

**А.И. Василькевич, О.В. Дымар**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **АСПЕКТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОЛИПИДОВ ПАХТЫ**

**Аннотация.** Переработка пахты является важным вопросом для предприятий молочной промышленности. Фосфолипиды, образующие мембраны жировых глобул молока, являются одним из наиболее ценных компонентов пахты. В данной статье рассмотрена актуальность получения фосфолипидов из молочной пахты и продемонстрировано, что из-за нарушенной структуры мембран жировых глобул для этого целесообразно использовать именно пахту. Мембранные методы, такие как ультрафильтрация и микрофильтрация? позволяют успешно выделять фосфолипиды из молочного сырья, при этом для повышения эффективности процесса можно использовать дополнительные стадии, например, стадию предварительного гидролиза. Полученные концентраты могут использоваться в качестве эмульгатора и стабилизатора для пищевых или фармацевтических продуктов, выступая заменой традиционному соевому лецитину. Концентраты молочных фосфолипидов также являются ценным компонентом функционального питания и могут применяться в продуктах спортивного питания либо для детей раннего возраста. Создание эффективных технологий переработки пахты и разработка рецептур на основе молочных фосфолипидов позволит предприятиям отрасли получить дополнительный доход от новых продуктов, а также снизить затраты на утилизацию отходов производства.

**Ключевые слова:** молочная пахта, ультрафильтрация, микрофильтрация, фосфолипиды

**A.I. Vasilkevich, O.V. Dymar**

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus*

## **ASPECTS OF BUTTERMILK PHOSPHOLIPIDS SEPARATION AND UTILIZATION**

**Abstract.** Buttermilk treatment and utilization is one of the major issues for milk industry. Buttermilk phospholipids forming milk fat globule membranes is one of the most valuable class of substances. This article reviews the need of phospholipid separation from buttermilk showing why buttermilk is the perfect source for it. Such membrane methods as ultrafiltration and microfiltration allow for successful phospholipids preparation from milk sources. The efficacy can be improved by additional operations, such as hydrolysis. Prepared concentrates can be used as emulsifying or stabilizing agents for pharmaceutical, food and cosmetic products replacing soy lecithin. Milk phospholipid concentrates are valuable component of functional nutrition for sportsmen and kids. Development of new treatment techniques for buttermilk will allow to create the new product with high value and at the same time decreases the costs related to buttermilk utilization.

**Keywords:** buttermilk, ultrafiltration, microfiltration, phospholipid

Одной из важнейших и наиболее актуальных задач, стоящих перед предприятиями молочной промышленности на современном конкурентном рынке, является эффективное использование вторичных ресурсов [1]. В настоящее время наиболее остро стоит вопрос о разработке рациональной схемы переработки молочной пахты.

Молочная пахта — это вторичный продукт при производстве сливочного масла, представляющий собой жидкость, содержащую преимущественно водорастворимые компоненты молока (белок, лактоза, минеральные вещества и др.). Исходным сырьем являются сливки, из которых масло получают методом сбивания или сепарирования [2]. Актуальность переработки связана с тем, что в пахту переходят ценные компоненты молока (белок, лактоза). При этом объемы производства сливочного

масла и существующие технологии не позволяют сделать переработку пахты в малых объемах экономически привлекательной [3, 4].

В поисках способа применения молочной пахты мы обратили внимание на класс соединений, который обычно обходит стороной, обращая внимание на более ценные компоненты молока, такие как жиры, белок, лактоза. В последнее время внимание исследователей привлекли молочные фосфолипиды, которыми пахта более богата по сравнению с другими молочными продуктами [3, 5] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030206721154>. Такой интерес обусловлен не только необходимостью утилизации отходов производства, но и тем, что, фосфолипиды обладают прекрасной эмульгирующей способностью и активно используются в пищевой, фармацевтической, косметической промышленности, а также имеют доказанную биологическую активность и применяются для улучшения функции печени и сердечно-сосудистой системы [2]. Известно, что некоторые из молочных фосфолипидов являются ценным компонентом для клеток мозга [6].

Фосфолипиды — один из важнейших классов биологических мембран благодаря амфифильным свойствам, которые обеспечиваются остатками жирных кислот (гидрофобный хвост) и полярной головкой (остаток глицерина для глицерофосфолипидов, остаток сфингозина для сфинголипидов) [7]. Схематически их структура изображена на рис. 1 [2].

