

**ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ  
/ INNOVATIVE DEVELOPMENTS**Обзорная статья / *Review article*

УДК 637.1

DOI: 10.31208/2618-7353-2020-12-7-19

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ  
АГРАРНО-ПИЩЕВЫХ ИННОВАЦИЙ МОЛОЧНОГО ДЕЛА  
НА ПРИМЕРЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ.***Наночелчтрация***TECHNOLOGICAL BREAKTHROUGH OF THE AGRARIAN-AND-FOOD  
INNOVATIONS IN DAIRY CASE FOR EXAMPLE OF UNIVERSAL  
AGRICULTURAL RAW MATERIALS.***Nanofiltration*<sup>1</sup>Андрей Г. Храмцов, доктор технических наук, профессор, академик РАН<sup>2</sup>Валерий Н. Сергеев, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН<sup>1</sup>*Andrey G. Khramtsov, doctor of technical sciences, professor, academician of RAS*<sup>2</sup>*Valery N. Sergeev, doctor of technical sciences, professor, correspondent member of RAS*<sup>1</sup>Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь<sup>2</sup>Академия продовольственной безопасности, Москва<sup>1</sup>*North-Caucasus Federal University, Stavropol*<sup>2</sup>*Academy of food safety, Moscow**Продолжение статей, напечатанных в № 2-11, 2018-2020 гг.***Контактное лицо:** Андрей Г. Храмцов, доктор технических наук, профессор, академик РАН, профессор-консультант кафедры прикладной биотехнологии Института живых систем, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь.E-mail: akhramtcov@ncfu.ru; тел. +79624477823; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5188-4657>**Формат цитирования:** Храмцов А.Г., Сергеев В.Н. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхозсырья. Наночелчтрация // Аграрно-пищевые инновации. 2020. Т. 12, N 4. С. 7-19. DOI: 10.31208/2618-7353-2020-12-7-19**Principal Contact:** Andrey G. Khramtsov, Dr Technical Sci., Professor, Academician of RAS and Professor-consultant of the Department of Applied Biotechnology, Institute of Life Science, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia.E-mail: akhramtcov@ncfu.ru; Russia, tel. +79624477823; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5188-4657>**How to cite this article:** 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. *Agrian-and-food innovations*, 2020, vol. 12, no. 4, pp. 7-19. (In Russian) DOI: 10.31208/2618-7353-2020-12-7-19**Резюме****Цель.** Рассмотреть наночелчтрацию, как процесс мембранной технологии – направленной и управляемой фильтрации молочной сыворотки через специальные полупроницаемые перегородки (фильтры – мембраны) с размером пор 1-5 нм, осуществляемый при давлении 0,7-4,0 МПа с выделением частиц молекулярной массой 0,5-1,0 кДа.

**Обсуждение.** Наночелтафртрация позволяет разделять молочную сыворотку, как систему, по размерам составляющих компонентов – микрочастиц и макромолекул. При этом из предварительно сепарированной, обработанной микрофилтратцией и ультрафилтратцией молочной сыворотки в наноконцентрат (ретентат) переходят практически все соединения молочной сыворотки, а в наночелтафрат (пермеат) – только одновалентные ионы минеральных солей и частично – некоторые органические кислоты. Наночелтафртрация, в логистике молекулярно-ситового разделения молочной сыворотки, принимает эстафету от ультрафилтратции и является предвестником обратного осмоса. Теоретические основы процесса наночелтафртрации разработаны на достаточно хорошем уровне. Базовым элементом процесса являются мембраны. На основании проведенных исследований можно рекомендовать процесс наночелтафртрации для промышленной переработки соленой сыворотки на молочный сахар (лактозу) и для концентрирования молочной сыворотки и ее ультрафилтратов перед электродиализным или ионообменным обессоливанием. Наночелтафртрация уже достаточно широко применяется при производстве высококачественной лактозы (молочного сахара). Значительный интерес представляет наночелтафртрация творожной (кислой) сыворотки с целью концентрирования, деминерализации и сенсорики наноконцентрата для обогащения мороженого.

**Заключение.** Наночелтафртрация совершенно обосновано может использоваться для переработки, в рамках Технологического Прорыва, универсального сельскохозяйственного сырья – на примере молочной сыворотки и ее ультрафилтратов – с целью концентрирования, направленной деминерализации, снижения уровня органических кислот и управления сенсорикой. Получаемый наноконцентрат (ретентат) может быть использован для масштабирования продуктов функционального назначения.

**Ключевые слова:** наночелтафраты молочного сырья; молочная сыворотка; наночелтафртрация.

#### **Abstract**

**Aim.** Consideration nanofiltration as a process of membrane technology – directed and controlled filtration of whey through special semipermeable partitions (membrane filters) with a pore size of 1-5 nm, carried out at a pressure of 0.7-4.0 MPa with the release of particles with a molecular weight of 0.5-1.0 kDa.

