



## СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА САПОНИНСОДЕРЖАЩИХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Елена Николаевна Артемова <sup>1</sup>, Кристина Владимировна Власова <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орёл, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

<sup>1</sup> helena-1959@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7203-4475>

<sup>2</sup> vlasova\_kv\_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0434-9686>

**Аннотация.** Сапонинсодержащее сырье играет важную роль в создании и улучшении качественных характеристик многих продуктов питания, делая их более привлекательными для потребителя. Данное сырье используется в технологиях продуктов питания, особенно с пенной и эмульсионной структурой. Исследования в этой области важны не только для улучшения существующих технологий производства продуктов питания, но и для разработки новых продуктов с улучшенными органолептическими и функциональными характеристиками. Авторами были рассмотрены поверхностно активные свойства сапонинов с яичным альбумином, моделирующих разнообразные пищевые системы с их участием. Для исследования были выбраны тритерпеновые сапонины (фирмы Мерск и сапонин из конских каштанов), которые имеют в качестве агликона олеаноловую кислоту, которая обуславливает антимикробный, противораковый, гепатопротекторный, антиоксидантный, гиполипидемический и другие эффекты.

Эксперимент включал оценку свойств растворов двух сапонинов и яичного альбумина в зависимости от их концентрации с позиции структурно-механического фактора устойчивости, а затем влияние яичного альбумина на растворы сапонинов по тем же показателям. Растворы характеризовали поверхностным натяжением, прочностью межфазного адсорбционного слоя, активной кислотностью и эмульгирующей способностью. Для получения результатов в близком диапазоне значений, концентрация исследуемых растворов яичного альбумина (0,1–1,0 %) на порядок выше концентрации растворов сапонинов (0,01–0,1 %), что связано с очень высокой поверхностной активностью последних. Влияние альбумина на 0,05%-ные растворы сапонинов определяли в концентрациях 0,05–0,5 %.

Установлено, что в зависимости от активной кислотности растворов имеют место две разнонаправленные тенденции образования ассоциатов яичного альбумина с сапонином. Роль отдельных веществ в стабилизации эмульсии и пен смещается в ту или иную сторону из-за возможности образования сапонино-белковых ассоциатов и их коллоидно-химических свойств. При образовании сапонино-белковых ассоциатов снижается способность белковых макромолекул к структурообразованию в МАС, но при этом, благодаря уникальной структуре ассоциатов открываются возможности значительной лиофилизации межфазной границы водный раствор – масло.

**Ключевые слова:** пищевые системы, структурно-механический фактор устойчивости, пены, эмульсии, сапонины, яичный альбумин

**Для цитирования:** Артемова Е. Н., Власова К. В. Структурообразующие свойства сапонинсодержащих пищевых систем // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 53–60. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.008, EDN: <https://elibrary.ru/CPSZCA>.

## STRUCTURE-FORMING PROPERTIES OF SAPONIN-CONTAINING FOOD SYSTEMS

Elena N. Artemova <sup>1</sup>, Kristina V. Vlasova <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oryol State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

<sup>2</sup> Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU), Moscow, Russia

<sup>1</sup> helena-1959@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7203-4475>

<sup>2</sup> vlasova\_kv\_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0434-9686>

**Abstract.** *The problem of studying saponin-containing raw materials in food systems is relevant, it is increasingly used in food technologies, especially with foam and emulsion structures. The paper considers the surface active properties of saponins with egg albumin, modeling a variety of food systems with their participation. Triterpene saponins (from Merck and saponin from horse chestnuts) were selected for the study, which have oleanolic acid as an aglycone, which causes antimicrobial, anti-cancer, hepatoprotective, antioxidant, lipid-lowering and other effects.*

*The experiment included an assessment of the properties of solutions of two saponins and egg albumin depending on their concentration from the standpoint of the structural and mechanical stability factor, and then the effect of egg albumin on saponin solutions according to the same indicators. The solutions were characterized by surface tension, the strength of the interfacial adsorption layer, active acidity and emulsifying ability. To obtain results in a close range of values, the concentration of the studied egg albumin solutions (0.1-1.0%) is an order of magnitude higher than the concentration of saponin solutions (0.01-0.1%), which is due to the very high surface activity of the latter. The effect of albumin on 0.05% saponin solutions was determined at concentrations of 0.05-0.5%.*

