

*ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ /
INNOVATIVE DEVELOPMENTS*

Обзорная статья / *Review article*

УДК 637.1

DOI: 10.31208/2618-7353-2021-16-7-19

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

Ионный обмен

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

Ion exchange

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, Russia, Stavropol

Окончание статей, напечатанных в № 2-14, 2018-2021 гг.

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; 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. Ионный обмен // Аграрно-пищевые инновации. 2021. Т. 16, № 4. С. 7-19. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-16-7-19>.

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; 1, Pushkin st., Stavropol, 355009, Russian Federation; 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. Ion exchange. *Agrarian-and-food innovations*. 2021;16(4):7-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-16-7-19>.

Резюме

Цель. Рассмотреть процесс мембранной технологии – ионного обмена путем направленной и управляемой обработки молочной сыворотки и ее фильтратов через специально подобранные селективные сорбенты – ионообменные смолы (иониты).

Обсуждение. Сущность ионного обмена заключается в том, что при определенных условиях между твердым телом (ионообменная смола) и раствором, содержащим нежелательные

минеральные примеси, происходит обмен ионов, в результате которого смола сорбирует ион из раствора, отдавая в него также ион, менее вредный для основного производства.

Ионный обмен позволяет удалять некоторые нежелательные минеральные и органические соединения ионной и молекулярной природы молочной сыворотки и ее фильтратов (пермеатов).

Заключение. Использование ионного обмена для обработки универсального сельскохозяйственного сырья рекомендуется при производстве высококачественного молочного сахара (лактозы) распылительной сушкой, сухой молочной сыворотки для детского питания, синтезе и деминерализации сиропов лактулозы; сорбции-десорбции сывороточных белков.

Ключевые слова: ионный обмен, катиониты, аниониты, процесс элюирования, получение высококачественной лактозы распылительной сушкой, сухая молочная сыворотка для детского питания, деминерализация сиропов и синтез лактулозы

Abstract

Aim. *Consideration of the process of membrane technology – ion exchange by directed and controlled processing of whey and its filtrates through specially selected selective sorbents – ion exchange resins (ionites).*

Discussion. *The essence of ion exchange lies in the fact that, under certain conditions, an exchange of ions takes place between a solid (ion-exchange resin) and a solution containing undesirable impurities, as a result of which the solid sorbs the ion from the solution, giving it also an ion less harmful to the basic manufacturing.*

Ion exchange allows to remove some undesirable mineral and organic compounds of the ionic and molecular origin of whey and its filtrates (permeates).

Conclusion. *The use of ion exchange for the processing of universal agricultural raw materials is recommended for the production of high-quality milk sugar (lactose) by spray drying, dry whey for baby food, synthesis and demineralization of lactulose syrups; sorption-desorption of whey proteins.*

Keywords: *ion exchange; cationites; anionites; process of elution; obtaining high-quality lactose by spray drying; dry whey for baby food; demineralization of syrups and synthesis of lactulose*

Введение. Ионный обмен (ИО) – процесс мембранной технологии путем направленной и управляемой обработки молочной сыворотки и ее фильтратов через специально подобранные селективные сорбенты – ионообменные смолы (иониты). Ионный обмен позволяет целенаправленно удалять некоторые нежелательные минеральные и органические соединения ионной и молекулярной природы молочной сыворотки и ее фильтратов (пермеатов).

Применение ионного обмена, известного в науке и технологиях, может быть реализовано в молочной промышленности аналогично деминерализации электродиализом, но с большей глубиной. Принципиальное отличие – исходное и конечное содержание минеральных веществ в обрабатываемом растворе. Оно, как правило, достаточно заметно (на порядок) ниже, чем при ЭД-обработке. Это принципиально обеспечивает получение продукции особо высокого качества. Например, при производстве молочного сахара – фармакопейная кондиция бренда «четыре девятки» – 99,99% лактозы, а для белковых концентратов молочной сыворотки в виде «изолятов» – не менее 90% протеина.

В системе молекулярно-ситового разделения ионный обмен может логически продолжить мембранную обработку (деминерализацию) фильтратов (пермеатов) нативной, а

также сепарированной молочной сыворотки и их микрофильтратов, ультрафильтратов, нанофильтратов и диафильтратов исходных или после электродиализа.