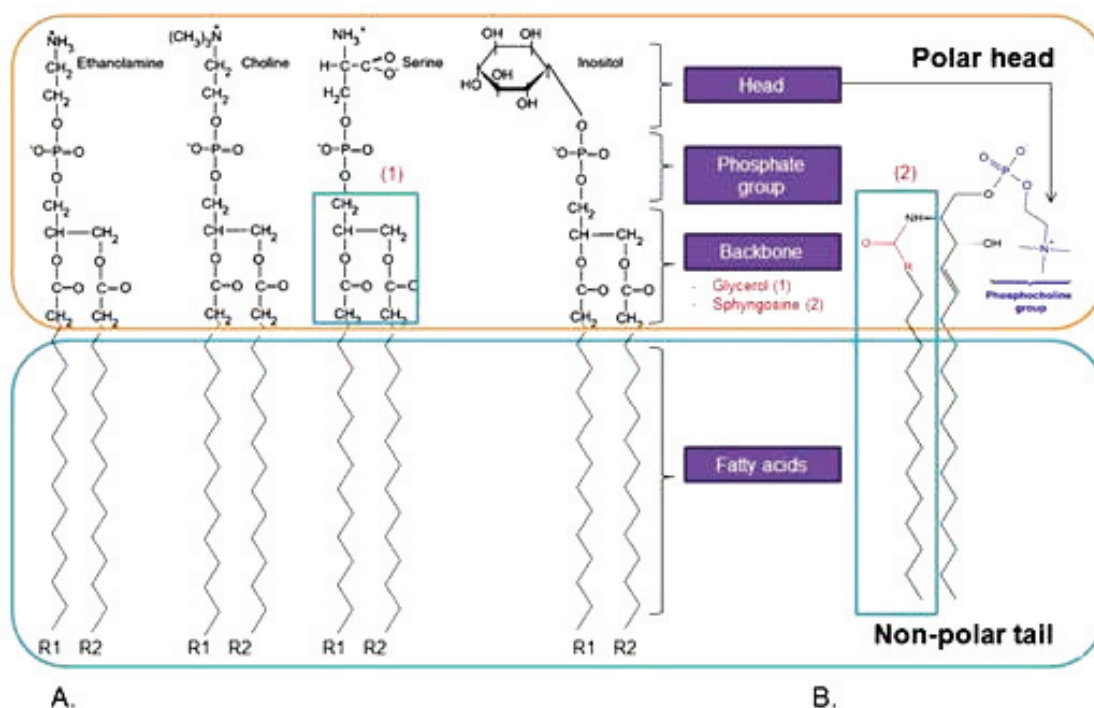


Рис. 1. Схематическое изображение молекул фосфолипидов  
Fig. 1. Schematic formulas of phospholipids

В водной среде такая структура позволяет фосфолипидам образовывать бислои, т.е. двойные молекулярные слои, в которых полярная головка ориентирована в сторону водной фазы, а неполярные хвосты из жирных кислот формируют гидрофобную зону между молекулами фосфолипидов [8]. Такая форма существования липидов в водной фазе является термодинамически выгодной и стабильной [9]. В природе такое свойство фосфолипидов лежит в основе существования биологических мембран и натуральных эмульсий (например, молоко). Размер и свойства жировых шариков эмульсии зависят как от типа полярной головки, так и от состава остатков жирных кислот. Самыми распространенными фосфолипидами молока являются фосфатидилхолин, фосфатидилинозит, фосфатидилэтанолламин, фосфатидилсерин и сфингомиелин, приведенные на рис. 2 [7].

Молоко по усредненному составу фосфолипидов отличается от типичных источников коммерческих фосфолипидов (сои и яичного желтка (табл. 1)). Основное отличие заключается в высоком содержании фосфатидилсерина и сфингомиелина [10]. Считают, что именно эти фосфолипиды являются одними из важнейших компонентов клеточных мембран мозга человека, при этом почти не поступают с продуктами питания. Это делает молочные фосфолипиды привлекательным сырьем для использования в композициях функционального питания для детей и людей пожилого возраста.

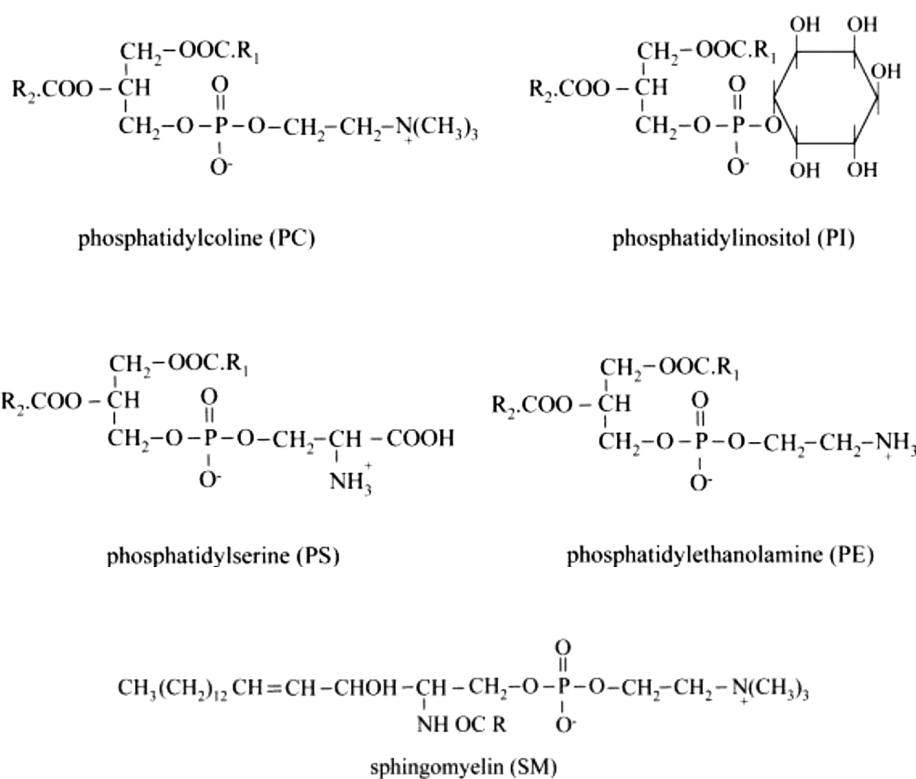


Рис. 2. Химические структуры основных фосфолипидов молока, где R, R1, R2 — остатки жирных кислот  
 Fig. 2. Chemical formulas of major milk phospholipids, where R, R1, R2 — fatty acid chains