**Discussion.** Nanofiltration allows you to separate the whey as a system by the size of the components – microparticles and macromolecules. In this case, from pre – separated, processed by microfiltration and ultrafiltration of whey to nanoconcentrate (retentate) pass almost all the compounds of whey, and in nanofiltrate (permeate) - only monovalent ions of mineral salts and partially some organic acids. Nanofiltration, in the logistics of molecular sieve separation of whey, takes over from ultrafiltration and is a harbinger of reverse osmosis. The theoretical foundations of the nanofiltration process are developed at a fairly good level. The basic element of the process is the membranes. Based on the conducted research, we can recommend the nanofiltration process for industrial processing of salted whey into milk sugar (lactose) and for concentrating whey and its ultrafiltrates before electro dialysis or ion exchange desalination. Nanofiltration is already widely used in the production of high-quality lactose (milk sugar). Considerable interest nanofiltration cottage cheese (acid) whey with the purpose of concentration, demineralization and sensory nanoconcrete for the enrichment of ice cream.

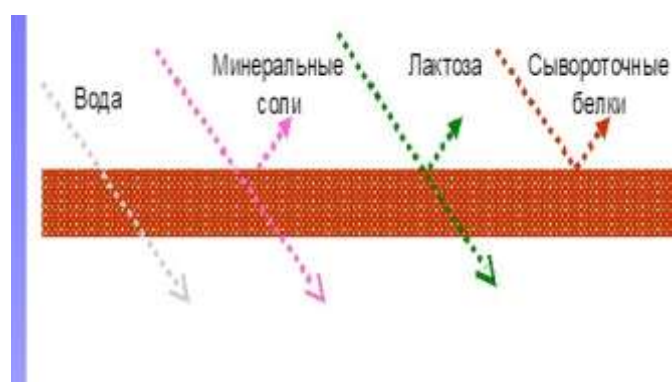
**Conclusion.** Nanofiltration can be quite reasonably used for processing, within the framework of the Technological Breakthrough, universal agricultural raw materials – for example, whey and its ultrafiltrates – for the purpose of concentration, directed demineralization, lowering the level of organic acids and controlling sensorics. The resulting nanoconcentrate (retentate) can be used to scale functional products.

**Key words:** nanofiltrate raw milk, whey, nanofiltration.

**Введение.** Наночелтафртрация – процесс мембранной технологии [7] – направленной и управляемой филтратции молочной сыворотки через специальные полупроницаемые перегородки (филтраты – мембраны) с размером пор 1-5 нм, осуществляемый при давлении 0,7-4,0 МПа с выделением частиц молекулярной массой 0,5-1,0 кДа. Наночелтафртрация позволяет

разделять молочную сыворотку, как систему, по размерам составляющих компонентов – наночастиц и даже ионов. При этом из предварительно сепарированной (или микрофильтрованной) и обработанной ультрафильтрацией молочной сыворотки в наноконцентрат (ретентат) переходят практически все соединения исходного сырья, а в нанофильтрат (пермеат) – вода, одновалентные ионы минеральных солей и частично – некоторые органические кислоты [13, 14, 15, 19, 22].

На рисунке 1 схематично показан процесс нанофильтрации применительно к молочной сыворотке и ее ультрафильтратам (предпочтительно).



**Рисунок 1.** Схема процесса нанофильтрации молочной сыворотки и ее ультрафильтратов  
*Figure 1.* Diagram of the process of ultrafiltration of whey

Из приведенной иллюстрации совершенно четко следует, что нанофильтрация позволяет получать (выделять) из предварительно сепарированной [9] или обработанной микрофильтрацией молочной сыворотки и бесказеиновой фазы (после обработки полисахаридами и/или мембранными методами молока-сырья) в наноконцентрат – НК (ретентат) – практически все соединения исходного сырья (аналог обратному осмосу), за исключением ионной фазы и некоторых низкомолекулярных веществ, а в нанофильтрат – НФ (пермеат) – одновалентные ионы минеральных солей и некоторые органические кислоты [17, 20, 21].

Необходимо обратить внимание, что нанофильтрация появилась в научных исследованиях и на практике недавно, как развитие ультрафильтрации с ее переходом (через диафильтрацию) в обратный осмос [20, 21]. В то же время нанофильтрация уже имеет место быть в процессах сыроделия. В настоящее время считается [8, 22], что нанофильтрация перспективна в производстве мягких сыров за счет изменения минерального состава исходного сырья. А практически нанофильтрация предназначается и используется для переработки ультрафильтратов молочной сыворотки и обезжиренного молока (от сыроделия).

Нанофильтрация, в логистике молекулярно-ситового разделения молочной сыворотки, принимает эстафету от ультрафильтрации, является предвестником диафильтрации и заменой обратного осмоса.

Теоретические основы нанофильтрации в рамках мембранного разделения разработаны на достаточно хорошем уровне [8]. Базовым элементом процесса нанофильтрации являются мембраны [8, 15]. Современное баромембранное оборудование может оснащаться двумя типами полупроницаемых мембран: из органических материалов (полимерные) и неорганических материалов (керамические) (рисунок 2) [18].



