

<https://doi.org/10.67290/2026.dw.24>

УДК 637.143:637.344

**Татьяна Алексеевна Волкова**, канд. техн. наук

ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Углич

## **КОНЦЕНТРАТЫ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ**

*Рассматриваются вопросы мембранного фракционирования молочной сыворотки для получения концентратов сывороточных белков. Описаны функциональные и технологические свойства сывороточных белков, их пищевая и биологическая ценность.*

**Ключевые слова:** *молочная сыворотка, мембранное фракционирование, ультрафильтрация, концентраты сывороточных белков*

UDC 637.143:637.344

**Tatiana Alekseevna Volkova**, Cand. Sci. (Engineering)

VNIIMS – Branch of Gorbatov Research Center for Food Systems, Uglich

## **WHEY PROTEIN CONCENTRATES**

*The article considers issues of membrane fractionation of milk whey for obtaining whey protein concentrates. Functional and technological properties of whey proteins are described, as well as their nutritional and biological value.*

**Keywords:** *milk whey, membrane fractionation, ultrafiltration, whey protein concentrates*

Ультрафильтрация – это один из самых распространенных методов фракционирования и/или концентрирования сывороточных белков. Ультрафильтрация была самым первым из известных методов баромембранного разделения, которые применялись в переработке молочной сыворотки. Ультрафильтрация позволяет получать неденатурированные сывороточные белки, обладающие важными функциональными свойствами: хорошей растворимостью; способностью стабилизировать дисперсные системы (эмульсии, пены, суспензии) и образовывать гели; прекрасными адгезионными и реологическими свойствами (вязкостью, эластичностью); водосвязывающей, жиросвязывающей, текстурирующей и пленкообразующей способностью [1–4].

Высокая влагосвязывающая способность белков существенно влияет на характеристики мясных, рыбных, хлебобулочных и ряда других изделий, способствуя увеличению выхода, продлению сроков хранения, улучшению структуры. Хорошая жиросвязывающая способность белков обеспечивает нежную однородную текстуру изделий, предотвращает отделение жира, сморщивание изделий, уменьшает потери при термообработке [1–4].

Одновременное присутствие в белковых молекулах гидрофильных и гидрофобных групп обеспечивает их эмульгирующие свойства. Ориентируясь на границе раздела фаз термодинамически наиболее выгодным образом (гидрофильными группами к воде, а гидрофобными – к маслу), белки образуют на границе прочный адсорбционный слой, снижающий поверхностное натяжение в дисперсных системах. Благодаря такому действию белков эмульсии, пены и другие дисперсии приобретают агрегативную устойчивость и более высокую вязкость [1–4].

Гелеобразующая способность белков заключается в способности их коллоидных растворов образовывать гели – дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой, в которой частицы дисперсной фазы формируют пространственную сетку. Гели обладают некоторыми свойствами твердых тел: способностью сохранять форму, прочностью, пластичностью. Последнее очень важно для качественных характеристик молочных, кондитерских и хлебобулочных изделий, продуктов мясо- и рыбобереработки [1–4].

В таблице 1 приведены функциональные свойства сывороточных белков в сравнении с казеином [5, 6].

Таблица 1

**Функциональные свойства сывороточных белков и казеина**

Свойство	Характеристика	
	Казеин	Сывороточные белки
Гидратация	Выраженная способность к клейстеризации при высокой концентрации	Слабая, повышающаяся по мере возрастания степени денатурации
Коллоидная растворимость	Степень растворимости зависит от ионной силы раствора и температуры	Хорошая растворимость при любом pH, нерастворимы при pH 4,5 ед. в денатурированном состоянии
Вязкость	Вязкие растворы в нейтральной или щелочной среде	Незначительная вязкость, после денатурации повышение вязкости
Гелеобразование	В отсутствие кальция гелеобразование не происходит, однако при воздействии кислот, сычужного фермента, высоких температур и давления увеличивается способность к гелеобразованию	Гелеобразование происходит при температуре выше 70 °С в зависимости от концентрации и pH
Эмульгирующая способность	Выраженные эмульгирующие свойства, особенно при pH выше 7,0 ед.	Хорошая эмульгирующая способность
Пенообразующие свойства	Высокая способность к пенообразованию, но слабая пеностойкость	Высокая способность к пенообразованию и пеностойкость
Связывание вкусообразующих веществ	Способность к связыванию летучих ароматических веществ	Способность к адсорбции легколетучих ароматических веществ различается в зависимости от степени денатурации

Технологические свойства сывороточных белковых концентратов приведены в таблице 2 [2].

