пищевых ингредиентов // Молочная промышленность. 2018. № 7. С. 38-39.
14. Мельникова Е.И., Богданова Е.В., Павельева Д.А. Мировой и российский рынок сывороточных ингредиентов // Молочная промышленность. 2020. № 8. С. 56-58.
15. Лялин В.А., Михеев М.С. Мембранные технологии для повышения эффективности переработки молока // Молочная промышленность. 2018. № 1. С. 36.
16. Зябрев А.Ф. Производство сухого концентрата сывороточных белков // Переработка молока. 2008. № 7. С. 40-42.
17. Смирнов В.Б., Царьков С.Е., Сидоркин И.А. Мембранные методы в молочной промышленности. Ч. 1. Пилотные испытания, как часть проектирования промышленных систем // Молочная промышленность. 2019. № 5. С. 52-53.
18. Chandrapala J., Duke M.C., Gray S.R., Weeks M., Palmer M., Vasiljevic T. Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature // Separation and Purification Technology. 2016. Vol. 160. P. 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.12.046>.

19. Sofia Ramos Cabral, Beatriz Monjardino de Brito de Azevedo, Miguel Pereira da Silva, Ana Sofia Figueiredo, Antynio Pedro Louro Martins, Maria Norberta de Pinho Optimization of cheese whey ultrafiltration / diafiltration for the production of beverage liquid protein concentrates with lactose partially removed // *Journal of Membrane Science and Research*. 2019. № 5. P. 172-177. <https://doi.org/10.22079/JMSR.2018.92367.1208>.
20. Sama A. Al-Mutwalli, Mehmet Dilaver, Derya Y. Koseoglu-Imer Performance evaluation of ceramic membrane on ultrafiltration and diafiltration modes for efficient recovery of whey protein // *Journal of Membrane Science and Research*. 2020. № 6. P. 138-146. <https://doi.org/10.22079/JMSR.2019.115152.1295>.
21. Храмов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки. М.: ДеЛиПринт, 2004. 587 с.
22. Храмов А.Г., Сергеев В.Н. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхоз сырья. Нанофильтрация // *Аграрно-пищевые инновации*. 2020. Т. 12, № 4. С. 7-19. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-12-7-19>.
23. Гордиенко М.Г., Баурин Д.В., Кареткин Б.А., Шакир И.В., Панфилов В.И. Статистическая обработка результатов пассивного и активного эксперимента в биотехнологии. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 108 с.
24. Дёмин И., Шальк Г. Пять шагов к полной прослеживаемости продукции // *Молочная промышленность*. 2018. № 2. С. 22-23.
25. Жидков В.Е., Горностаева Ж.В., Чернышева Ю.С. и др. Теоретические и методологические основы качества и безопасности продовольственных товаров. Ставрополь: Сервисшкола, 2019. 108 с.
26. Кролл Я. Микрофильтрация для подготовки сыворотки к мембранной обработке // *Молочная промышленность*. 2021. № 1. С. 39.
27. Храмов А.Г. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхоз сырья. Ультрафильтрация // *Аграрно-пищевые инновации*. 2020. Т. 11, № 3. С. 7-22. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-11-7-22>.
28. Золотарёва М.С., Топалов В.К. Мембранные процессы в технологии переработки сыворотки // *Переработка молока*. 2014. № 4. С. 10-12.
29. Евдокимов И.А., Бабенышев С.П. Баромембранное разделение жидких полидисперсных систем. Ставрополь: СевКавГТУ, 2007. 123 с.
30. Храмов А.Г. Только вперёд! К 65-летию профессора Ивана Алексеевича Евдокимова. Ставрополь, 2020. 217 с.
31. Talebi S., Suarez F., Chen G. Q., Chen X., Bathurst K., Kentish S.E. A pilot study on the removal of lactic acid and minerals from acid whey using membrane technology // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2020. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06561>.
32. Pan K., Song Q., Wang L., Cao B. A study of demineralization of whey by nanofiltration membrane // *Desalination*. 2011. Vol. 267. P. 217-221. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.09.029>.
33. Козлов Н.С. Молочные белки как универсальный ингредиент // *Молочная промышленность*. 2021. № 1. С. 27.
34. Анисимов Г.С., Ахмедова В.Р., Богоровская М.А., Рябцева С.А., Лодыгин А.Д., Баранов С.А. Микробиологические показатели белковых концентратов // *Молочная промышленность*. 2021. № 1. С. 40-43. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-01-40-43>.
35. Carunchia Whetstine M.E., Croissant A.E., Drake M.A. Characterization of dried whey protein concentrate and isolate flavor // *Journal of Dairy Science*. 2005. Vol. 88. № 11. P. 3826-3839.
36. Школа С.С., Дыкало Н.Я., Анисимов Г.С., Евдокимов И.А., Кравцов В.А., Ахмедова В.Р., Мартак А.А., Метель В.С. Способ производства молочного сахара // *Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели»*. 2020. Бюл. № 31. 3 с.
37. Тимкин В.А., Мазина О.А., Пищиков Г.Б. Разработка нанобиомембранной технологии производства лактозы как фактор производственной безопасности // *Известия Уральского государственного экономического университета*. 2014. № 3 (53). С. 97- 102.