а)



б)

**Рисунок 2.** Полупроницаемые мембраны:

а) трубчатый мембранный модуль; б) полволоконный мембранный модуль

**Figure 2.** Semipermeable membranes: a) tubular membrane module; b) hollow Fiber module

Системная информация по современным мембранам (элементам) для нанофильтрации приведена в таблице 1 [2].

**Таблица 1.** Нанофильтрационные мембранные элементы

**Table 1.** Nanofiltration membrane elements

Материал мембраны <i>Membrane material</i>		Полипиперазанамид PM33H с отсечкой белков свыше 200 дальтон по молекулярному весу <i>Polyperazanamide PM33H with proteins cut-off over 200 daltons by molecular weight</i>			
Тип мембраны <i>Membrane type</i>		Рулонный с внешним турбулизатором Разделение и концентрирование белков <i>Roll with external turbulator Separation and concentration of proteins</i>			
Модель <i>Model</i>	Производительность, л/ч <i>Productivity, l/h</i>	GPD	Селективность, % <i>Selectivity, %</i>	Площадь, м <sup>2</sup> <i>Area, m<sup>2</sup></i>	Турбулизатор, мм <i>Turbulizer, mm</i>
3838-1	330	2100	50/96	7,1	0,8
3838-2	210	1300	50/96	5,7	1,2
3839-1	350	2200	50/96	7,1	0,8
3839-2	220	1400	50/96	5,7	1,2
3938-1	360	2300	50/96	7,4	0,8
3938-2	230	1450	50/96	5,9	1,2
8038-1	1600		50/96	34,5	0,8
8038-2	1200		50/96	27	1,2

Конструктивно нанофильтрационные установки различаются организацией движения потоков и уровнем управления. На рисунке 3 приведена нанофильтрационная установка компании «Кизельман-Рус», которая позволяет обрабатывать 50 тонн исходного сырья (молочной сыворотки) в сутки.



**Рисунок 3.** Нанофильтрационная установка производительностью 50 тонн сыворотки в сутки фирмы «Кизельман»

**Figure 3.** Nanofiltration installation with a capacity of 50 tonnes of serum a day the company «Kiselman»

В нашем творческом коллективе ведущей научной школы федерального уровня 7510.2010.4 «Живые Системы» при СКФУ изучение процессов нанофильтрационного разделения молочной сыворотки и ультрафильтратов осуществляется в направлении переработки соленой сыворотки и производства высококачественной лактозы [3]. Системные исследования по нанофильтрации молочной сыворотки, в т. ч. и особенно кислой (на примере творожной) проведены в ВГМХА им. Н.В. Верещагина.

**Объекты и методология познания.** В качестве объектов для исследований процесса нанофильтрации могут быть использованы все виды молочной сыворотки. А в практическом плане нанофильтрация предназначена для обработки УФ-фильтратов молочного сырья всех видов – молоко цельное, молоко обезжиренное, пахта, безказеиновая фаза и молочная сыворотка (подсырная, творожная). Их среднестатистический состав показан в таблице 2.

**Таблица 2.** Переход в фильтрат основных компонентов в процессе ультрафильтрации, %  
**Table 2.** Transition to the filtrate of the main components during ultrafiltration, %

Показатель <i>Indicator</i>	Сухие вещества <i>Dry substances</i>	Белок <i>Protein</i>	Лактоза <i>Lactose</i>	Жир <i>Fat</i>	Зола <i>Ash</i>
Цельное молоко <i>Whole milk</i>	5,18		4,45	-	0,43
Обезжиренное молоко <i>Skimmed milk</i>	5,01	0,21	5,94	0,28	1,55
Пахта <i>Buttermilk</i>	5,1	0,28	4,25	0,3	0,56
Безказеиновая фаза <i>Casein-free phase</i>	6,5	0,9	5,2	-	0,40
Подсырная сыворотка <i>Cheese whey</i>	5,1-5,4	0,2-0,24	4,2-4,8	-	0,5-0,75
Творожная сыворотка <i>Curd serum</i>	5,2-5,6	0,2-0,24	4,2-4,8	-	0,6-0,9

Методы исследований включали общепринятые в отрасли (сухие вещества, лактоза, молочный жир, белковые соединения, минеральный комплекс, активная и титруемая кислотности). В частности, для измерения концентрации ионов минеральных солей использовали иономер рХ-150МИ (рисунок 4) с электродной системой, состоящей из измерительного ионоселективного электрода и электрода сравнения ЭСр-10103.



**Рисунок 4.** Лабораторный иономер рХ-150МИ  
**Figure 4.** Laboratory ionomer RH-150MI

Определение свободных органических кислот в сыворотке и НФ-концентратах проводили методом газожидкостной хроматографии (Скурихин И.М., Тутельян В.А., 1998).

Массовую долю органической кислоты определяли по формуле:

$$C = \frac{A_1 \times C_{ст} \times 100 \times K}{A_2 \times C_{пр}},$$

где: С – массовая доля кислоты, %;

$K$  – поправочный коэффициент для данной кислоты;

$C_{ст}$  – масса навески стандарта, мг;

$A_c$  – площадь пика стандарта, в относительных единицах;

$C_{пр}$  – масса навески продукта;

$A_1$  – площадь пика данной кислоты, в относительных единицах.