*It has been established that, depending on the active acidity of solutions, there are two multidirectional trends in the formation of egg albumin associates with saponins. The role of individual substances in the stabilization of emulsions and foams is shifting in one direction or another due to the possibility of the formation of saponin-protein associates and their colloidal chemical properties. When saponin-protein associates are formed, the ability of protein macromolecules to structure in MAC decreases, but at the same time, due to the unique structure of the associates, the possibilities of significant lyophilization of the aqueous solution-oil interface open up.*

**Keywords:** *food systems, structural and mechanical stability factor, foams, emulsions, saponins, egg albumin.*

**For citation:** Artemova, E.N. & Vlasova, K.V. (2024). Structure-forming properties of saponin-containing food systems. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 53-60. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.008. EDN: <https://elibrary.ru/CPSZCA>.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время доступно большое количество пищевых эмульгаторов и пенообразователей, отличающихся между собой физико-химическими, органолептическими и функциональными свойствами [1, 2]. Сапонины как натуральные высоко поверхностно-активные вещества в этом направлении вызывают большой интерес, особенно тритерпеновые, которые имеют в качестве агликона олеаноловую кислоту [3, 4, 5].

Кроме того, многими отечественными и зарубежными авторами доказано, что эта кислота обуславливает антимикробный, противораковый, гепатопротекторный, антиоксидантный, гиполипидемический и другие эффекты, что усиливает интерес к сапонинсодержащему сырью при создании продуктов питания [6].

На основе или с участием сапонинсодержащих растений в настоящее время разрабатываются многие пищевые продукты для традиционного питания, а также диетического и профилактического. С позиции органолептической оценки структура нового продукта, его консистенция и внешний вид имеют важнейшее значение и должны соответствовать определенным требованиям рассматриваемой группы продуктов. Значительный интерес к сапонинсодержащему сырью, используемому в пищевых технологиях, расширение его ассортимента и все более широкое применение в технологии различных групп пищевых продуктов выдвигает и делает актуальной проблему изучения механизма формирования эмульсий и пен с его участием

Сочетание в пенных и эмульсионных пищевых системах белкового и растительно-

**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2024**

го сырья встречается достаточно часто. Это майонезы, кремы как десерты и как отделочные полуфабрикаты, самбуки, коктейли, эмульсии для различных мясных и мучных кондитерских и кулинарных изделий, в которых белоксодержащими продуктами часто выступают яичные продукты. Кроме того, белки, находясь в составе растительной сапонинсодержащей ткани, также могут участвовать в формировании структуры эмульсий и пен.

Целью данной работы явилось изучение стабилизирующих свойств водных растворов сапонинов в присутствии яичного альбумина.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для исследования были выбраны сапонин фирмы Merck и сапонин, лиофилизированный (из конских каштанов) марки «А» ТУ 6-09-4345-77 и яичный альбумин, соответствующий ГОСТ 30363-2013 «Продукты яичные жидкие и сухие пищевые. Технические условия». Их растворы характеризовали поверхностным натяжением, прочностью межфазного адсорбционного слоя (МАС), активной кислотностью и эмульгирующей способностью. В состав сапонина фирмы Merck входят пентациклические тритерпеновые сапонины, которые содержатся не менее чем в 70 семействах и типичны более чем для 150 родов [7, 8].

Согласно структурно-механическому фактору, устойчивость эмульсионных и пенных систем определяется не только снижением поверхностного натяжения, но и образованием прочных межфазных адсорбционных слоев. Изучение смешанных межфазных слоев, содержащих несколько поверхностно-активных компонентов, является весьма существенным в исследовании возможности образования стабильных эмульсионных пищевых систем [9, 10]. В свою очередь, возможность образования интерполимерных комплексов обусловлена электростатическим взаимодействием разноименно заряженных полиэлектролитов на межфазной поверхности и во многом определяется активной кислотностью системы. Поэтому, кроме эмульгирующей способности рассматриваемых систем, оценивали их поверхностное натяжение, прочность МАС на границе с маслом и активную кислотность.