Таблица 1. Сравнительный состав фосфолипидов сои, яичного желтка и молока  
 Table 1. Comparison of phospholipid composition in soy, egg yolk and milk

% от общего количества фосфолипидов	Соя	Яичный желток	Молоко
Фосфатидилхолин	34	75	27
Фосфатидилэтаноламин	21	15	25
Фосфатидилинозит	18	0,4	8
Сфингомиелин	0	1,5	24
Фосфатидилсерин	0,5	0	12
Фосфатидная кислота	9	0	0
Другие	17,5	8,1	4

**Фосфолипиды как составляющее мембранных жировых глобул молока.** Молоко — это природная эмульсия «масло в воде», уникальные свойства которой приписываются ее необычной структуре. Так, масляная фракция эмульсии представлена жировыми глобулами диаметром 0,1–20 мкм и содержит непосредственно молочные триглицериды, часть белков, холестерин и прочие липидные вещества, и другие компоненты. Это сложная многослойная структура, в которой фосфолипиды входят в состав мембран жировых глобул молока (МЖГМ) и поддерживают высокую стабильность эмульсии [11]. Кроме того, фосфолипидные мембраны защищают жировые глобулы от слипания и ферментного гидролиза. В то время как самыми ценными компонентами молока считаются молочный жир, белок и лактоза, в данной статье предлагаем взглянуть на молочное сырье с точки зрения фосфолипидов и потенциала их использования в пищевой промышленности [3, 6, 9]. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(17\)30259-X/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(17)30259-X/fulltext)

Очевидно, что выделение фосфолипидов из цельного молока не может быть целесообразным по экономическим соображениям, т.к. массовое содержание фосфолипидов в цельном молоке составляет лишь около 0,035 % [10]. Однако совершенно иная ситуация наблюдается, если в качестве молочного сырья рассматривать не цельное молоко, а сливки или пахту. И если сливки — это ценный самостоятельный продукт, то пахту можно рассматривать как сырье для дальнейшего извлечения фосфолипидов (табл. 2) [4, 12].

Таблица 2. Содержание фосфолипидов и липидов в молочных продуктах  
Table 2. Phospholipid contents in various milk products

Состав (масс. %)	Цельное молоко	Сливки	Пахта
Липиды	4	40	0,6
Фосфолипиды	0,035	0,21	0,13
Соотношение фосфолипиды : липиды	0,9	0,5	22

Белковый, углеводный и минеральный состав пахты близок к составу в цельном молоке, при этом остаточная жирность пахты зависит от технологии сепарирования и составляет около 15 % от жирности исходного молока либо в переводе на остаточную жирность пахты 0,7–0,8 % [10]. Основная часть триглицеридов высвобождается из разрушенных во время процесса жировых глобул и переходит во фракцию сливочного масла, поэтому в пахте мембраны присутствуют преимущественно в виде «обрывков», основу которых составляют непосредственно фосфолипиды. Таким образом, если фосфолипиды в молоке находились в связанном виде вместе с белками и триглицеридами, являясь оболочкой МЖГМ, то в молочной пахте фосфолипиды находятся в более доступной и свободной форме. Кроме того, содержание фосфолипидов в пахте значительно выше, чем в цельном молоке. В недавних публикациях исследователи отмечают, что содержание фосфолипидов в пахте примерно в 4–7 раз больше, чем в исходном молоке. Если учитывать, что в исходном молоке доля фосфолипидов составляет менее 1 % от всего молочного жира, то в пахте она составляет уже 20–21 % благодаря тому, что основная часть фосфолипидов перешла в сливочное масло. Таким образом, доля фосфолипидов в молочном жире пахты в 26–29 раз выше по сравнению с долей в молоке. Это повышает привлекательность процесса извлечения фосфолипидов из пахты [4, 13]. <https://www.intechopen.com/books/whey-biological-properties-and-alternative-uses/technological-and-biological-properties-of-buttermilk-a-minireview>

Мировое производство молочной пахты можно оценить через количество производимого сливочного масла. Так, по данным Всемирной организации по продовольствию в год производится около 5,2 млн т масла [14]. Пахту долгое время считали малоценным побочным продуктом молочного производства. Однако в настоящее время ей уже пытаются найти применение при нормализации молока, при производстве других молочных продуктов или продуктов функционального питания, напитков и кондитерских изделий [12]. Наличие фосфолипидов позволяет рассчитывать на пахту, как на природный эмульгатор и потенциальную замену традиционных лецитинов растительного и животного происхождения. Тем не менее, несмотря на значительный потенциал молочных фосфолипидов, отсутствуют технологии переработки пахты в особо ценные биотехнологические продукты для пищевой промышленности [4] <https://www.intechopen.com/books/whey-biological-properties-and-alternative-uses/technological-and-biological-properties-of-buttermilk-a-minireview>.