Математическая (статистическая) обработка результатов исследований для оценки достоверности получаемых результатов проводилась в соответствии с методическими указаниями (Гордиенко М.Г. и др., 2015).

Прослеживаемость и безопасность получаемых продуктов в логистике проводимых исследований и опытно-промышленных испытаний осуществлялась в соответствии с принятыми в настоящее время нормативами [4].

**Обсуждение.** Процесс нанофильтрации по своей функции (размеру пор мембран) располагается между ультрафильтрацией и обратным осмосом [3, 5, 12]. Для него характерно наличие мембран, способных задерживать лактозу универсального сельскохозяйственного сырья – молочной сыворотки, ультрафильтратов любого молочного сырья, а также бесказеиновой фазы, пропуская минеральные компоненты в ионной форме и некоторые органические кислоты (например, молочную, регулируя pH). Такая избирательность оказывается весьма интересной, применительно к переработке, например, соленой сыворотки от производства ряда ассортиментной группы сыров.

В таблице 3 показан известный состав продуктов нанофильтрации от исходного сырья до получаемых ретентата (концентрата) и пермеата (фильтрата) [2].

**Таблица 3.** Нанофильтрация молочной сыворотки

*Table 3. Nanofiltration of whey*

Показатель <i>Indicator</i>	Значение показателя, % <i>Indicator value, %</i>		
	исходная сыворотка <i>starting serum</i>	ретентат <i>retentate</i>	пермеат <i>permeate</i>
Сухие вещества <i>Dry substances</i>	6,2	18,0	1,08
Лактоза <i>Lactose</i>	4,55	14,2	0,26
Белок <i>Protein</i>	0,6	2,02	0,01
Небелковые азотистые вещества <i>Non-protein nitrogenous substances</i>	0,2	0,35	0,17
Молочный жир <i>Milk fat</i>	0,05	0,17	0,00
Молочная кислота <i>Lactic acid</i>	0,2	0,28	0,18
Минеральные вещества <i>Mineral matters</i>	0,6	0,97	0,46

Далее производители могут определять направления применения полученных продуктов для обеспечения добавочной стоимости готовых изделий пищевого и кормового назначения, а также «молочной воды». В исследованиях СевКавГТУ (н/в СКФУ) использовалась нанофильтрационная мембрана из полисульфона с композитными добавками, предоставленная Всероссийским научно-исследовательским институтом синтетических смол (г. Владимир). Эксперименты проводили в статических условиях с применением мембранной ячейки, изготовленной из нержавеющей стали. Перемешивание осуществляли магнитной мешалкой, давление создавали через ресивер из баллона со сжатым

воздухом. Подложку для мембраны изготовили из пористого титана. Температура концентрирования  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , давление  $(2,2 \pm 0,1)$  МПа.

Процесс нанофильтрации изучали на 2-х видах лактозосодержащего сырья: натуральная подсырная и соленая сыворотка. Соленую сыворотку получали путем добавления 2% хлористого натрия в натуральную. Из подсырной сыворотки удалили жир и казеиновую пыль сепарированием, после чего сыворотку заливали в ячейку, создавали перемешивание (50-60 об./мин.) и устанавливали давление около 2,2 МПа. В процессе концентрирования, контроль которого осуществляли по объему выделившегося фильтрата, сбрасывали давление и добавляли равное количество дистиллированной воды в концентрат. Фактор концентрирования составлял 3,5. В таблицах 4 и 5 представлены результаты по нанофильтрации подсырной сыворотки (соленой и несоленой).

**Таблица 4.** Изменение физико-химического состава натуральной и соленой подсырной сыворотки после обработки нанофильтрацией

**Table 4.** Changes in the physical and chemical composition of natural and salty subsurface whey after nanofiltration treatment

№ п/п	Подсырная сыворотка <i>Cheese whey</i>	Массовая доля, % <i>Mass fraction, %</i>					Доброкачество енность, % <i>Purity, %</i>
		сухих веществ <i>dry substances</i>	лактозы <i>lactose</i>	общего азота <i>total nitrogen</i>	небелкового азота <i>nonprotein nitrogen</i>	зола <i>ash</i>	
1	Несоленая <i>Unsalted</i>	6,2	4,51	0,188	0,031	0,57	72,7
2	Нанофильтрат несоленой сыворотки <i>Nanofiltrate unsalted whey</i>	3,0	2,65	-	0,0084	0,31	88,3
3	Соленая <i>Salty</i>	8,2	4,51	0,188	0,031	2,57	55,0
4	Нанофильтрат соленой сыворотки <i>Nanofiltrate salted whey</i>	3,2	2,74	-	0,012	0,42	85,6