Сущность ионного обмена заключается в том, что при определенных условиях между твердым телом (ионообменная смола) и раствором, содержащим нежелательные примеси, происходит обмен ионов, в результате которого твердое тело (смола – ионообменник) сорбирует ион из раствора, отдавая в него также ион, менее вредный для основного производства. Процесс ионного обмена осуществляется в колоннах в последовательности – удаление катионов, затем анионов. Схематично в общем виде, рекомендованном для молочной сыворотки, процесс показан на рисунке 1.

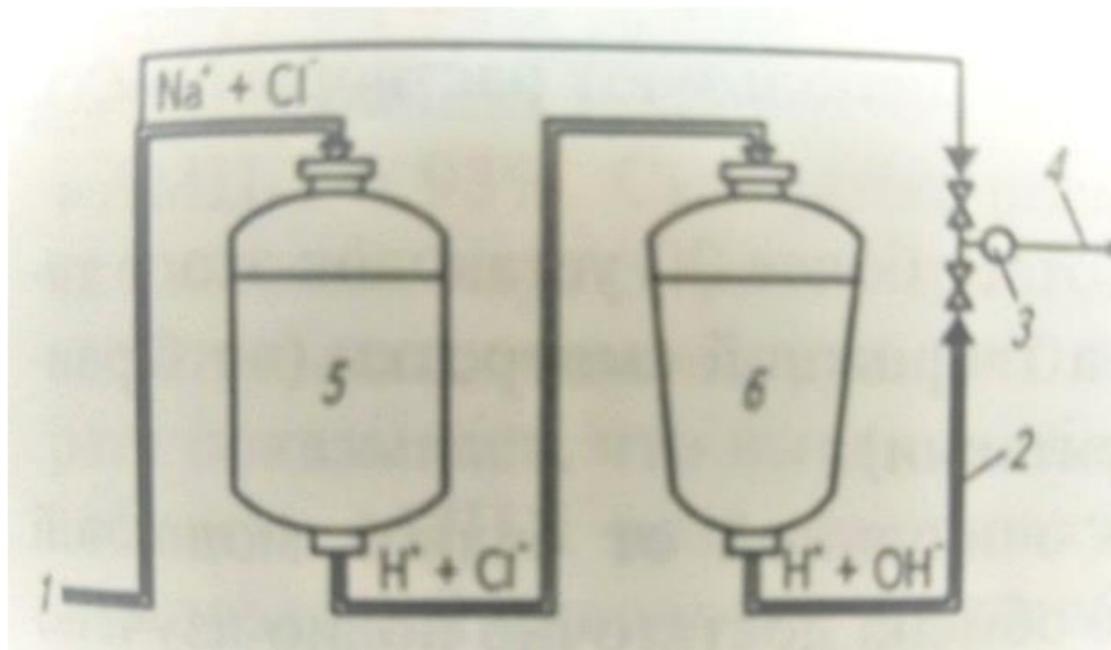


Рисунок 1. Схема ионообменной установки для переработки молочной сыворотки:

- 1 – поступление молочной сыворотки (10°C);
- 2 – деминерализованная (95%) молочная сыворотка;
- 3 – устройство для измерения pH или электропроводности;
- 4 – деминерализованная молочная сыворотка; 5 – катионит; 6 – анионит

Figure 1. Scheme of an ion exchange unit for whey processing:

- 1 – intake of whey (10°C);
- 2 – demineralized (95%) whey;
- 3 – device for pH or electrical conductivity measuring;
- 4 – demineralized whey; 5 – cationite; 6 – anionite

В качестве ионообменных смол для деминерализации молочной сыворотки используют синтетические многовалентные электролиты. Структурно они состоят из жесткого каркаса (матрицы) и функциональных групп, достаточно прочно связанных с матрицей химическими связями. В зависимости от заряда иониты классифицируют на катиониты (отрицательный заряд), аниониты – положительный заряд и амфолиты, содержащие в составе катионы (H^+) и анионы (OH^-).

После прохождения через обе колонки с ионообменниками эффективность деминерализации молочной сыворотки в зависимости от ее вида составляет 90-99%.

Ионообменные смолы подлежат регенерации после каждого рабочего цикла. Катионит регенерируют HCl по принципу противотока. Для регенерации анионита используют растворы Na_2CO_3 или NH_4OH . Промывку после регенерации осуществляют деионизированной обратным осмосом водой или конденсатом вакуум-выпарных установок.