38. Сорен Ноёр Бак Эффективное повторное использование «молочной» воды – опыт одного года // Молочная промышленность. 2018. № 2. С. 28-29.

References

1. Lipatov N.N., Maryin V.A., Fetisov E.A. Membrane methods for separating milk and milk products. Moscow: Food Industry Publ.; 1976. 168 p. (In Russ.).
2. Tamim A.I. Membrane technologies in the production of beverages and dairy products. St. Petersburg: Profession Publ.; 2016. 420 p. (In Russ.).
3. Gavrilov G.B., Prosekov A.Yu., Kravchenko E.F., Gavrilov B.G. Handbook of whey processing. Technologies, processes and devices, membrane equipment. St. Petersburg: Profession Publ.; 2015. 176 p. (In Russ.).
4. Sinelnikov B.M., Khramtsov A.G., Evdokimov I.A., Ryabtseva S.A., Serov A.V. Lactose and its derivatives. St. Petersburg: Profession Publ.; 2011. 768 p. (In Russ.).
5. Khramtsov A.G. Whey phenomenon. St. Petersburg: Profession Publ.; 2011. 804 p. (In Russ.).
6. Khramtsov A.G. Whey innovations. St. Petersburg: Profession Publ.; 2016. 490 p. (In Russ.).
7. Khramtsov A.G. Innovative technologies for industrial processing and use of whey. Stavropol: SKFU Publ.; 2014. 147 p. (In Russ.).
8. Sokolova A.S. Application of membrane methods to obtain innovative products with high added value. *Pererabotka moloka = Milk processing*. 2020;(5):56-61. (In Russ.).
9. Haritonov V.D. Deep processing of raw milk materials and secondary resources. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2018;(6):30-31. (In Russ.).
10. Volodin D.N., Zolotareva M.S., Kostyuk A.V., Topalov V.K., Evdokimov L.A., Chablin B.V., Gridin A.S. Application of whey ingredients in foods production. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2017;(2):65-67. (In Russ.).
11. Zolotareva M.S., Volodin D.N., Evdokimov E.A., Haritonov V.D. Membrane technologies for ensuring efficiency and safety of milk processing. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2018;(5):36-39. (In Russ.).
12. Volodin D.N., Gridin A.S., Evdokimov I.A. Prospects of the production of dry protein ingredients based on the milk raw materials. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2020;(1):28-30. (In Russ.).
13. Ponomarev A.N., Melnikova E.I., Bogdanova E.V. Milk whey as a raw material for the production of food ingredients. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2018;(7):38-39. (In Russ.).
14. Melnikova E.I., Bogdanova E.V., Paveleva D.A. The world and Russian market of whey ingredients. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2020;(8):56-58. (In Russ.).
15. Lyalin V.F., Mikheev M.S. Membrane technology to improve the efficiency of milk processing. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2018;(1):36. (In Russ.).
16. Zyabrev A.F. Production of dry concentrate of whey proteins. *Pererabotka moloka = Milk processing*. 2008;(7):40-42. (In Russ.).
17. Smirnov V.B., Tsar'kov S.E., Sidorkin I.A. Membrane methods in the dairy industry. The part 1. Pilot trials as a part of the industrial systems design. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2019;(5):52-53. (In Russ.).
18. Chandrapala J., Duke M.C., Gray S.R., Weeks M., Palmer M., Vasiljevic T. Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature. *Separation and Purification Technology*. 2016;(160):18-27. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.12.046>.
19. Sofia Ramos Cabral, Beatriz Monjardino de Brito de Azevedo, Miguel Pereira da Silva, Ana Sofia Figueiredo, Antynio Pedro Louro Martins, Maria Norberta de Pinho Optimization of cheese whey ultrafiltration/diafiltration for the production of beverage liquid protein concentrates with lactose partially removed. *Journal of Membrane Science and Research*. 2019;(5):172-177. <https://doi.org/10.22079/JMSR.2018.92367.1208>.