**Таблица 5.** Минеральный состав подсырной сыворотки (соленой и несоленой) и ее нанофильтратов

**Table 5.** Mineral composition of cheese whey (salted and unsalted) and its nanofiltration

№ п/п	Подсырная сыворотка <i>Cheese whey</i>	Массовая доля, % <i>Mass fraction, %</i>					Степень деминерализации, % <i>Degree demineralization, %</i>
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sup>5+</sup>	
1	Несоленая <i>Unsalted</i>	892,0	84,5	1340,0	425,0	387,0	-
2	Нанофильтрат несоленой сыворотки <i>Nanofiltrate unsalted whey</i>	160,5	70,6	402,0	148,5	108,5	45,6
3	Соленая <i>Salty</i>	892,0	84,5	1340,0	8796,0	387,0	-
4	Нанофильтрат соленой сыворотки <i>Nanofiltrate salted whey</i>	114,0	58,0	340,0	7916,0	110,0	83,7

Анализируя полученные данные, можно отметить, что нанофильтрация проявляет высокую селективность по лактозе и многовалентным ионам. Нанофильтрационные мембраны имеют высокую пропускную способность по одновалентным ионам, благодаря чему в концентрате с содержанием сухих веществ 21,7% степень деминерализации составляет до 46% при обработке несоленой сыворотки. На основании проведенных исследований можно рекомендовать процесс нанофильтрации для промышленной переработки соленой сыворотки на молочный сахар и для концентрирования молочной сыворотки и ее ультрафильтратов перед электродиализным или ионообменным обессоливанием.

Процесс нанофильтрации реализован в проекте СКФУ + МКС «Лактоза+» применительно к получению высококачественной лактозы пищевой и фармакопейной кондиций [6] на опытно-промышленной нанофильтрационной установке молочного комбината «Ставропольский» (рисунок 5).



**Рисунок 5.** Опытно-промышленная нанофильтрационная установка молочного комбината «Ставропольский»  
*Figure 5. Experimental-industrial nanofiltration plant of the Stavropol dairy plant*

Нанофильтрация достаточно широко применяется так же в мире с целью деминерализации и концентрирования УФ-пермеатов молока и сыворотки для повышения эффективности производства лактозы [8, 10, 16].

Фильтрационные и транспортные характеристики нанофильтрационных мембран зависят от истинного заряда мембраны, диаметра пор, распределения пор, материала мембраны и концентрации солей в растворе [1, 13, 21]. Общедоступные тонкопленочные полимерные нанофильтрационные мембраны имеют ионизируемые карбоксильные и аминные функциональные группы и, как правило, несут отрицательный поверхностный заряд при нейтральном рН [5]. Поэтому они активно задерживают многовалентные анионы (такие как фосфаты и цитраты) и способствуют проникновению одновалентных ионов (хлорида, натрия и калия). Если сырье имеет очень высокое содержание многовалентных анионов, то проникновение одновалентных анионов благоприятствует поддержанию электронейтральности, поэтому происходит высокое прохождение ионов хлорида.

Значительный интерес представляет нанофильтрация творожной (кислой) сыворотки, рассмотренная в работе Шохаловой В.К. [11], которая отмечает, что обработка творожной сыворотки нанофильтрацией имеет ряд преимуществ по сравнению с другими мембранными методами. При одновременном концентрировании и деминерализации исходной сыворотки применяется более низкое давление разделения, повышается степень концентрирования, уменьшается первоначальный объем сыворотки, интенсифицируются и снижаются энергопотребление, в том числе и дальнейших технологических этапов переработки творожной сыворотки. Творожная сыворотка, обработанная нанофильтрацией, имеет улучшенные технологические свойства, легче подвергается дальнейшей переработке и транспортировке [2, 13].



НФ-концентраты со степенью деминерализации до 30% и уровнем раскисления 20-25% получают при обработке нанофильтрацией творожной сыворотки. А в сочетании с диафильтрацией можно будет достичь степени деминерализации до 60% и уровня раскисления до 43%. Это характеризует нанофильтрацию, как оптимальный процесс для использования в производстве сывороточных концентратов в качестве метода деминерализации и в сочетании с другими мембранными методами (электродиализом, обратным осмосом, ионным обменом). Отметим, что при деминерализации сыворотки нанофильтрацией интенсивность сывороточного вкуса и запаха снижается тем сильнее, чем глубже уровень деминерализации. Это можно объяснить сопряженным удалением из сыворотки наряду с минеральными веществами ряда низкомолекулярных органических соединений, ответственных за вкус и запах. Полученные НФ-концентраты можно широко использовать в составе безалкогольных напитков, йогуртах, различных взбитых десертах и др. Для переработки творожной сыворотки с помощью нанофильтрации применяют нанофильтрационные установки, удобные в управлении и надежные в работе [11]. В настоящее время рынок мембранного оборудования представлен зарубежными фирмами GEA, APV, Tetra Pak, ALPMA и др., которые имеют высокое качество исполнения, функциональный дизайн и оптимальную степень автоматизации.

В результате комплекса проведенных экспериментов получен наноконцентрат (ретентат), состав которого приведен в таблице 6.