Таблица 2

**Технологические свойства сывороточных белковых концентратов**

<b>Функциональные свойства</b>	<b>Тип действия</b>	<b>Пищевые продукты</b>
Растворимость	Белковая сольватация	Напитки
Абсорбция воды и связывание	Поглощение воды, загустевание	Колбасные изделия, выпечные кондитерские и хлебопекарные изделия
Вязкость	Сгущение, связывание воды	Супы, соусы, майонез, заправки для салатов
Застывание	Формирование и фиксация белковой матрицы	Мясные изделия, творожные изделия, выпечка
Когезия-адгезия	Белок действует как клейкий материал	Колбасные изделия, выпечка, макаронные изделия
Эластичность	Гидрофобная связь с глютенем, дисульфидные связи в гелях	Мясные полуфабрикаты, хлебопекарные изделия
Эмульгирование	Формирование и стабилизация жировых эмульсий	Колбасные изделия, соусы, майонез, заправки для салатов, забеливатели для кофе, суповые концентраты, детское питание выпечные кондитерские изделия
Вспенивание	Образование стабильной пленки для захвата газа	Взбитые десерты, пирожные, маффины, топпинги и др.

Таким образом, сывороточные белки способны повышать функционально-технологические свойства готовых пищевых продуктов.

Наиболее важными сферами применения низкobelковых концентратов сывороточных белков (массовая доля белка в сухом веществе 40 % и 60 %) являются: производство хлебобулочных и макаронных изделий, кондитерская, молочная и масложировая промышленность, производство мясных продуктов, продуктов быстрого приготовления, плавленых сыров, мороженого, различных соусов и майонеза и др. Они позволяют частично заменить такие рецептурные компоненты, как яйца, кондитерские жиры, сухое молоко [5].

Для повышения степени очистки белка применяется метод диафильтрации. Диафильтрация – это введение в полученный сывороточный белковый концентрат дополнительного количества воды. Оставшиеся в белковом концентрате соли, минералы и прочие вещества растворяются. Их концентрация снижается, они легче проникают через мембрану, чем достигается значительное повышение эффективности ультрафильтрации [7].

Известны следующие три режима диафильтрации [8, 9]:

- непрерывная, включающая вымывание низкомолекулярных веществ из молочной сыворотки путем добавления воды с той же скоростью, с какой образуется фильтрат;

- периодическая, предусматривающая последовательные разбавления, начиная с разбавления молочной сыворотки водой до заранее заданного объема. Разбавленную сыворотку затем вновь концентрируют до исходного объема методом ультрафильтрации;

– периодическая, при которой молочная сыворотка сначала концентрируется до заранее заданного объема, а затем снова разбавляется до исходного объема водой.

При этом используют специально подготовленную воду в количестве 7–10 % от массы сыворотки, поступающей на ультрафильтрационную установку. Часто на предприятиях отрасли для этих целей используют воду, прошедшую стадию обратного осмоса или деминерализации. Требования к воде для диафильтрации указаны в таблице 3 [10].

Таблица 3

**Требования к воде для диафильтрации**

Наименование показателя	Ед. измерения	Норма
Железо (Fe)	мг/л	< 0,05
Марганец (Mn)	мг/л	< 0,02
Растворимая двуокись кремния (SiO <sub>2</sub> )	мг/л	< 15,0
Коллоидная двуокись кремния (SiO <sub>2</sub> )	мг/л	0
Алюминий (Al)	мг/л	< 0,1
Хлор (Cl <sub>2</sub> /НОСl)	мг/л	< 5,0
Органические вещества, содержащие азот, измеренные методом Къельдаля (Kjeldahl)	мг/л	< 0,05
Мутность	NTU	< 1,0
Индекс SDI (показатель степени загрязнения)	SDI	< 3,0
Степень жесткости*	°dH	< 15,0
Общее количество бактерий при посеве	в 1 мл	< 1,000
Бактерии группы кишечной палочки	в 100 мл	0

\* °dH – степень жесткости соответствует 10 мг/л CaO или 17,9 мг/л CaCO<sub>3</sub>

Количество воды, используемой при проведении процесса диафильтрации, зависит от массовой доли белка в исходной сыворотке. Ориентировочные данные по массе воды, применяемой для одного цикла диафильтрации, в % от массы сыворотки, поступающей на ультрафильтрацию, приведены в таблице 4 [11].