Прочность МАС определяли с помощью поверхностного электрорвискозиметра, принципы конструкции которого предложены Ре-

биндером и Трапезниковым [9, 10]. Измерения проводили при постоянной скорости вращения столика, регистрируя изменения статического напряжения сдвига во времени на границе с дезодорированным растительным маслом. Поскольку модуль упругости торсиона (вольфрамовой нити) много выше модуля упругости исследованных межфазных адсорбционных слоев, то такой режим испытаний обеспечивает постоянство скорости деформации на начальной (линейной) и конечной стадиях развития напряжения сдвига. Поверхностное натяжение определяли методом максимального давления пузырька; активную кислотность – на приборе рН-340; эмульгирующую способность – с помощью центрифуги К-70 и лабораторной мешалки Tur-2. Все показатели определяли при температуре 20 °С.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначально оценили свойства растворов двух сапонинов и яичного альбумина в зависимости от их концентрации по показателям, характеризующим эмульгирующую способность с позиции структурно-механического фактора устойчивости, а затем влияние яичного альбумина на растворы сапонинов 0,05 % концентрации по тем же показателям.

На рисунке 1 представлено изменение поверхностного натяжения однокомпонентных растворов выбранных для исследования веществ. Для получения результатов в близком диапазоне значений концентрация исследуемых растворов яичного альбумина (0,1–1,0 %) на порядок выше концентрации растворов сапонинов (0,01–0,1 %), что подтверждает очень высокую поверхностную активность последних.

Далее рассмотрели влияние заданного интервала концентраций яичного альбумина 0,05–0,5 % на поверхностное натяжение и прочность МАС 0,05%-ных растворов сапонинов, что отражено на рисунках 2 и 3. Влияние яичного альбумина на рассматриваемые сапонины носит разный характер. Поверхностное натяжение раствора сапонина из конского каштана с ростом в нем количества яичного альбумина возрастает, а раствора сапонина фирмы Merck снижается.

При этом как рост, так и снижение достаточно небольшие: поверхностное натяжение 0,05%-ного раствора сапонина фирмы Merck снижается с 60,3 до 58,2 мН/м, а значение данного показателя для сапонина из конских каштанов возрастает с 52,5 до 56,7 мН/м.

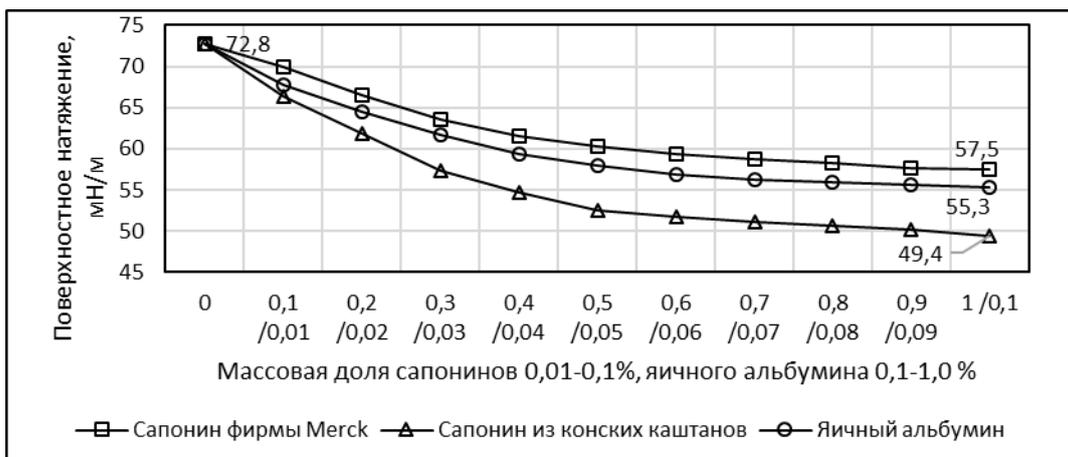


Рисунок 1 – Поверхностное натяжение водных растворов сапонинов и альбумина в зависимости от концентрации, %

Figure 1 – Surface tension of aqueous solutions of saponins and egg albumin as a function of concentration, %