**Таблица 6.** Органолептические, физико-химические и микробиологические показатели наноконцентрата

**Table 6.** Organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters of nanoconcentrate

Наименование показателя <i>Indicator</i>	Характеристика, значение показателя <i>Characteristic, indicator value</i>
Внешний вид и консистенция <i>Appearance and consistency</i>	Однородная жидкость с наличием белкового осадка <i>Homogeneous liquid with the presence of protein sediment</i>
Вкус и запах <i>Taste and smell</i>	Свойственный молочной сыворотке <i>Peculiar to whey</i>
Цвет <i>Colour</i>	Светло-желтый с зеленоватым оттенком <i>Light yellow with a greenish tint</i>
Массовая доля сухих веществ, % <i>Mass fraction of dry substances, %</i>	20±0,2
Массовая доля лактозы, % <i>Mass fraction of lactose, %</i>	14,2±1
Массовая доля белка, % <i>Mass fraction of protein, %</i>	2,1±0,06
Степень деминерализации, % <i>Degree demineralization, %</i>	32,8
Активная кислотность, ед. pH <i>Active acidity, units pH</i>	6,4±0,05
Титруемая кислотность, °Т <i>Titrated acidity, °T</i>	65±1,9
Бактерии группы кишечной палочки, масса продукта (г, см <sup>3</sup> ), в которой не допускаются микроорганизмы <i>Coliform bacteria, mass of the product (g, cm<sup>3</sup>), in which microorganisms are not allowed</i>	0,1
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы, масса продукта (г, см <sup>3</sup> ), в которой не допускаются микроорганизмы <i>Pathogenic microorganisms, incl. salmonella, product weight (g, cm<sup>3</sup>), in which microorganisms are not allowed</i>	25

S. aureus, масса продукта (г, см <sup>3</sup> ), в которой не допускаются микроорганизмы <i>S. aureus, product weight (g, cm<sup>3</sup>), in which microorganisms are not allowed</i>	0,1
L. monocytogenes, масса продукта (г, см <sup>3</sup> ), в которой не допускаются микроорганизмы <i>L. monocytogenes, product weight (g, cm<sup>3</sup>), in which microorganisms are not allowed</i>	25

Этот оригинальный продукт, в соответствии с задачей работы, квалифицированно использован в производстве мороженого.

**Заключение.** Наночелювльтрация совершенно обосновано может использоваться для переработки, в рамках Технологического Прорыва, универсального (т.о. ЛЮБОГО) сельскохозяйственного сырья – на примере молочной сыворотки и ее ультрафильтратов – с целью концентрирования, направленной деминерализации, снижения уровня органических кислот и управления сенсорикой.

Получаемый наноконцентрат (ретентат) может быть использован для масштабирования продуктов функционального назначения.

Неизбежный наночелювльтра (пермеат) – готовая «молочная вода» для млекопитающих и птицы, начиная с «человека разумного».

#### Библиографический список

1. Володин Д.Н., Топалов В.К., Евдокимов И.А., Чаблин Б.В., Журко Ф.Г. Применение баромембранных процессов в технологии сухих продуктов // Переработка молока. 2010. N 8. С. 30-32.
2. 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.
3. Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Головкина М.В., Золотарева М.С., Топалов В.К., Анисимов С.В., Везирян А.А., Клепкер В.М., Анисимов Г.С. Обработка молочного сырья мембранными методами // Молочная промышленность. 2012. N 2. С. 34-37.
4. Жидков В.Е., Горностаева Ж.В., Чернышева Ю.С. и др. Теоретические и методологические основы качества и безопасности продовольственных товаров: учебное пособие. Ставрополь: Сервисшкола, 2019. 108 с.
5. Золоторёва М.С., Топалов М.С. Мембранные процессы в технологии переработки сыворотки // Переработка молока. 2014. N 5. С. 10-12.
6. Левитская А.А., Храмов А.Г., Анисимов С.В., Евдокимов И.А., Анисимов Г.С. Возможность реализации стратегического партнёрства МКС и СКФУ по комплексному федеральному проекту «Лактоза+» в рамках национальной технологической инициативы // Вестник СКФУ. 2017. N 5. С. 16-24.
7. Липатов Н.Н., Марьин В.А., Фетисов Е.А. Мембранные методы разделения молока и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1976. 68 с.
8. Тамим А.И. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов. СПб.: Профессия, 2016. 420 с.
9. Чеботарев Е.А., Храмов А.Г., Новиков О.П. Сепарирование подсырной сыворотки: обзорная информация. М., 1980. 22 с.
10. Школа С.С., Евдокимов И.А., Анисимов Г.С., Диняков В.А. Наночелювльтрация и диачелювльтрация уф-пермеатов как элемент наилучших доступных технологий молочной промышленности // Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Состояние и перспективы развития наилучших доступных технологий специализированных продуктов питания». Омск: ОмГАУ, 2019. 459 с.