**Применение мембранных методов.** Одним из серьезных препятствий перед использованием молочных фосфолипидов является их извлечение и очистка от других компонентов, а также получение композиции в форме, удобной для последующего использования. Традиционно фосфолипиды из растительного сырья извлекают с помощью экстракции органическими растворителями [15]. В то время как экстракция растворителями может быть успешна использована для лабораторных испытаний, данный способ тяжело масштабировать ввиду слишком большого количества производимой пахты, а также в связи с токсичностью многих органических растворителей и необходимостью дополнительных стадий очистки. Еще одним препятствием является то, что фосфолипиды в свободном виде легко подвергаются окислительной порче при температурах выше 40–50 °С и требуют мягких способов обработки [7].

В молочной промышленности широко распространены мембранные методы переработки сырья, такие как ультрафильтрация и микрофильтрация. Данные методы предназначены для разделения компонентов среды с помощью полупроницаемой мембраны, способной задерживать органические и неорганические соединения большего размера и пропускать более мелкие частицы. Мембранные методы позволяют разделять и концентрировать компоненты молочного сырья, сохраняя при этом их пищевую и биологическую ценность, а также технологические свойства. Микрофильтрация позволяет отделить частицы с размером 0,05–10 мкм (бактерии, жировые шарики молока). Ультрафильтрация отделяет частицы с размером 0,001–0,05 мкм (казеин, сывороточные белки) [16].

Продемонстрировано, что фосфолипиды пахты не проходят через ультрафильтрационную мембрану [6] [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(17\)30259-X/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(17)30259-X/fulltext). В двух испытаниях процесса микрофильтрации через мембрану с размером пор 0,1 мкм прошло 5,8 % фосфолипидов, через мембрану 0,45 мкм прошло 12,7 %. Несмотря на то, что размер частиц фосфолипидов составляет менее 50 кДа, они не проходили через мембрану из-за образования агломератов большего размера, состоящих из обрывков МЖГМ, а также, возможно, из-за связывания с казеином [6, 17].

При этом, хотя фосфолипиды не проходили через мембрану при ультрафильтрации, их содержание в концентрате не росло пропорционально росту молочного жира. Это говорит о том, что часть фосфолипидов оседает на мембране и их можно извлечь только с помощью промывки мембраны. Однако даже промывка не позволяет удалить фосфолипиды, застрявшие в порах мембраны. Соответственно для очистки нужно применять химические агенты [18].

По литературным данным микрофильтрация является самым эффективным способом концентрирования фосфолипидов пахты. Предлагаются также дополнительные стадии обработки для увеличения фактора концентрирования фосфолипидов. Так, обработка цитратом натрия позволит разрушить казеиновые мицеллы и получить более чистую фракцию фосфолипидов [19][https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(03\)73870-3/abstract](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(03)73870-3/abstract). Также предполагают использовать  $\text{CO}_2$  экстракцию для удаления триглицеридов из концентрата и получения продукта с более высоким содержанием фосфолипидов [20, 21].

Доступны отдельные литературные данные о процессе ультрафильтрации молочной сыворотки, в которых оптимальной температурой процесса было 40–55 °С, давление 1,5 бар, как видно на рис. 3 [18].

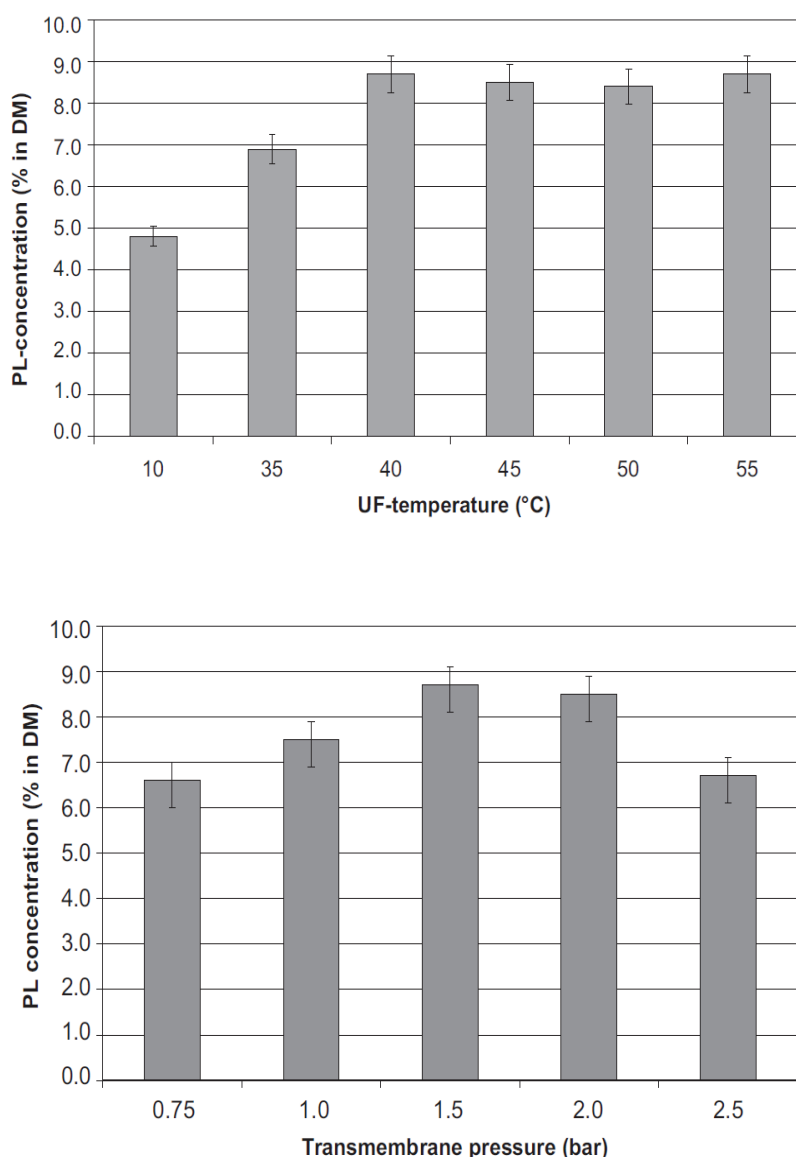


Рис. 3. Зависимость концентрации фосфолипидов после ультрафильтрации сыворотки от используемой в процессе температуры и давления