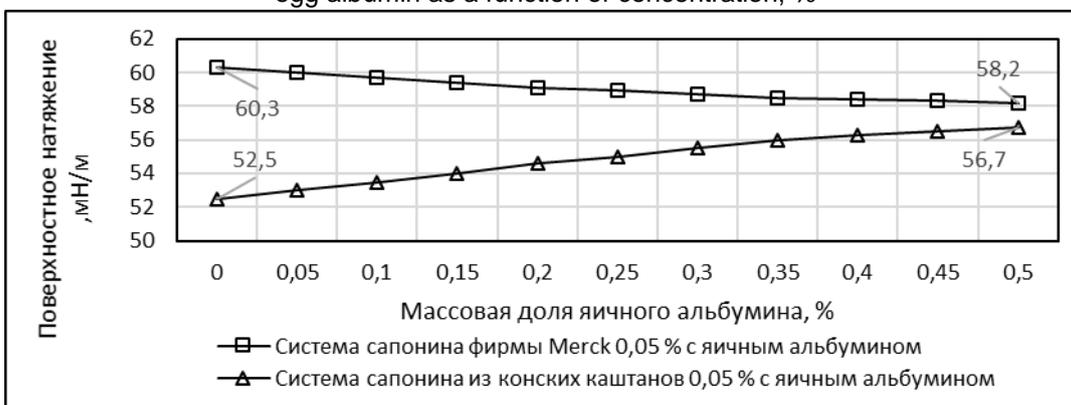


Рисунок 2 – Влияние массовой доли яичного альбумина на поверхностное натяжение 0,05%-ных растворов сапонинов

Figure 2 – Influence of egg albumin mass fraction on surface tension of 0.05% solutions of saponins

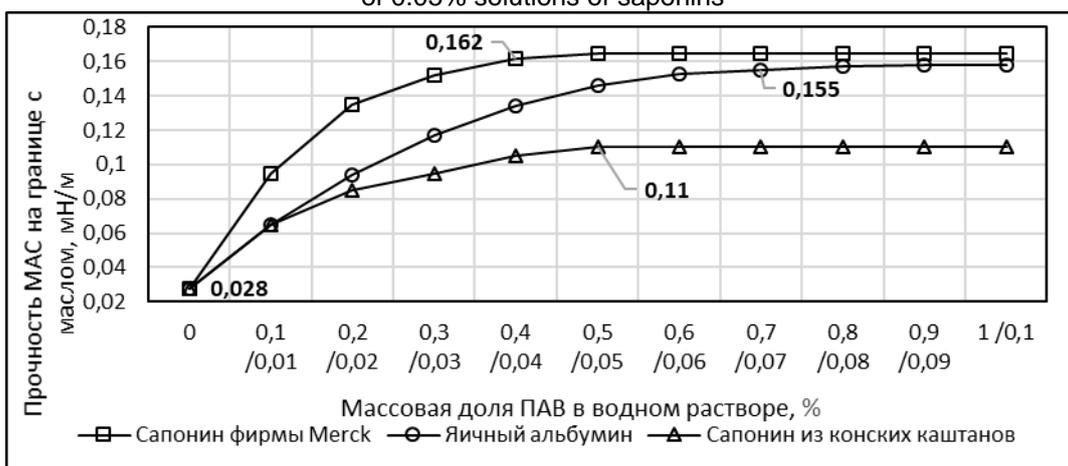


Рисунок 3 – Прочность МАС водных растворов ПАВ на границе с маслом в зависимости от концентрации

Figure 3 – Strength of MAS of aqueous surfactant solutions at the boundary with oil as a function of concentration

Изменение прочности МАС водных растворов сапонинов на границе с маслом в зависимости от концентрации носит похожий характер. Прочность МАС растворов сапонины фирмы Мерск нарастает с большей скоростью в первой половине исследуемого диапазона концентраций – до 0,04–0,05 %, чем во второй, практически не меняясь. Прочность МАС раствора сапонины из конских каштанов нарастает до концентраций 0,03–0,04 % и при дальнейшем увеличении концентрации также остается стабильной. При этом по абсолютной величине прочность МАС растворов сапонины фирмы Мерск превосходит данный показатель для растворов сапонины из конских каштанов.

Что касается МАС водных растворов яичного альбумина, то скорость упрочивания МАС в первой половине исследуемого диапазона выше, чем у растворов сапонины, и достигает максимума в концентрациях 0,3–0,4 %, превосходя по абсолютной величине значения данного показателя для растворов сапонины. Но, как было изложено выше, концентрация растворов яичного альбумина на порядок выше, чем растворов сапонины.

Очевидно, с ростом концентрации в растворе исследуемых ПАВ происходит увеличение их количества на границе раздела фаз и соответственно упрочивание МАС, а после его насыщения данный показатель стабилизируется и мало меняется. Для каждого вещества этот процесс носит индивидуальный характер.