20. Sama A. Al-Mutwalli, Mehmet Dilaver, Derya Y. Koseoglu-Imer Performance evaluation of ceramic membrane on ultrafiltration and diafiltration modes for efficient recovery of whey protein. *Journal of Membrane Science and Research*. 2020;(6):138-146. <https://doi.org/10.22079/JMSR.2019.115152.1295>.
21. Khramtsov A.G., Nesterenko P.G. Technology of whey products. M.: DeLiPrint Publ.; 2004. 587 p. (In Russ.).
22. Khramtsov A.G., Sergeev V.N. Technological breakthrough of the agrarian-and-food innovations in dairy case for example of universal agricultural raw materials. Nanofiltration. *Agrarno-pishchevye innovacii = Agrarian-and-food innovations*. 2020;4(12):7-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-12-7-19>.
23. Gordienko M.G., Baurin D.V., Karetkin B.A., Shakir I.V., Panfilov V.I. Statistical processing of results of passive and active experiments in biotechnology. Moscow: D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia Publ.; 2015. 108 p. (In Russ.).
24. Demin I., Schalk G. Five steps towards complete traceability of the products. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2018;(2):22-23. (In Russ.).
25. Zhidkov, V.E., Gornostaeva Z.V., Chernysheva Y.S. et al. Theoretical and methodological bases of quality and safety of food products. Stavropol: Service school Publ.; 2019. 108 p. (In Russ.).
26. Kroll J. Microfiltration to prepare whey for membrane treatment. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2021;(1):39. (In Russ.).
27. Khramtsov A.G. Technological breakthrough of the agrarian-and-food innovations in dairy case for example of universal agricultural raw materials. Ultrafiltration. *Agrarno-pishchevye innovacii = Agrarian-and-food innovations*. 2020;3(11):7-22. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-11-7-22>.
28. Zolotoryova M.S., Topalov M.S. Membrane processes in whey processing technology. *Pererabotka moloka = Milk processing*. 2014;(5):10-12. (In Russ.).
29. Evdokimov I.A., Babenyshev S.P. Baromembrane separation of liquid polydisperse systems. Stavropol: North-Caucasus STU Publ.; 2007. 123 p. (In Russ.).
30. Khramtsov A.G. Only forward! To the 65th anniversary of Professor Ivan Alekseevich Evdokimov. Stavropol, 2020. 217 p. (In Russ.).
31. Talebi S., Suarez F., Chen G. Q., Chen X., Bathurst K., Kentish S.E. A pilot study on the removal of lactic acid and minerals from acid whey using membrane technology. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2020. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06561>.
32. Pan K., Song Q., Wang L., Cao B. A study of demineralization of whey by nanofiltration membrane. *Desalination*. 2011;(267):217-221. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.09.029>.
33. Kozlov N.S. Milk proteins as a versatile ingredient. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2021;(1):27. (In Russ.).
34. Anisimov G.S., Akhmedova V.R., Bogorovskaya M.A., Ryabtseva S.A., Lodygin A.D., Baranov S.A. Microbiological parameters of protein concentrates *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2021;(1):40-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-01-40-43>.
35. Carunchia Whetstine M.E., Croissant A.E., Drake M.A. Characterization of dried whey protein concentrate and isolate flavor. *Journal of Dairy Science*. 2005;88(11):3826-3839.
36. Shkola S.S., Dykalo N.Ya., Anisimov G.S., Evdokimov I.A., Kravtsov V.A., Akhmedova V.R., Martak A.A., Metel V.S. Milk sugar production method. Patent RF. 2020. Bulletin no. 31. 3 p. (In Russ.).
37. Timkin V.A., Mazina O.A., Pishchikov G.B. Developing the nanobio-membrane lactose manufacturing technology as a factor of food security. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Bulletin of the Ural State University of Economics*. 2014;53(3):97-102. (In Russ.).

38. Soren Nohr Bak Efficiency of the "milk" water reusing – one year experience. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*. 2018;(2):28-29. (In Russ.).

Вклад автора: Андрей Г. Храмов рассмотрел диафильтрацию, как процесс мембранной технологии, проанализировал данные. Автор несет ответственность за плагиат и самоплагиат.

Author's contribution: Andrey G. Khramtsov considered reverse diafiltration as a process of membrane technology and analyzed data. Author is responsible for plagiarism and self-plagiarism.

Конфликт интересов. Автор заявляет, что никакого конфликта интересов в связи с публикацией данной статьи не существует.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Статья поступила в редакцию / *The article was submitted:* 29.11.2021;
одобрена после рецензирования / *approved after reviewing:* 07.06.2022;
принята к публикации / *accepted for publication:* 09.06.2022