Fig. 3. Dependence of phospholipid concentration after whey buttermilk ultrafiltration from temperature and pressure used

**Использование молочных фосфолипидов.** В научной литературе описаны отдельные способы применения молочных фосфолипидов, заслуживающие внимания. Особый интерес вызывает возможность использования молочных фосфолипидов одновременно как технологической добавки и для повышения биологической ценности продукта. Таким образом, можно выделить следующие основные возможности использования фосфолипидов:

1. Эмульгатор и стабилизатор для пищевых и косметических продуктов. В настоящее время чаще всего используют соевый или яичный лецитины (основной компонент — фосфатидилхолин). Соевый лецитин является самым доступным продуктом на рынке, однако большая часть выращиваемой сои имеет ГМО происхождение, что накладывает определенные ограничения на использование соевых фосфолипидов. В ряде публикаций уже успешно продемонстрировано, что эмульгирующие свойства молочных фосфолипидов не уступают лецитинам другого происхождения. Отдельные авторы отмечают, что использование фосфолипидно-белковых комплексов молочного происхождения в качестве эмульгаторов может придавать сливочный вкус конечным продуктам [22].

2. Компонент функционального питания. Фосфолипиды пахты, выделенные отдельно либо в виде концентрата из пахты, могут быть использованы для создания композиций функционального питания для детей, пожилых людей и спортсменов. Интерес к такому компоненту связан с наличием среди фосфолипидов фосфатидилсерина и сфингомиелина, которые также содержатся в мозге человека и в обычном питании присутствуют в весьма ограниченном количестве. Использование концентрата фосфолипидов вместе с молочными белками позволит повысить ценность функционального питания [12, 23, 24]. Некоторые такие композиции проходят или уже прошли испытания как на животных, так и клинические испытания [25]. Среди результатов отмечают ускорение развития детей раннего возраста при добавлении концентрата МЖГМ в питание.

3. Компонент биологически активных добавок. Как упоминалось ранее, фосфолипиды обладают многочисленными биологически активными эффектами. Фосфатидилхолин зарекомендовал себя как компонент для лечения болезней печени (Эссенциале), сфингомиелин и фосфатидилсерин используют в БАД для улучшения памяти, особенно у пожилых людей. Также фосфолипиды могут являться источником ненасыщенных жирных кислот [12, 26].

4. Способ доставки других компонентов для пищевых, фармацевтических или косметических продуктов [27]. Фосфолипидные компоненты МЖГМ могут выступать матрицей для доставки определенных биологически активных компонентов, обеспечивая их стабильность или повышая биодоступность. Одним из вариантов является использование липосом на основе молочных фосфолипидов [6]. Как установлено, такие липосомы обладают низкой проникаемостью мембраны, высокой температурой фазового перехода и при этом образуют более тонкую мембрану по сравнению с соевыми фосфолипидами. Это обеспечивает более высокую стабильность липосомальных композиций и устойчивость к изменению температуры и pH. Уже есть данные о возможности включения в такие средства доставки таких компонентов, как полифенолы зеленого чая или куркумин.

Одним из примеров создания коммерческого продукта на основе фосфолипидов является Lascrodan® PL-20 от компании Arla Foods (Дания). Этот продукт представляет собой сухой концентрат молочных фосфолипидов и используется как технологическая добавка для продуктов питания (эмульгатор), компонент детского, спортивного и лечебного питания [28, 29].

Таким образом, фосфолипиды являются ценным материалом молочных продуктов благодаря целому ряду технологических и биохимических характеристик. В настоящее время фосфолипиды успешно применяют как эмульгаторы и стабилизаторы для продуктов пищевой промышленности. При этом из-за доступности сырья в основном используют соевые лецитины, но уже сейчас установлено, что фосфолипиды молочного происхождения по своим технологическим характеристикам не уступают соевым и являются альтернативным источником сырья не ГМО-происхождения, что особенно важно для пищевой и фармацевтической промышленности. Кроме этого, молочные фосфолипиды являются ценным компонентом функционального питания и, как показано в последних клинических испытаниях, могут быть рекомендованы для детей и пожилых людей. Также показано, что фосфолипиды молока успешно используются для создания стабильных липосомальных продуктов, содержащих биологически активные вещества куркумина или полифенолы зеленого чая. Это значит, что липосомы могут являться матрицей для доставки ценных биологически активных веществ в организм человека.