По имеющейся информации, в ЕС работает несколько установок по деминерализации молочной сыворотки и микрофильтратов (пермеатов) для продуктов детского питания [1].

Обессоливание предварительно очищенной от белков молочной сыворотки с использованием ионного обмена достаточно полно изучено применительно к производству молочного сахара [1-5]. При этом иониты могут использоваться для удаления органики – кислот и небелкового азота.

Интерес представляют исследования по применению ионного обмена для деминерализации при получении сиропов лактулозы [6], в т.ч. и особенно на стадии ее синтеза в растворах лактозы.

Отдельная возможность использования ионного обмена на принципах «сорбции – десорбции» специальными ионитами-сорбентами – для решения проблемы извлечения макромолекул сывороточных белков в комплексе и по фракциям.

Именно в данном ракурсе ниже сделана попытка систематизировать информационный файл по теме статьи в общей парадигме возможностей Технологического Прорыва молочной отрасли пищевой индустрии АПК и аспекте возможного использования для формирования Продовольственной Системы мира, как это было озвучено на Продовольственном Форуме РФ (май 2021г., Москва, МГУПП) [7].

Объекты и методология познания. В качестве объектов для исследований процесса ионного обмена могут быть использованы все виды нативной молочной сыворотки и после ее первичной технологической обработки путем сепарирования или мембранной обработки микрофильтрацией, ультрафильтрацией, нанофильтрацией, диафильтрацией и даже после электродиализа. Подробная информация о составе, структуре и размере компонентов всех перечисленных и возможных видов исходного сырья для ионообменной обработки приведены в предыдущих статьях [8-12]. Минеральный состав молочного сырья и динамика распределения макро- и микроэлементов при производстве молочных продуктов с акцентом на молочную сыворотку и производство лактозы были изучены в специальной, поставленной по заказу отрасли, работе на базе Дагестанского филиала АН СССР, Дагестанском госуниверситете им. В.И. Ленина и СтПИ (н/в СКФУ) [4, 5, 13]. Базовая информация по всему минеральному комплексу молока и молочных продуктов содержится в фундаментальной монографии проф. А.М. Колодкина [14].

Общий вид ионообменной установки для лабораторных исследований специально спроектированной и изготовленной во ВНИИмаслосыроделия для постановки широкомасштабных экспериментов и моделирования в непрерывном потоке на трех уровнях приведена на рисунке 2 [2, 15].

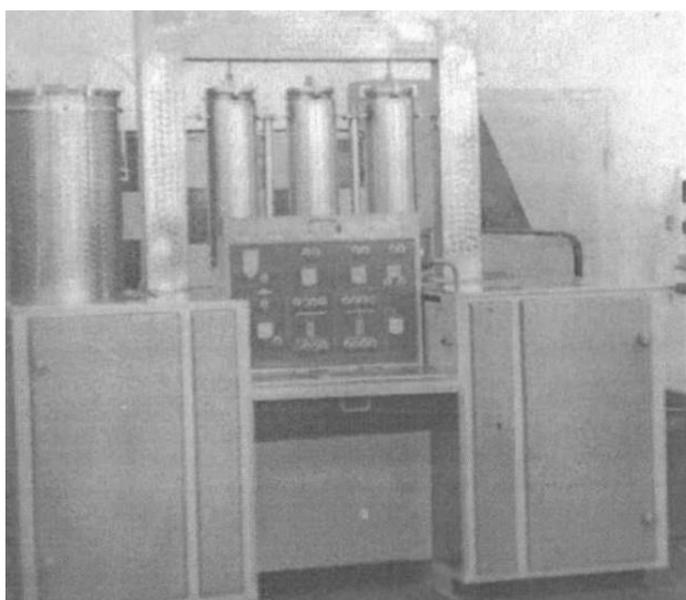


Рисунок 2. Фото опытно-промышленной установки ВНИИМС для обработки лактозосодержащего сырья на ионитах в динамике

Figure 2. Scheme of the VNIIMS pilot plant for processing of lactose-containing raw materials on ionites in dynamics

На установке были выполнены серии поиска и промышленной апробации оригинальной технологии получения молочного сахара с исключением процесса кристаллизации лактозы, с увеличением выхода готового продукта в два раза в сравнении с традиционной технологией [2].