Таблица 4

**Расход воды на проведение процесса диафильтрации**

Массовая доля белка в исходной сыворотке, %	Масса воды, применяемой для диафильтрации, в % от массы сыворотки, поступающей на ультрафильтрацию
0,40–0,50	4,0–4,5
0,55–0,60	5,5–6,0
0,62–0,69	6,2–6,9
0,70–0,72	7,0–7,2
0,73–0,75	7,3–7,5
0,76–0,79	7,6–8,0

С помощью ультра- и диафильтрации возможно получение растворимых сывороточных высокобелковых концентратов с повышенной массовой долей белка в сухом веществе продукта, необходимых для производства продуктов детского, диетического и геронтологического питания, а также специальных высокобелковых питательных смесей для различного контингента потребителей: от медицинского до спортивного питания [13].

Следует отметить, что степень концентрирования сыворотки по белку при использовании диафильтрации только до определенного момента зависит от коэффициента концентрирования. Затем концентрация белка увеличивается за счет количества используемой диафильтрационной воды для вымывания растворимых небелковых компонентов. Предельная концентрация белка в концентратах сывороточных белков - около 80 %. Фактором, который ограничивает концентрацию белка этим уровнем, является остаточный жир (до 8 % в сухом остатке), удерживаемый УФ-мембранами [10, 12, 13].

Эта проблема не возникает при ультрафильтрации молочной сыворотки, образующейся при микрофильтрации (МФ) обезжиренного молока (МФ-пермеата), поскольку МФ-мембрана в данном случае, задерживает как казеин, так и жиры. Обезжиренная сыворотка направляется на УФ-фракционирование, что позволяет получить нативный (неденатурированный) концентрат сывороточных белков с содержанием белка в сухом веществе порядка 90 % без дополнительных операций по удалению жира [12, 13].

Содержание незаменимых аминокислот в концентратах сывороточных белков (г/100 г белка) представлено в таблице 5 [14].

Таблица 5

**Содержание незаменимых аминокислот  
в концентратах сывороточных белков**

<b>Аминокислота</b>	<b>Шкала ФАО/ВОЗ</b>	<b>Сывороточные белки</b>
Изолейцин	4,0	6,2
Лейцин	7,0	12,3
Лизин	5,5	9,1
Метионин+цистин	3,5	5,7
Фенилаланин+тирозин	6,0	8,2
Треонин	4,0	5,2
Триптофан	1,0	2,4
Валин	5,0	8,7

Изолят сывороточного белка – это максимально очищенный от жиров и лактозы сухой сывороточный белковый концентрат с массовой долей белка в сухом веществе 85–95 %. Одним из способов получения изолята сывороточных белков является метод ионного обмена, совмещенный с микрофильтрацией с последующим

концентрированием и высушиванием. Ионный обмен происходит в специальных резервуарах – колонках. В них молочную сыворотку пропускают через ионообменные смолы – натуральные или синтетические электролиты. Сначала очищаемую жидкость пропускают через специальный раствор – катионит. В результате частицы сыворотки приобретают положительный заряд. Далее заряженную сыворотку пропускают через анионит – отрицательно заряженный раствор. Благодаря катиониту минералы и иные вещества из сыворотки связываются и притягиваются к аниониту. Так как удельный вес и размер молекул разный, удается отделить чистый протеин от жира, лактозы и других компонентов. Но из-за технических сложностей воспроизведения такой способ практически не используется. Более перспективным способом получения изолятов сывороточных белков считают сочетание мембранных методов в технологической цепи: ультрафильтрации, диафильтрации, микрофильтрации и нанофильтрации [14–17].

Растворимые сывороточные белковые концентраты и изоляты с высоким содержанием белка (85–90 % в сухом веществе и более) необходимы для производства продуктов детского, диетического и геронтологического питания, заменителей женского молока, специальных высокобелковых питательных смесей для медицинского и спортивного питания [14–17].