Для использования потенциала молочных фосфолипидов наиболее целесообразным является использование пахты как побочного продукта и отхода производства сливочного масла. Мембранные методы переработки молока, такие как ультрафильтрация и микрофильтрация, являются наиболее привлекательными для дальнейшего использования фосфолипидного концентрата благодаря щадящим условиям обработки, которые позволяют сохранить технологические и биохимические свойства фосфолипидов. Для повышения эффективности процесса могут быть дополнительно внедрены стадии гидролиза для разрушения казеиновых мицелл, а также CO<sub>2</sub> экстракции для удаления оста-

точных триглицеридов для получения более чистой фракции целевого продукта. Тем не менее, пока эти технологии не внедрены на предприятиях отрасли. Разработка и внедрение таких технологий на молокоперерабатывающих предприятиях позволит, с одной стороны, решить вопрос утилизации пахты как отхода производства, а с другой, — получить ценный продукт для пищевой индустрии. Кроме этого, выделение фосфолипидов из пахты с помощью мембранных методов может являться лишь одной из стадий комплексной переработки пахты с последующим извлечением белка и лактозы.

### Список использованных источников

1. Дымар, О.В. Повышение эффективности переработки молочных ресурсов: научно-технологические аспекты / О.В. Дымар. — Минск : Колорград, 2018. — Гл. 1. — С. 6–51.
2. Conway, V. Buttermilk: Much more than a source of milk phospholipids / V. Conway, S.F. Gauthier, Y. Pouliot // *Animal Frontiers*. — 2014. — Vol.4, iss.2. — P. 44–51.
3. Milk fat globule membrane and buttermilks: From composition to valorization / Vanderghem (et al.)// *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* — 2010. — Vol. 14. — P. 485–500.
4. Gigli, I. Technological and Biological Properties of Buttermilk: A Minireview / I. Gigli // *Whey — Biological Properties and Alternative Uses* — 2019. — P. 9
5. Compositional and Functional Properties of Buttermilk: A Comparison Between Sweet, Sour, and Whey Buttermilk / I. Sodini [et al.] // *J Dairy Sci.* — 2006. — Vol. 89, iss. 2. — P. 525–536.
6. Invited review: Milk phospholipid vesicles, their colloidal properties, and potential as delivery vehicles for bioactive molecules / E. Arranz. [et al] // *J Dairy Sci.* — 2017. — Vol. 100, Iss. 6. — P. 4213–4222.
7. Contarini, G. Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies / G. Contarini, M. Povolo // *Int J Mol Sci.* — 2013. — Vol. 14, iss 2. — P. 2808–2831.
8. [https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/ed5002043/suppl\\_file/ed5002043\\_si\\_001.pdf](https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/ed5002043/suppl_file/ed5002043_si_001.pdf)Casein interaction with lipid membranes: Are the phase state or charge density of the phospholipids affecting protein adsorption? / A. Crespo-Villanueva [et al.] // *Biochim Biophys Acta Biomembr.* — 2018. — Vol. 1860, iss. 12. — P. 2588–2598.
9. Lopez, C. Milk fat globules enveloped by their biological membrane: Unique colloidal assemblies with a specific composition and structure / C. Lopez // *Curr Opin Colloid Interface Sci.* — 2011. — Vol. 16, iss. 5. — P. 391–404.
10. MacGibbon, A.K.H. Composition and Structure of Bovine Milk Lipids / A.K.H. MacGibbon, P.F. Fox, P.L.H. McSweeney // *Advanced Dairy Chemistry Volume 2 Lipids*. — Boston: Springer, 2006. — Ch. 1. — P. 1–42.
11. Cavaletto, M. Milk Fat Globule Membrane Components — A Proteomic Approach / M. Cavaletto, M.G. Giuffrida, A. Conti // *Adv Exp Med Biol.* — 2008. — Vol. 606. — P.129–141.
12. Milk phospholipids a new ingredient for formulation of functional foods with bioactivity / H. Burling [et al.] // *Inform (Champaign)*. — 2009. — Vol. 20. — P. 494–496.
13. Evolution of phospholipid contents during the production of quark cheese from buttermilk / T. Ferreira [et al.] // *J Dairy Sci.* — 2016. — Vol. 99, iss. 6. — P. 4154–4159.
14. FAOSTAT. Livestock Processed [Electronic Resource] : FAO. — Mode of access : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QP>. — Date of Access: 04.02.2020.
15. Extraction of phospholipids from a dairy by-product (whey protein phospholipid concentrate) using ethanol / N. Price [et al.] // *J Dairy Sci.* — 2018. — Vol. 101, iss. 10. — P. 8778–8787.
16. Kumar, P. Perspective of membrane technology in dairy industry: a review / P. Kumar // *Asian-Australas J Anim Sci.* — 2013. — Vol. 26, iss. 9. — P. 1347–1358.
17. Morin, P. A comparative study of the fractionation of regular buttermilk and whey buttermilk by microfiltration / P. Morin, Y. Pouliot, R. Jimenez-Flores // *J Food Eng.* — 2006. — Vol. 77, iss. 3. — P. 521–528.
18. Konrad, G. Ultrafiltration of whey buttermilk to obtain a phospholipid concentrate / G. Konrad, T. Kleinschmidt, C. Lorenz // *Int Dairy J.* — 2013. — V. 30, iss. 1. — P. 39–44.
19. Production of a Novel Ingredient from Buttermilk / M. Corredig [et al.] // *J Dairy Sci.* — 2003. — V. 86, iss. 9. — P. 2744–2750.
20. Use of ultrafiltration and supercritical fluid extraction to obtain a whey buttermilk powder enriched in milk fat globule membrane phospholipids / M. R. Costa [et al.] // *Int Dairy J.* — 2010. — V. 20, iss. 9. — P. 598–602
21. Milk fat globule membrane isolated from buttermilk or whey cream and their lipid components inhibit infectivity of rotavirus in vitro / K.L. Fuller [et al.] // *J Dairy Sci.* — 2013. — V. 96, iss. 6. — P. 3488–3497.