Промышленный модуль для аппаратурного оформления процесса ионообменной обработки молочного лактозосодержащего сырья в статике и динамике по разработке ВНИМИ (связанной, кстати, с Чернобыльской аварией) показан на рисунке 3 [5].



Рисунок 3. Ионообменные колонны
ООО «Консит А»
*Figure 3. Ion exchange columns of
LLC "Consit A"*

Математическая (статистическая) обработка результатов исследований для оценки достоверности получаемых результатов проводилась в соответствии с методическими указаниями [16].

Прослеживаемость и безопасность получаемых продуктов в логистике проводимых исследований и опытно-промышленных испытаний осуществлялась в соответствии с принятыми в настоящее время нормативами [17].

Обсуждение. В соответствии с обозначенными во введении приоритетами возможных направлений использования ионного обмена для обработки универсального сельскохозяйственного сырья остановимся на деминерализации с целью снижения зольности при:

- производстве молочного сахара (лактозы) с одновременным удалением небелковых азотсодержащих и окрашенных соединений, а также органических кислот; а также сухой молочной сыворотки и сиропов лактулозы;
- синтезе лактулозы;
- сорбции-десорбции сывороточных белков.

Молочный сахар (лактозу) высокой степени чистоты с содержанием лактозы более 99% можно получить, обеспечив удаление с использованием ионообменных смол наряду с

липидным комплексом, сывороточными белками и минеральными солями, небелковых азотсодержащих соединений.

В наших исследованиях [15] с Э.Ф. Кравченко [2] с этой целью, по рекомендации НИИпластмасс, был испытан и предложен макропористый ионсорбент ИА-1р в ОН-форме. Эффективность сорбции отдельных групп азотсодержащих и окрашенных соединений молочной сыворотки ионсорбентов ИА-1р приведена в таблице 1.

Таблица 1. Эффективность сорбции отдельных групп соединений молочной сыворотки

Table 1. Sorption efficiency of individual groups of whey compounds

Показатели <i>Indicators</i>	Содержание, мг% <i>Content, mg%</i>	
	до очистки <i>befor purify</i>	после очистки <i>after purify</i>
Азот белков <i>Nitrogen of proteins</i>	77,5±5,5	26,0±3,5
Азот пептидов <i>Nitrogen of peptides</i>	22,0±1,3	6,8±0,4
Азот аминокислот <i>Nitrogen of amino acids</i>	73,6±2,8	10,4±0,5
Азот аммиака и аммонийных групп <i>Nitrogen of ammonia and ammonium groups</i>	82,4±4,9	25,8±1,6
Меланоидины <i>Melonoidins</i>	1,45±0,15	0,24±0,05
Рибофлавин <i>Riboflavin</i>	1,33±0,15	0,21±0,05

Приведённые в таблице 1 данные показывают, что макропористый ионсорбент ИА-1р, обладая высокой избирательной сорбцией по отношению к азотистым соединениям молочной сыворотки, обеспечивает удаление из её состава в среднем 74,5% этой группы несугаров, в т.ч. более 85% аминокислот и 83,4% меланоидинов.

Для деминерализации молочной сыворотки с целью снижения её зольности (удаление катионов и анионов) использовали динамический метод, как более эффективный.

С целью восстановления обменной способности смол после их насыщения ионами проводится регенерация, основанная на эквивалентности и обратимости ионообменной реакции.

По обменной ёмкости к солям молочной сыворотки испытанные иониты располагаются в следующий ряд:

катионы: КУ-2-8 > КУ-2-8чС > КУ-2 > КУ-23 КУ-1 > КБ-4П-2;

анионы: АВ-16Г > АН-1 > АВ-16ГС > ЭДЭ-10ПГ > АВ-171 > АВ-17-8.

Деминерализующая способность у катионитов выражена сильнее, чем у анионитов. Сорбция азотистых соединений теми и другими обменниками незначительна. Объясняется это, по-видимому, недостаточно пористой структурой ионитов.

Лучшие результаты по дионизации молочной сыворотки были получены при использовании катионита КУ-2-8 и анионита АВ-16Г, которые использовались для моделирования промышленных процессов и могут быть включены в технологическую схему получения высококачественной лактозы (молочного сахара). Однако, с учётом санитарно-химической оценки испытанных смол, применительно к технологии молочного сахара для практического использования была рекомендована марка ЭДЭ-10ПГ [2].