Рассматривая влияние яичного альбумина на прочность МАС водных 0,05%-ных растворов сапонинов на границе с маслом, имеем противоположную картину (рисунок 4). Прочность МАС водного раствора сапонины фирмы Мерск практически не меняется, но с ростом концентрации яичного альбумина намечается тенденция к снижению. В то же время прочность МАС водного раствора сапонины из конских каштанов на границе с маслом несколько возрастает и имеет тенденцию к росту.

Эмульгирующая способность водных растворов сапонинов с ростом концентрации возрастает, при этом по абсолютной величине значения для сапонины фирмы Мерск больше, чем для сапонины из конских каштанов. Эмульгирующая способность растворов яичного альбумина возрастает с ростом концентрации и превосходит значения для растворов обоих сапонинов (рисунок 5).

Влияние концентрации яичного альбумина на эмульгирующую способность 0,05%-ных растворов сапонинов носит похожий характер –

она возрастает для обоих сапонинов, и при концентрации яичного альбумина 0,25 % и более практически одинакова, хотя исходные позиции заметно выше у сапонины фирмы Мерск.

Анализируя рассмотренные показатели: поверхностное натяжение, прочность МАС и эмульгирующую способность, наблюдаем похожие тенденции роста для всех рассматриваемых ПАВ с ростом их концентрации в однокомпонентных растворах. Сравнивая растворы сапонинов между собой, отмечаем, что сапонин фирмы Мерск в меньшей степени, чем сапонин из конских каштанов снижает поверхностное натяжение раствора, но при этом образует более прочный МАС на границе с маслом и образует более стойкую эмульсию. Очевидно, что образование более прочных МАС является более важным показателем в определении эмульгирующей способности систем, что согласовывается со структурно-механическим фактором устойчивости.

Влияние яичного альбумина на растворы исследуемых сапонинов носит различный и противоречивый характер. Так, рост количества яичного альбумина в 0,05%-ном растворе сапонины снижает как поверхностное натяжение, так и прочность МАС, незначительно увеличивая способность к получению эмульсии. В то же время рост количества яичного альбумина в 0,05%-ном растворе сапонины из конских каштанов повышает поверхностное натяжение и упрочивает МАС, увеличивая способность к эмульгированию. Из чего следует вывод, что четкая зависимость между поверхностным натяжением и прочностью МАС хорошо прослеживается в однокомпонентных системах и отсутствует в многокомпонентных. Очевидно, это связано с взаимовлиянием веществ в растворе.

Яичный альбумин, как представитель белковых веществ, обладает амфотерностью, изменение его возможностей к взаимодействию тесно связано с его изоэлектрической точкой. Исходя из этого, определили активную кислотность исследуемых растворов, представленную на рисунках 7 и 8.

Согласно данным, представленным на рисунке 7, растворы яичного альбумина имеют слабощелочную активную кислотность, которая значительно выше изоэлектрической точки для этого белка – 4,8. Растворы сапонинов имеют, напротив, кислую рН среды, при этом у растворов сапонины фирмы Мерск рН среды заметно ниже, чем у растворов сапонины из конских каштанов.

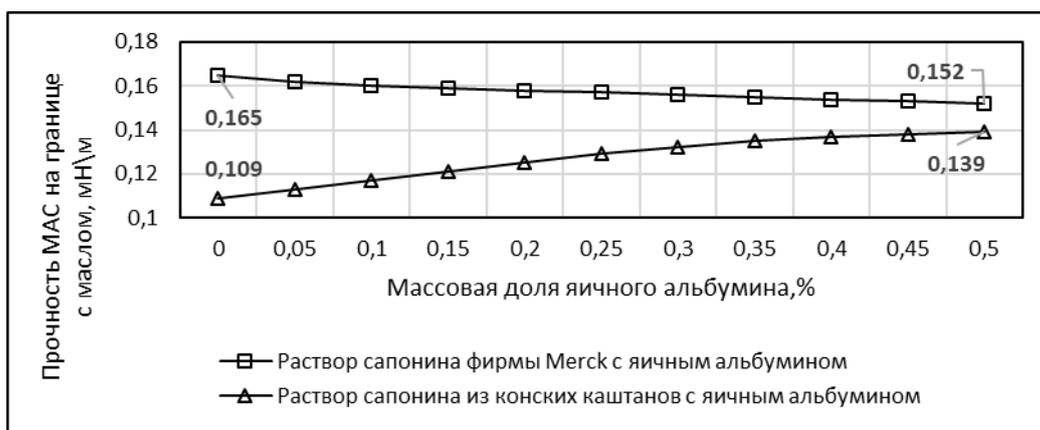


Рисунок 4 – Влияние яичного альбумина на прочность МАС водных 0,05%-ных растворов сапонинов на границе с маслом  
 Figure 4 – Effect of egg albumin on the strength of MAS of aqueous 0.05% aqueous solutions of saponins at the interface with oil