22. Comparison of emulsifying properties of milk fat globule membrane materials isolated from different dairy by-products / T.T.Q. Phan [et al.] // *J Dairy Sci.* — 2014. — Vol. 97, iss. 8. — P. 4799–4810.
23. Parris, K. Phospholipids: Versatile Nutraceuticals for Functional Foods. / K. Parris // *Funct. Foods Nutraceut.* — 2002. — P. 1–12.
24. Burling, H. Milk — A new source for bioactive phospholipids for use in food formulations / H. Burling, G. Graverholt // *Lipid Technol.* — 2008. — Vol. 20. — P. 229–231.
25. Effects of Milk Fat Globule Membrane (MFGM) — Enriched Formula With Reduced Energy and Protein Content on Growth and Development (TUMME) / *Clinical Trials* [electronic resource]. — Mode of Access : <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00624689>. — Date of Access: 04.02.2020.
26. Health effects of dietary phospholipids / D. Kӧllenberg [et al.] // *Lipids Health Dis.* — 2012. — Vol. 11, iss. 3. — P. 16.
27. A review on phospholipids and their main applications in drug delivery systems / J. Li // *Asian J Pharm Sci.* — 2015. — V. 10, iss. 2. — P. 81–98.
28. A randomized controlled trial investigating the neurocognitive effects of Lacprodan® PL-20, a phospholipid-rich milk protein concentrate, in elderly participants with age-associated memory impairment: the Phospholipid Intervention for Cognitive Ageing Reversal (PLICAR): study protocol for a randomized controlled trial / Scholey AB // *Trials.* — 2013. — Vol. 14, iss. 404. — P. 15.
29. Arla Foods Ingredients [Electronic resource]. — Mode of access : <https://www.arlafoodsingredients.com/our-ingredients/>. — Date of Access :04.02.2020.

### References

1. Dymar O.V. Povyshenie effektivnosti pererabotki molochnih resursov: nauchno-tehnicheskie aspekti [*Improvement of milk raw materials treatment: scientific and technical aspects*]. — Minsk: Colorgrad, 2018. — Gl.1. — P. 6–51.
2. Conway V., Gauthier S.F, Pouliot Y. *Buttermilk: Much more than a source of milk phospholipids*. *Animal Frontiers*. 2014, vol.4, iss.2, P. 44–51. doi: 10.2527/af.2014-0014
3. Vanderghem C., Bodson P., Danthine S., Paquot M. *Milk fat globule membrane and buttermilks: From composition to valorization*. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*. 2010, vol. 14, P. 485–500. Available at: <https://popups.uliege.be/443/1780-4507/index.php?id=5828> (Accessed 20 January 2020).
4. Gigli I. *Technological and Biological Properties of Buttermilk: A Minireview Whey — Biological Properties and Alternative Uses*. 2019, P. 9. doi: 10.5772/intechopen.80921
5. Sodini I., Morin P., Olabi A., Jimӑnez-Flores R. *Compositional and Functional Properties of Buttermilk: A Comparison Between Sweet, Sour, and Whey Buttermilk*. *Journal of Dairy Science*. 2006, vol. 89, iss. 2, P. 525–36. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72115-4
6. Arranz E., Corredig M. *Invited review: Milk phospholipid vesicles, their colloidal properties, and potential as delivery vehicles for bioactive molecules*. *Journal of Dairy Science*, 2017, vol. 100, Iss. 6, P. 4213–4222. doi: 10.3168/jds.2016-12236
7. Contarini G., Povo M. *Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies*. *The International Journal of Molecular Sciences*, 2013, vol. 14, iss 2, P. 2808–2831. doi: 10.3390/ijms14022808
8. Crespo-Villanueva A., Gumӑ-Audenis B., Sanz F., Artzner F., Mӑriadec C., Rousseau F., Lopez C., Giannotti M., Guyomarc'h F. [https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/ed5002043/suppl\\_file/ed5002043\\_si\\_001.pdf](https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/ed5002043/suppl_file/ed5002043_si_001.pdf) *Casein interaction with lipid membranes: Are the phase state or charge density of the phospholipids affecting protein adsorption?* *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Biomembranes*, 2018, vol. 1860, iss. 12, P. 2588–2598. doi: 10.1016/j.bbamem.2018.09.016
9. Lopez C. *Milk fat globules enveloped by their biological membrane: Unique colloidal assemblies with a specific composition and structure*. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2011, vol. 16, iss. 5, P. 391–404. doi: 10.1016/j.cocis.2011.05.007
10. MacGibbon A.K.H. *Composition and Structure of Bovine Milk Lipids*. *Advanced Dairy Chemistry, vol. 2 Lipids*. Boston: Springer, 2006, Ch. 1, P. 1–42. doi: 10.1007/0-387-28813-9\_1
11. Cavaletto M., Giuffrida M., Conti A. *Milk Fat Globule Membrane Components—A Proteomic Approach*. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2008, vol. 606, P. 129–141. doi: 10.1007/978-0-387-74087-4\_4
12. Burling H., Graverholt G. *Milk phospholipids a new ingredient for formulation of functional foods with bioactivity*. *Inform (Champaign)*, 2009, vol. 20, P. 494–496. doi: 10.1002/lite.200800058
13. Ferreiro T., Martӑnez S., Gayoso L., Rodrӑguez-Otero J.L. *Evolution of phospholipid contents during the production of quark cheese from buttermilk*. *Journal of Dairy Science*. 2016, vol. 99, iss. 6, P. 4154–4159. doi: 10.3168/jds.2016-10861
14. FAOSTAT. *Livestock Processed* [Electronic Resource]: FAO. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QP>. (accessed 04.02.2020).