В целом эффективность деминерализации молочной сыворотки, очищенной от белков, казеиновой пыли, молочного жира линейкой ионообменных смол ИА-1р, КУ-2-8 и ЭДЭ-10ПГ, приведена в таблице 2.

Таблица 2. Эффективность деминерализации молочной сыворотки ионитами ИА-1р, КУ-2-8 и ЭДЭ-10ПГ

Table 2. The effectiveness of demineralization of whey with ionites IA-1p, KU-2-8 and EDE-10PG

Содержание, % Content, %						Чистота, ед. Purity, units
фракции fractions	лактоза lactose	зола ash	азот nitrogen	молочная кислота lactic acid	сухие вещества dry matters	
Сыворотка, очищенная от белка Whey purified from protein						
	28,2	2,56	0,325	0,57	28,4	81,7
Сыворотка деминерализованная Demineralized whey						
1	22,7	0,00	следы	0,00	22,85	99,7
2	23,1	0,00	0,026	0,00	23,85	99,5
3	23,2	0,15	0,110	0,01	23,8	97,5
4	23,2	0,39	0,160	0,07	24,7	94,1
5	23,2	1,85	0,30	0,42	27,5	84,6
Общий объём деминерализованной сыворотки Total volume of demineralized whey						
	23,1	0,45	0,116	0,10	24,3	95,1

Представленные в таблице 2 данные показывают, что даже в случае сбора всей обработанной ионообменными смолами сыворотки, полученной до момента их насыщения, средняя доброкачественность фильтрата находится на уровне 95 ед. Это обеспечивает возможность получения высококачественной лактозы пищевой и фармакопейной категорий качества.

Деминерализация растворов изомеризатов лактозы с лактулозой достаточно подробно изучена в общей парадигме и применительно к бору. Ионообменная обработка является высокоэффективным методом деминерализации, основанным на эквивалентном обмене ионов между раствором и твердым электролитом (ионитом), в результате которого он сорбирует нежелательные примеси. В технологии лактулозы ионообмен может быть использован для глубокого обессоливания растворов после электродиализной обработки с целью получения препаратов лактулозы фармацевтического и аналитического назначения.

Состав и свойства очищаемого раствора в каждом конкретном случае определяют выбор ионообменника и режим очистки. Для удаления катионов из молочного белково-углеводного сырья чаще всего используется катионит КУ-2-8, т.к. он обладает хорошими кинетическими характеристиками, большой химической стойкостью и механической прочностью, не сорбирует лактозу, имеет положительную токсико-гигиеническую оценку. Особое значение для использования этой смолы в технологии лактулозы имеет тот факт, что КУ-2-8 является монофункциональным сильнокислотным сульфокатионитом, хорошо диссоциирующим в широком интервале рН. Исследование процесса катионообменной обработки раствора лакто-лактюлозы с гидроксидом натрия в динамических условиях при температуре $(20\pm 2)^\circ\text{C}$

показало, что эффективная сорбция катионов на КУ-2-8 сопровождается резким снижением значений активной кислотности (до $\text{pH}=2,8\div 3,2$) и оптической плотности раствора в первых порциях фильтрата. Постепенно pH и цветность увеличиваются и достигают исходной величины при полном насыщении слоя ионита, что дает возможность контроля процесса по изменению этих показателей.

Снижение цветности раствора лакто-лактоулозы при катионировании и визуально наблюдаемое постепенное послойное потемнение ионита свидетельствуют о сорбции части красящих соединений. Можно предположить, что в основном это меланоидины, имеющие положительный заряд. Продукты щелочного распада углеводов имеют кислый характер и сорбируются анионитами.

После катионирования для нейтрализации накопившихся ионов H^+ и удаления анионов из раствора лакто-лактоулозы целесообразно использовать амфотерную смолу ЭДЭ-10П.

Сравнительный анализ показателей анионообмена и катионообмена показывает, что степень использования емкости для ионов натрия и хлорид-ионов примерно одинакова (0,66 и 0,68), а для сульфита при более высокой обменной емкости этот показатель намного ниже – 0,3. Возможно, это связано с размерами ионов и влиянием концентрационно-валентного эффекта.

В целом электродиализная и ионообменная обработка обеспечивает возможность общей глубокой деминерализации растворов при получении пребиотика № 1 в мире – лактулозы [3]. Оптимальные параметры проведения процессов позволяют осуществлять расчеты, необходимые для выбора оборудования и технологического сопровождения инновации.