#### Список использованной литературы:

1. **Володин, Д.Н.** Мембранные технологии переработки сыворотки: эффективные и рентабельные решения / Д.Н. Володин, А.С. Гридин, В.К. Топалов, Е.Ю. Иванченко, И.А. Евдокимов, И.К. Куликова // Переработка молока. 2022. № 7. С. 6–11. <https://www.elibrary.ru/edkzid>
2. **Володин, Д.Н.** Влияние производственных процессов на функционально-технологические свойства концентратов сывороточных белков / Д.Н. Володин, В.К. Топалов, И.А. Евдокимов, И.К. Куликова // Молочная промышленность. 2020. № 5. С. 46–49. <https://www.elibrary.ru/jlmvam>
3. **Володин, Д.Н.** Перспективы производства сухих белковых ингредиентов на основе молочного сырья / Д.Н. Володин, А.С. Гридин, И.А. Евдокимов // Молочная промышленность. 2020. № 1. С. 28–30. <https://www.elibrary.ru/ygtheu>
4. **Волкова, Т.А.** Белковый комплекс сыворотки молока / Т.А. Волкова // Переработка молока. 2020. № 8. С. 92–94. <https://www.elibrary.ru/pgqfdq>
5. **Мельникова, Е.И.** Перспективные сывороточные ингредиенты для пищевой промышленности / Е.И. Мельникова, Е.Б. Станиславская // Переработка молока. 2022. № 11. С. 12–14.
6. **Мельникова, Е.И.** Концентраты белков молока: функционально-технологические свойства и применение / Е.И. Мельникова, Е.Б. Станиславская // Молочная промышленность. 2022. № 11. С. 28–30. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-11-28-30>
7. **Волкова, Т.А.** Способы глубокой переработки молочного сырья / Т.А. Волкова, Н.Н. Оносовская // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы производства сыра, масла и другой молочной продукции», г. Углич, 21–23 июня 2022 г. – С. 187–189. <https://www.elibrary.ru/wzdfby>
8. **Тамим, А.И.** Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов/ А.И. Тамим. – Пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2016. – 418 с.
9. **Carter, B.** Efficiency of removal of whey protein from sweet whey using polymeric microfiltration membranes / B. Carter, L. DiMarzo, J. Pranata et. al// Journal of Dairy Science. 2021. 104 (8). P. 8630–8643. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18771>
10. **Волкова, Т.А.** Основные направления научных исследований углубленной переработки молочной сыворотки / Т.А. Волкова // Переработка молока. 2022. № 6. С. 54–56. <https://www.elibrary.ru/rhikby>

11. **Волкова, Т.А.** Процессы трансформации молочной сыворотки при производстве сывороточных белковых концентратов / Т.А. Волкова // Технический оппонент. 2024. № 2(14). С. 22–27.
12. **Ostertag, F.** Protein valorization from acid whey – Screening of various micro- and ultrafiltration membranes concerning the filtration performance/ F. Ostertag, E. Krolitzki // International Dairy Journal. 2023. 146. Article 105745. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105745>
13. **Волкова, Т.А.** Функциональные продукты на основе молочной сыворотки / Т.А. Волкова // Материалы конференции «Состояние и перспективы развития наилучших доступных технологий специализированных продуктов питания», г. Омск, 30 мая 2019 г. – С. 144–146.
14. **Храмцов, А.Г.** Новации молочной сыворотки / А.Г. Храмцов. – СПб: ИД Профессия, 2016. – 490 с.
15. **Храмцов, А.Г.** Только вперед/ А.Г. Храмцов. – Ставрополь: Бюро новостей. 2020. 215 с.
16. **Мельникова, Е.И.** Обоснование параметров мембранной фильтрации при производстве изолята сывороточных белков/ Е.И. Мельникова, Е.Б. Станиславская, Е.В. Богданова, Е.Д. Шабалова // Пищевые системы. 2024. Том 7. № 2. С. 246–252. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-246-252>
17. **Золоторева, М.С.** Особенности технологии высокобелковых концентратов из молочной сыворотки/ М.С. Золоторева, Д.Н. Володин, А.С. Гридин, И.А. Евдокимов, П. Мертин, В.Д. Харитонов, А.Н. Киреев // Переработка молока. 2018. № 4. С. 22–24. <https://www.elibrary.ru/yxoqmb>