11. Шохалова В.Н. Разработка технологии НФ-концентратов творожной сыворотки и их использование в производстве мороженого: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04. Вологда-Молочное, 2020. 179 с.
12. Al-Mutwalli Sama A., Dilaver Mehmet, Koseoglu-Imer Derya Y. Performance Evaluation of Ceramic Membrane on Ultrafiltration and Diafiltration Modes for Efficient Recovery of Whey Protein // *Journal of Membrane Science and Research*. 2020. N 6. P. 138-146. DOI: 10.22079/JMSR.2019.115152.1295
13. Baticle P., Kiefer C., Lakhchaf N., Larbot A., Leclerc O., Persin M. and Sarrazin J. Salt filtration on gamma alumina nanofiltration membranes fired at two different temperatures // *J. Memb. Sci. Elsevier*. 1997. Vol. 135. N 1. P. 1-8.
14. Cassano A., Castro-Munoz R. and Conidi C. Current and Future Applications of Nanofiltration in Food Processing // *Separation of Functional Molecules in Food by Membrane Technology*. Spain, Zaragoza: University of Zaragoza, 2019, P. 305-348. DOI: 10.1016/B978-0-12-815056-6.00009-7
15. Childress A.E., Elimelech M. Effect of solution chemistry on the surface charge of polymeric reverse osmosis and nanofiltration membranes // *J. Memb. Sci. Elsevier*. 1996. Vol. 119. N 2. P. 253-268.
16. Cuartas-Uribe B. Nanofiltration of sweet whey and prediction of lactose retention as a function of permeate flux using the Kedem-Spiegler and Donnan Steric Partitioning models // *Sep. Purif. Technol. Elsevier*. 2007. Vol. 56. N 1. P. 38-46.
17. Dec B., Chojnowski W. Application of nanofiltration for demineralization and deacidification of twarog acid whey // *Pol. J. Natur. Sc.* 2007. N 22. P. 320-332.
18. Horst H.C. Use of nanofiltration for concentration and demineralization in the dairy industry: Model for mass transport // *Journal of Membrane Science*. 1995. N 104. P. 205-218.
19. Roman A. Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration // *Desalination*. 2009. N 241. P. 288-295.
20. Suárez Álvarez Ernesto, Lobo Rodríguez Alberto, Álvarez Blanco Silvia, Riera Rodríguez Francisco Amador, Álvarez Fernández Ricardo Demineralization of whey and milk ultrafiltration permeate by means of nanofiltration // *Desalination*. 2009. Vol. 241. N 1-3. P. 272-280. DOI: 10.1016/j.desal.2007.11.087
21. Suárez Sánchez Eva, Lobo Rodríguez Alberto, Álvarez, Silvia, Riera Rodríguez, Francisco Amador, Álvarez Fernández, Ricardo Partial demineralization of whey and milk ultrafiltration permeate by nanofiltration and pilot-plant scale // *Desalination*. 2006. N 198. P. 274-281. DOI: 10.1016/j.desal.2005.12.028
22. Wang Wen-qiong, Wa Yun-chao, Zhang Xiao-feng, Gu Rui-xia, Lu Mao-lin. Whey protein membrane processing methods and membrane fouling mechanism analysis // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 289. P. 468-481. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.086

### References

1. Volodin D.N., Topalov V.K., Evdokimov I.A., Chablin B.V., Zhurko F.G. Application of baromembrane processes in dry product technology. *Pererabotka moloka* [Milk processing]. 2010, no. 8, pp. 30-32. (In Russian)
2. Gavrilov G.B., Prosekov A.Yu., Kravchenko E.F., Gavrilov B.G. *Spravochnik po pererabotke molochnoj syvorotki. Tekhnologii, processy i apparaty, membrannoe oborudovanie* [Handbook of whey processing. Technologies, processes and devices, membrane equipment]. Saint-Petersburg, Profession, 2015, 176 p. (In Russian)
3. Evdokimov I.A., Volodin D.N., Golovkina M.V., Zolotareva M.S., Topalov V.K., Anisimov S.V., Veziryan A.A., Klepker V.M., Anisimov G.S. Processing of raw milk by membrane methods. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry]. 2012, no. 2, pp. 34-37. (In Russian)
4. Zhidkov, V.E., Gornostaeva Z.V., Chernysheva Y.S. et al. *Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy kachestva i bezopasnosti prodovol'stvennyh tovarov: uchebnoe*