Удаление борсодержащих соединений. Во всех растворах бор находится в виде анионов полиборных кислот, состав которых изменяется в зависимости от pH среды и присутствующих катионов. Экспериментальные исследования [18] показали, что попытки удалить бораты методом электродиализа в широком диапазоне pH оказались безуспешными. На практике для удаления боратов применяют главным образом борселективные ионообменные смолы [19].

При производстве концентратов лактулозы за рубежом для удаления бора используют борселективную смолу Амберлит IRA-743. При этом сведения о режимах проведения процесса весьма ограничены. Учитывая это и высокую стоимость импортной борселективной ионообменной смолы Амберлит IRA-743, А.В. Серовым были изучены закономерности сорбции бора из растворов лактулозы на отечественной анионообменной смоле IRA-400 (в OH^- форме) [18].

Сироп лактулозы предварительно подвергался электродиализу, при этом достигалась степень деминерализации не менее 80%. После электродиализа проводилось подкисление сиропа лактулозы до pH 1,6 путем пропускания его через колонку с ионообменной смолой КУ-2-8чс в H^+ -форме.

Экспериментальные данные, полученные в лабораторных и производственных условиях, свидетельствуют о том, что при снижении величины pH сиропа лактулозы до 3,0 необходимо прекращать проведение процесса очистки сиропа лактулозы от бора и проводить процесс регенерации колонны.

Проведение процесса ионообменной обработки с соблюдением указанных параметров дало возможность получать очищенный сироп лактулозы, в котором содержание бора соответствует требованиям фармакопеи США и Великобритании. Отечественная технология оригинальна и запатентована [20].

Сорбция – десорбция. Извлечение из молочной сыворотки белковых веществ, небелковых азотсодержащих и красящих соединений возможно осуществлять, исходя из принципов сорбционных процессов, используя синтетические ионообменные смолы. Процесс сорбции включает адсорбцию, абсорбцию и хемосорбцию. При обработке молочной сыворотки, когда хотят извлечь определенные компоненты, необходимо осуществлять процесс адсорбции и последующей десорбции с поверхности сорбента.

Адсорбционные процессы используются в молочной промышленности для очистки воды, при производстве рафинированного молочного сахара и проведении некоторых химических анализов молочных продуктов. В последние годы появились сообщения о реализации сорбционных процессов для получения чистых сывороточных белков. Некоторые из них, по имеющейся информации [21], кратко освещены ниже для сведения профессионалов о возможности применения селективных ионообменных смол.

Процесс «Вистек» реализован английской фирмой «Koch-Light. Lab. Limited». Для осуществления процесса используется специальная ионообменная целлюлоза, известная как «среда Вистек». Процесс осуществляется в динамике и включает пять операций для извлечения «сорбцией – десорбцией» белкового комплекса из молочной сыворотки с последующим концентрированием, ультрафильтрацией и распылительной сушкой концентрата.

Полученный продукт отличается большой степенью чистоты (97% белка) и состоит в основном из α -лактоальбумина и β -лактоглобулина. В продукте присутствует около 2% лактозы и только 0,2% молочного жира. Минеральный состав продукта включает (в %): Na – 1,05, K – 0,009, Ca – 0,12, Mg – 0,012, Cl – 0,24, PO₄ – 0,09.

Продукт полностью растворяется в воде, дает прозрачный раствор, хорошо сбивается, образуя пену наподобие яичной, и при температуре 60°C образует устойчивый гель. Рекомендуются в качестве наполнителя и обогатителя для макарон, тортов и колбас.

Процесс «Сферосил» разработан французской фирмой «Rhone-Pouénc». Для осуществления процесса используют специальные сорбенты ионогенного характера на основе «кремнезема в виде мельчайших шариков». Известны четыре группы ионообменных сорбентов: сферосил DEA – слабый щелочной ионообменник; сферосил QMA – сильный щелочной анионообменник; сферосил C – слабый кислотный катионообменник; сферосил S – сильный кислотный катионообменник. Пористость ионосорбентов такова, что молекулы сывороточных белков легко проникают внутрь сферосила и сорбируются на функциональных группах. В то же время мицеллы казеина, микроорганизмы, молочный жир не могут проникнуть в его структуру и остаются в элюате молочной сыворотки.