Рисунок 5 – Эмульгирующая способность МАС водных растворов ПАВ, %  
 Figure 5 – Emulsifying ability of MAS of aqueous surfactant solutions, %

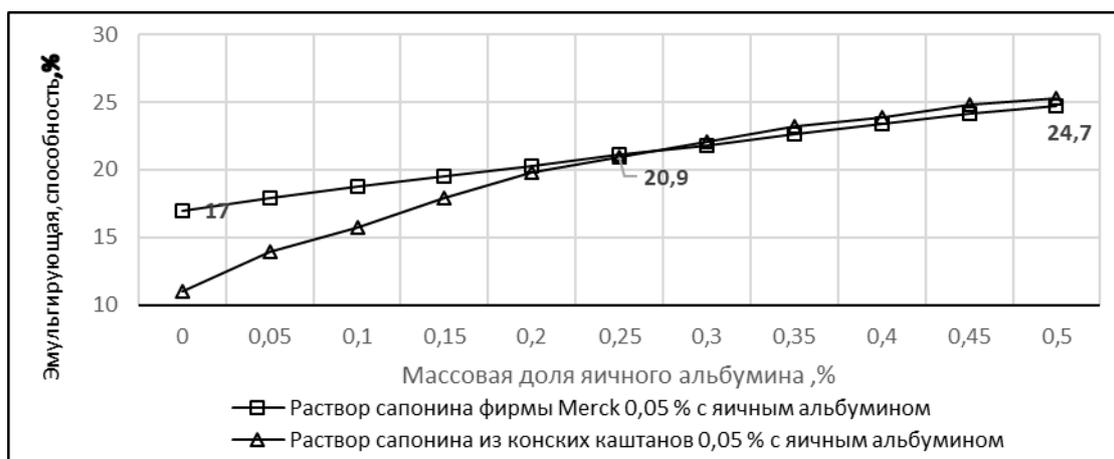


Рисунок 6 – Влияние яичного альбумина на эмульгирующую способность водных 0,05%-ных растворов сапонинов  
 Figure 6 – Effect of egg albumin on the emulsifying ability of aqueous 0.05% aqueous solutions of saponins

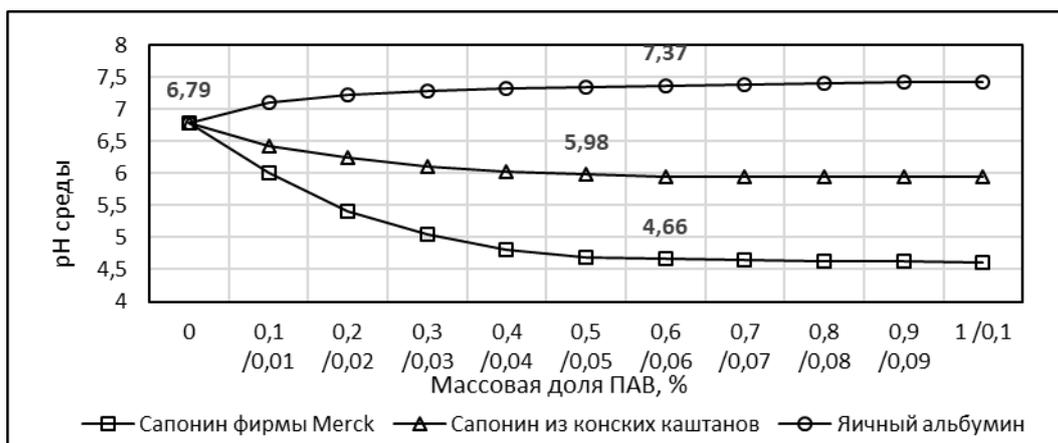


Рисунок 7 – pH среды водных растворов сапонинов и яичного альбумина в зависимости от концентрации

Figure 7 – pH of aqueous solutions of saponins and egg albumin as a function of on the concentration