- posobie [Theoretical and methodological bases of quality and safety of food products: textbook]. Stavropol, Service school, 2019, 108 p. (In Russian)
5. Zolotoryova M.S., Topalov M.S. Membrane processes in whey processing technology. *Pererabotka moloka [Milk processing]*. 2014, no. 5, pp. 10-12. (In Russian)
  6. Levitskaya A.A., Khramtsov A.G., Anisimov S.V., Evdokimov I.A., Anisimov G.S. The possibility of implementing a strategic partnership between the ISS and NCFU on the complex federal project "Lactose +" within the framework of the national technology initiative. *Vestnik SKFU [SKFU Bulletin]*. 2017, no. 5, pp. 16-24. (In Russian)
  7. Lipatov N.N., Maryin V.A., Fetisov E.A. *Membrannye metody razdeleniya moloka i molochnyh produktov [Membrane methods for separating milk and milk products]*. Moscow, Food Industry Publ., 1976, 68 p. (In Russian)
  8. Tamim A.I. *Membrannye tekhnologii v proizvodstve napitkov i molochnyh produktov [Membrane technologies in the production of beverages and dairy products]*. Saint Petersburg, Profession, 2016, 420 p. (In Russian)
  9. Chebotarev E.A., Khramtsov A.G., Novikov O.P. *Separirovanie podsyрной syvorotki: obzornaya informatsiya [Separation of cheese whey: overview information]*. M., 1980, 22 p. (In Russian)
  10. Schola S.S., Evdokimov I.A., Anisimov G.S., Dinyakov V.A. Nanofil'traciya i diafil'traciya uf-permeatov kak element nailuchshih dostupnyh tekhnologij molochnoj promyshlennosti [Nanofiltration and diafiltration of uv permeates as part of the best available dairy technology]. *Materialy vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Sostoyanie i perspektivy razvitiya nailuchshih dostupnyh tekhnologij specializirovannyh produktov pitaniya», Omsk, 2019 [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "State and Prospects for the Development of the Best Available Technologies for Specialized Food Products", Omsk, 2019]*. Omsk, 2019, 459 p. (In Russian)
  11. Shokhalova V.N. *Razrabotka tekhnologii NF-koncentratov tvorozhnoj syvorotki i ih ispol'zovanie v proizvodstve morozhenogo: dis. ... kand. tekhn. nauk [Development of technology for NF-concentrates of curd whey and their use in the production of ice cream]*. Vologda-Molochnoe, 2020. 179 p. (In Russian)
  12. Al-Mutwalli Sama A., Dilaver Mehmet, Koseoglu-Imer Derya Y. Performance Evaluation of Ceramic Membrane on Ultrafiltration and Diafiltration Modes for Efficient Recovery of Whey Protein. *Journal of Membrane Science and Research*, 2020, no. 6, pp. 138-146. DOI: 10.22079/JMSR.2019.115152.1295
  13. Baticle P., Kiefer C., Lakhchaf N., Larbot A., Leclerc O., Persin M. and Sarrazin J. Salt filtration on gamma alumina nanofiltration membranes fired at two different temperatures. *J. Memb. Sci. Elsevier*. 1997, vol. 135, no. 1, pp. 1-8.
  14. Cassano A., Castro-Munoz R. and Conidi C. Current and Future Applications of Nanofiltration in Food Processing. In: *Separation of Functional Molecules in Food by Membrane Technology*. Spain, Zaragoza: University of Zaragoza, 2019, pp. 305-348. DOI: 10.1016/B978-0-12-815056-6.00009-7
  15. Childress A.E., Elimelech M. Effect of solution chemistry on the surface charge of polymeric reverse osmosis and nanofiltration membranes. *J. Memb. Sci. Elsevier*. 1996, vol. 119, no. 2, pp. 253-268.
  16. Cuartas-Urbe B. Nanofiltration of sweet whey and prediction of lactose retention as a function of permeate flux using the Kedem-Spiegler and Donnan Steric Partitioning models. *Sep. Purif. Technol. Elsevier*. 2007, vol. 56, no. 1, pp. 38-46.
  17. Dec B., Chojnowski W. Application of nanofiltration for demineralization and deacidification of twarog acid whey. *Pol. J. Natur. Sc.* 2007, no. 22, pp. 320-332.
  18. Horst H.C. Use of nanofiltration for concentration and demineralization in the dairy industry: Model for mass transport. *Journal of Membrane Science*. 1995, no. 104, pp. 205-218.
  19. Roman A. Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration. *Desalination*. 2009, no. 241, pp. 288-295.

20. Suárez Álvarez Ernesto, Lobo Rodríguez Alberto, Álvarez Blanco Silvia, Riera Rodríguez Francisco Amador, Álvarez Fernández Ricardo Demineralization of whey and milk ultrafiltration permeate by means of nanofiltration. *Desalination*, 2009, vol. 241, no. 1-3, pp. 272-280. DOI: 10.1016/j.desal.2007.11.087
21. Suárez Sánchez Eva, Lobo Rodríguez Alberto, Álvarez, Silvia, Riera Rodríguez, Francisco Amador, Álvarez Fernández, Ricardo Partial demineralization of whey and milk ultrafiltration permeate by nanofiltration and pilot-plant scale. *Desalination*, 2006, no. 198, pp. 274-281. DOI: 10.1016/j.desal.2005.12.028
22. Wang Wen-qiong, Wa Yun-chao, Zhang Xiao-feng, Gu Rui-xia, Lu Mao-lin. Whey protein membrane processing methods and membrane fouling mechanism analysis. *Food Chemistry*, 2019, vol. 289, pp. 468-481. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.086

**Критерии авторства:** Андрей Г. Храмцов и Валерий Н. Сергеев рассмотрели нанофильтрацию, как процесс мембранной технологии, проанализировали данные. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

*Author contributions:* Andrey G. Khramtsov and Valery N. Sergeev considered nanofiltration as a process of membrane technology and analyzed data. Authors were equally involved in writing the manuscript and are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Conflict of interest.* The authors declare no conflict of interest.

**ORCID:**

Андрей Г. Храмцов / Andrey G. Khramtsov <https://orcid.org/0000-0002-5188-4657>

Получено / Received: 11-12-2020

Принято после исправлений / Accepted after corrections: 22-12-2020