Применение сферосила позволяет получать неденатурированные белки молочной сыворотки с чистотой на уровне 90%, а также селективно разделять их по фракциям. Получаемый продукт полностью заменяет белок яиц и стоит в два раза дешевле его. Предназначается для продуктов детского и диетического питания, а также безалкогольных напитков.

Заключение.

1. Применение ионного обмена для направленного и управляемого снижения зольности молочного лактозосодержащего сырья, в парадигме Технологического Прорыва, является перспективным процессом и подлежит научно-технической разработке.

2. Применительно к технологии извлечения лактозы (молочного сахара) ионный обмен самостоятельно или в комплексе с предварительным электродиализом может исключить процесс кристаллизации, увеличив выход готового продукта до двух раз (на порядок).

3. Синтез лактулозы на ионообменных смолах (анионитах) за счет регулирования активной кислотности (рН) в желаемом уровне позволяет принципиально изменить технологию с исключением химических катализаторов и теплофизического воздействия на лактозу исходного сырья.

4. Получение ингредиентов белкового комплекса молочного сырья (например, лактоферрина и ангиогенина) «сорбцией – десорбцией» на специальных ионообменниках открывает новые возможности для реализации цифровых, инновационных технологий современного уровня.

Список источников

1. Храмцов А.Г. ТОЛЬКО ВПЕРЕД! К 65-летию профессора Ивана Алексеевича Евдокимова. Ставрополь, 2020. 217 с.
2. Кравченко Э.Ф. Исследование процессов очистки подсырной сыворотки для получения молочного сахара способом распылительной сушки: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Кравченко Эдуард Федорович. М.: ВНИИМП, 1973. 142 с.
3. Бетрозов О.И. Интенсификация технологии молочного сахара: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Бетрозов Олег Исмаилович. М.: ВНИИМП, 1990. 21 с.
4. Храмцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2011. 804 с.
5. Синельников Б.М., Храмцов А.Г., Евдокимов И.А., Рябцева С.А., Серов А.В. Лактоза и её производные. СПб.: Профессия, 2011. 768 с.
6. Рябцева С.А. Разработка физико-химических основ технологии лактулозы: дис. ... доктора техн. наук: 05.18.04 / Рябцева Светлана Андреевна. Ставрополь, 2001. 362 с.
7. Глобальный продовольственный форум – 2021 // Индустрия питания. 2021. Т. 6, № 2. С. 5-6.
8. Храмцов А.Г. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхоз сырья. Мембранные технологии // Аграрно-пищевые инновации. 2020. Т. 9, № 1. С. 7-17. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-9-7-17>.
9. Храмцов А.Г. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхоз сырья. Микрофльтрация // Аграрно-пищевые инновации. 2020. Т. 10, № 2. С. 7-20. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-10-7-20>.
10. Храмцов А.Г. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхоз сырья. Ультрафльтрация // Аграрно-пищевые инновации. 2020. Т. 11, № 3. С. 7-22. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-11-7-22>.
11. Храмцов А.Г., Сергеев В.Н. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхоз сырья. Нанофльтрация // Аграрно-пищевые инновации. 2020. Т. 12, № 4. С. 7-19. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-12-7-19>.
12. Храмцов А.Г. Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхоз сырья. Обратный осмос // Аграрно-пищевые инновации. 2021. Т. 14, № 2. С. 7-20. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-14-7-20>.

13. Рагимова А.М. Исследование минерального состава молока и динамика распределения макро- и микроэлементов при производстве молочных продуктов. Ленинград, 1988. 126 с.
14. Колодкин А.М. Микроэлементы молока и их влияние на качество молочной продукции. Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1986. 283 с.
15. Храмцов А.Г. Исследование физико-химических основ и совершенствование технологических процессов производства молочного сахара: дис. ... доктора техн. наук: 05.18.04 / Храмцов Андрей Георгиевич. Москва, 1973. 200 с.
16. 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.
17. 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.
18. Серов А.В. Теоретическое обоснование и экспериментальные исследования химико-технологических проблем получения, определения и использования лактозы и ее производной лактулозы: дис. ... доктора техн. наук: 05.18.04 / Серов Александр Владимирович. Ставрополь, 2004. 340 с.
19. Hicks K.B. Removal of boric acid and related compounds from solutions of carbohydrates with a boron-selective resin (IRA-743) // Carbohydrate Research. 1986. Vol. 147. P. 39-48.
20. Ким В.В., Киселев Н.А., Евдокимов И.А., Серов А.В. Способ получения концентрата лактулозы. Патент РФ № 2169775. 2001.
21. Храмцов А.Г. Инновационные приоритеты и практика технологической платформы модернизации молочной отрасли АПК. Воронеж: ВГУИТ, 2015. 260 с.