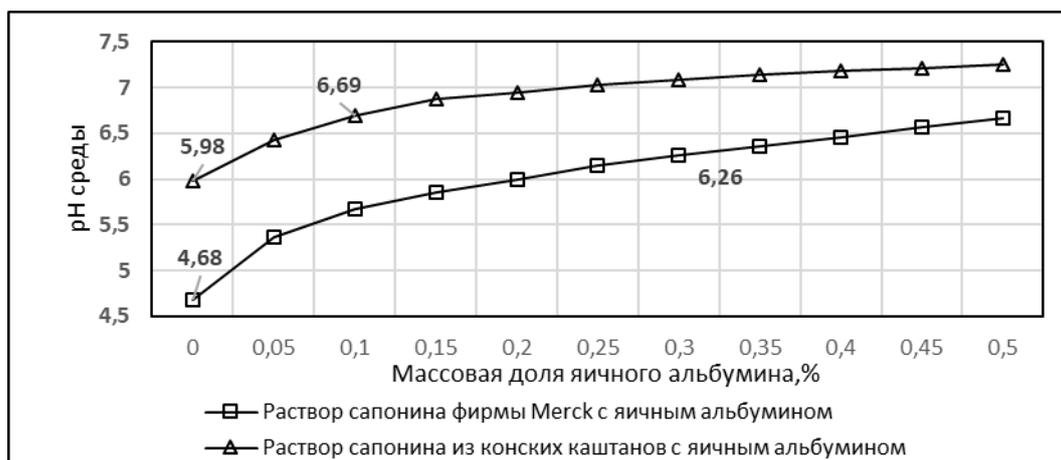


Рисунок 8 – Влияние яичного альбумина на pH среды водных 0,05%-ных растворов сапонинов

Figure 8 – Effect of egg albumin on the pH of the medium of aqueous 0,05% solutions of saponins

Введение яичного альбумина в исследуемые растворы сапонинов несколько повышает их активную кислотность, о чем свидетельствуют данные, представленные на рисунке 8. Исходя из того, что яичный альбумин выше изоэлектрической точки действует как кислота, говорить о тесном взаимодействии его с сапонами, как одинаково заряженными частицами, не приходится.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

И сапонины, и яичный альбумин, являясь высоко поверхностно-активными веществами, проникая в межфазный слой, формируют его на основе конкурентной адсорбции в зависимости от собственных индивидуальных особенностей и активной кислотности системы. Об этом свидетельствует отсутствие выраженного синергического эффекта, подтвержденного

данными проанализированных выше показателей. Вместе с тем, учитывая одновременное присутствие в межфазном слое сапонинов и яичного альбумина, нельзя исключать образование сапонино-белковых ассоциатов, что влияет на механизм стабилизации таких дисперсных систем, как эмульсии и пены.

Таким образом, исследования выбранных показателей рассматриваемых систем, имеющих в своем составе сапонины и белки, позволяет сделать важные выводы, что в зависимости от активной кислотности среды имеют место две разнонаправленные тенденции образования ассоциатов яичного альбумина с сапонами. Роль отдельных веществ в стабилизации эмульсии и пен смещается в ту или иную сторону из-за возможности образования сапонино-белковых ассоциатов и их коллоидно-химических свойств. При образовании сапо-