15. Price N., Fei T., Clark S., Wang T. *Extraction of phospholipids from a dairy by-product (whey protein phospholipid concentrate) using ethanol*. Journal of Dairy Science. 2018, vol. 101, iss. 10, P. 8778–8787. doi:10.3168/jds.2018-14950
16. Kumar P., Sharma N., Ranjan R., Kumar S., Bhat Z.F., Jeong D.K. *Perspective of membrane technology in dairy industry: a review*. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2013, vol. 26, iss. 9, P.1347–1358. doi:10.5713/ajas.2013.13082
17. Morin P., Pouliot Y., Jimñez-Flores R. *A comparative study of the fractionation of regular buttermilk and whey buttermilk by microfiltration*. Journal of Food Engineering, 2006, vol. 77, iss. 3, P. 521–528. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.06.065
18. Konrad G., Kleinschmidt T., Lorenz C. *Ultrafiltration of whey buttermilk to obtain a phospholipid concentrate*. International Dairy Journal. 2013, v. 30, iss. 1, P. 39–44. doi: 10.1016/j.idairyj.2012.11.007
19. Corredig M., Roesch R.R., Dalgleish D.G. *Production of a Novel Ingredient from Buttermilk*. Journal of Dairy Science. 2003, v. 86, iss. 9, P. 2744–2750. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73870-3
20. Costa M.R., Elias-Argote X.E., Jimñez-Flores R., Gigante M.L. *Use of ultrafiltration and supercritical fluid extraction to obtain a whey buttermilk powder enriched in milk fat globule membrane phospholipids*. International Dairy Journal. 2010, v. 20, iss. 9, P. 598–602/ doi: 10.1016/j.idairyj.2010.03.006
21. Fuller K.L., Kuhlenschmidt T.B., Kuhlenschmidt M.S., Jimñez-Flores R., Donovan S.M. *Milk fat globule membrane isolated from buttermilk or whey cream and their lipid components inhibit infectivity of rotavirus in vitro*. Journal of Dairy Science. 2013, v. 96, iss. 6, P. 3488–3497. doi:10.3168/jds.2012-6122
22. Phan T.T., Le T.T., Van der Meeren P., Dewettinck K. *Comparison of emulsifying properties of milk fat globule membrane materials isolated from different dairy by-products*. Journal of Dairy Science. 2014, vol. 97, iss. 8, P. 4799–4810. doi:10.3168/jds.2014-8030
23. Kidd P.M. *Phospholipids: Versatile Nutraceuticals for Functional Foods*. Functional Foods and Nutraceuticals. 2002, P. 1–12. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.560.9979&rep=rep1&type=pdf>. (accessed 25 January 2020)
24. Burling H., Graverholt G. *Milk — A new source for bioactive phospholipids for use in food formulations*. Lipid Technology. 2008, vol. 20, P. 229–231. doi: 10.1002/lite.200800058
25. *Effects of Milk Fat Globule Membrane (MFGM) — Enriched Formula With Reduced Energy and Protein Content on Growth and Development (TUMME)* Available at: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00624689>. (accessed 04.02.2020)
26. Källenberg D., Taylor L.A., Schneider M., Massing U. *Health effects of dietary phospholipids*. Lipids in health and disease, 2012, vol. 11, iss. 3, P. 16. doi: 10.1186/1476-511X-11-3
27. Li J., Wang X., Zhang T., Wang C., Huang Z., Luo X., Deng Y. *A review on phospholipids and their main applications in drug delivery systems*. Asian Journal of Pharmaceutical Sciences. 2015, vol. 10, iss. 2, P. 81–98. doi: 10.1016/j.ajps.2014.09.004
28. Scholey A.B. *A randomized controlled trial investigating the neurocognitive effects of Lacprodan® PL-20, a phospholipid-rich milk protein concentrate, in elderly participants with age-associated memory impairment: the Phospholipid Intervention for Cognitive Ageing Reversal (PLICAR): study protocol for a randomized controlled trial*. Trials. 2013, vol.14, iss. 404, P. 15. doi: 10.1186/1745-6215-14-404
29. Arla Foods Ingredients. Available at: <https://www.arlafoodsingredients.com/our-ingredients>. (accessed 04.02.2020).

#### Информация об авторах

*Василькевич Алексей Игоревич* — аспирант РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: alex.vasilkevich@gmail.com.

*Дымар Олег Викторович* — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: dymarov@tut.by.

#### Information about authors

*Vasilkevich Aleksei I.* — graduate student RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova st., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alex.vasilkevich@gmail.com.

*Dymar Oleg V.* — ing., Ph.D, D.E.Sc., Professor, Chief Researcher of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova st., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dymarov@tut.by.