References

1. Khramtsov A.G. ONLY FORWARD! To the 65th anniversary of Professor Ivan Alekseevich Evdokimov. Stavropol, 2020. 217 p. (In Russ.).
2. Kravchenko E.F. Study of the purification processes of cheese whey to obtain milk sugar by spray drying. Dissertation of the Candidat Technical Sci. M.: VNIIMP; 1973. 142 с. (In Russ.).
3. Betrozov O.I. Intensification of milk sugar technology. Dissertation abstract of the Candidat Technical Sci. M.: VNIIMP Publ.; 1990. 21 p. (In Russ.).
4. Khramtsov A.G. Whey phenomenon. St. Petersburg: Profession Publ.; 2011. 804 p. (In Russ.).
5. 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.).
6. Ryabtseva S.A. Development of physical and chemical bases of lactulose technology. Dissertation of the Dr. Technical Sci. Stavropol, 2001. 362 p. (In Russ.).
7. Global Food Forum – 2021. *Industriya pitaniya = Food Industry*. 2021;6(2):5-6. (In Russ.).
8. Khramtsov A.G. Technological breakthrough of the agrarian-and-food innovations in dairy case for example of universal agricultural raw materials. Membrane technology. *Agrarno-pishchevye innovacii = Agrarian-and-food innovations*. 2020;9(1):7-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-9-7-17>.

9. Khramtsov A.G. Technological breakthrough of the agrarian-and-food innovations in dairy case for example of universal agricultural raw materials. Microfiltration. *Agrarno-pishchevye innovacii = Agrarian-and-food innovations*. 2020;10(2):7-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-10-7-20>.
10. 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;11(3):7-22. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-11-7-22>.
11. 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;12(4):7-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-12-7-19>.
12. Khramtsov A.G. Technological breakthrough of the agrarian-and-food innovations in dairy case for example of universal agricultural raw materials. Reverse osmosis. *Agrarno-pishchevye innovacii = Agrarian-and-food innovations*. 2021;14(2):7-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-14-7-20>.
13. Ragimova A.M. Study of the mineral composition of milk and the dynamics of the distribution of macro- and microelements in the production of dairy products. Leningrad, 1988. 126 p. (In Russ.).
14. Kolodkin A.M. Microelements of milk and their impact on the quality of dairy products. Irkutsk: Publishing House of Irkutsk University; 1986. 283 p. (In Russ.).
15. Khramtsov A.G. Research of physical and chemical bases and improvement of technological processes for the production of milk sugar. Dissertation of the Dr. Technical Sci. Moscow, 1973. 200 p. (In Russ.).
16. 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.).
17. 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.).
18. Serov A.V. Theoretical substantiation and experimental studies of chemical-technological problems of obtaining, determining and using lactose and its derivative lactulose. Dissertation of the Dr. Technical Sci. Stavropol, 2004. 340 p. (In Russ.)
19. Hicks K.B. Removal of boric acid and related compounds from solutions of carbohydrates with a boron-selective resin (IRA-743). *Carbohydrate Research*. 1986;(147):39-48.
20. Kim V.V., Kiselev N.A., Evdokimov I.A., Serov A.V. Method for obtaining lactulose concentrate. Patent RF, no. 2169775, 2001.
21. Khramtsov A.G. Innovative priorities and practice of the technological platform for the modernization of the dairy industry of the agro-industrial complex. Voronezh: VGUIT; 2015. 260 p. (In Russ.)

Критерии авторства: Андрей Г. Храмцов рассмотрел ионный обмен, как процесс мембранной технологии, проанализировал данные. Автор несет ответственность за плагиат и самоплагиат.

***Author contributions:** Andrey G. Khramtsov considered ion exchange 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:* 07.11.2021;
одобрена после рецензирования / *approved after reviewing:* 13.12.2021;
принята к публикации / *accepted for publication:* 15.12.2021