нино-белковых ассоциатов снижается способность белковых макромолекул к структурообразованию в МАС, но при этом, благодаря уникальной структуре ассоциатов открываются возможности значительной лиофилизации межфазной границы водный раствор – масло.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МакКлементс Д.Дж. Пищевые эмульсии: принципы, практика и технические приемы. Бока-Ратон: CRC press, 2015. 690 с.
2. Хазенхюттль Г.Л., Хартел В.Р. Пищевые эмульгаторы и их применение (2-е изд.) / под ред. Г.Л. Хазенхюттль. Москва : Профессия. 2008. 288 с.
3. Юдина Т.П. Поиск перспективного источника сапонинов для получения растительного эмульгатора / Т.П. Юдина [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. 2008. № 2–3. С. 33–36.
4. Сальникова В.А. Стабилизация прямых эмульсий тритерпеновыми сапонинами // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 20–22.
5. Типпель Дж. Состав экстракта сапонина Quillaja влияет на окисление липидов в эмульсиях масло-вода / Дж. Триппель [и др.] // Пищевая химия. 2016. № 16. С. 316–72-7. doi: 10.1016/j.food-chem.2016.10.055.
6. Янг Ю. Образование и стабильность эмульсии с использованием натурального низкомолекулярного поверхностно-активного вещества: сапонина Quillaja (Q-Naturale) / Ю. Янг [и др.] // Пищевые гидроколлоиды. 2013. № 2 (30). С. 589–596. doi: 10.1016/j.foodhyd.2012.08.008.
7. Делай С. Выделение и выяснение структуры высокомолекулярного сапонина из экстракта сапонина Мерк с использованием методов ЯМР с усилением градиента поля / С. Делай [и др.] // Исследование углеводов. 1997. № 1–2 (302). С. 67–78. doi: 10.1016/s0008-6215(97)00101-8.
8. Мироненко Н.В. УФ-спектрофотометрическое определение тритерпеновых сапонинов – производных олеаноловой кислоты / Н.В. Мироненко [и др.] // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 153–157.
9. Грицкова И.А. Влияние природы полимерного стабилизатора на реологические свойства межфазных адсорбционных слоев / И.А. Грицкова [и др.] // Журнал физической химии, 2020, № 9 (94), С. 1391–1397. DOI: 10.31857/S0044453720090101.
10. Измайлова В.Н., Ребиндер П.А. Структурообразование в белковых системах. М. : Наука, 1974. 268 с.

### Информация об авторах

Е. Н. Артемова – д.т.н., профессор кафедры «Технологии продуктов питания и организация ресторанного дела» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева.

К. В. Власова – к.т.н., доцент кафедры «Цифровая нутрициология, гостиничный и ре-

сторанный сервис» Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ).

### REFERENCES

1. McClements, D.J. (2015). Food emulsions: principles, practices, and techniques. Boca Raton: CRC press.
2. Hazenhöttl, G.L. & Hartel, W.R. (2008). Food emulsifiers and their application. Moscow: Profession. 288 p.
3. Yudina, T.P., Cherevach, E.I., Tsybulko, E.I. & Babin, Yu. (2008). Search for a promising source of saponins for obtaining plant emulsifier. University news. Food technology, (2-3), 33-36.
4. Salnikova, V.A. (2018). Stabilization of direct emulsions by triterpene saponins. Storage and processing of agricultural raw materials, (2), 20-22.
5. Toppel, J., Gies, K., Harbaum-Piayda, B., Steffen-Heins, A. & Drusch, S. (2016). Composition of Quillaja saponin extract affects lipid oxidation in oil-water emulsions. Food Chemistry, (221), 386-294. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.055.
6. Yang, Y., Leser, M.E., Sher, A.A. & McClements, D.J. (2013). Formation and stability of emulsion using natural low molecular weight surfactant: Quillaja saponin Q-Naturale. Food Hydrocolloids, (2), 589-596. (In Russ.). doi:10.1016/j.foodhyd.2012.08.008.
7. Delay, C., Gavin, J.A., Aumelas, A., Bonnet, P.A. & Roumestand, C. (1997). Separation and structure elucidation of a highly hemolytic saponin from Merck saponin extract using field gradient enhanced NMR techniques. Carbohydrate Research, (1-2), 67-78. (In Russ.). doi: 10.1016/s0008-6215(97)00101-8.
8. Mironenko, N.V., Brezhneva, T.A. & Selemenev, V.F. (2011). UV-spectrophotometric determination of triterpene saponins - derivatives of oleanolic acid. Chemistry of plant raw materials, 2011, (3), 153-157. (In Russ.).
9. Gritskova, I.A., Andreeva, A.V., Klyuzhin, E.S., Satskevich, O.A., Basyreva, L.Y. & Levachev, S.M. (2020). Influence of the nature of polymer stabilizer on the rheological properties of interfacial adsorption layers. Journal of Physical Chemistry. (9), 1391-1397. (In Russ.). DOI: 0.31857/S0044453720090101.
10. Izmailova, V.N. & Rebinder, P.A. (1974). Structure formation in protein systems. Moscow: Nauka, 1974. (In Russ.).

### Information about the authors

E.N. Artemova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Food Technology and Organization of Restaurant Business" of the I.S. Turgenev Oryol State University.

K.V. Vlasov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Nutrition, Hotel and Restaurant Service of the Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovskiy (PKU).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 21 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.