

Н. В. Саутина, С. В. Лутаева, М. А. Константинова,
Ю. Г. Галяметдинов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ «ЗЕЛЕННЫХ» ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОСМЕТИКЕ

Ключевые слова: «зеленые» ПАВ, кокоглюкозид, кокосульфат натрия, овсяный ПАВ, яблочный ПАВ, смачивание, поверхностное натяжение.

«Зеленые» поверхностно-активные вещества (ПАВ) представляют собой натуральные компоненты, получаемые из природных источников, в дальнейшем подвергаемые определенной химической обработке для использования в косметической и пищевой промышленности. Наиболее распространенными «зелеными» ПАВ являются: кокоглюкозид, кокосульфат натрия, овсяный и яблочный ПАВ. В данной статье были изучены их физико-химические свойства. Известно, что эти вещества оказывают мягкое очищающее действие, не разрушают натуральный липидный барьер кожи, образуют мягкую пену, подходят для чувствительной кожи. В ходе работы у выбранных веществ были исследованы такие коллоидно-химические показатели как: поверхностное натяжение, смачивание, пенообразующая способность, устойчивость пены, водородный показатель pH. Показана зависимость данных параметров от концентраций растворов поверхностно-активных веществ. Выявлено, что с ростом концентрации ПАВ снижается поверхностное натяжение их водных растворов и увеличивается смачивающая способность. В ходе исследований установлено, что все ПАВ, кроме кокоглюкозида хорошо снижают поверхностное натяжение, а наилучшее смачивание достигается при использовании овсяного ПАВ. Для исследования смачивания были выбраны поверхности политетрафторэтилена и желатина. В связи с тем, что политетрафторэтилен позиционируется как наиболее низкоэнергетическая поверхность, вследствие наличия фторсодержащих групп $-CF_2-$ в поверхностном слое, а желатин используется в качестве имитации поверхности кожи. Определено, что поверхность желатина хорошо смачивается всеми ПАВ, а для политетрафторэтилена наблюдается переход в положительные значения косинуса краевого угла смачивания. При определении pH водных растворов исследуемых ПАВ, выявлено что самым близким водородным показателем к показателю кожи стало значение pH овсяного ПАВ. Таким образом, исследованные ПАВ могут быть эффективными смачивателями и пенообразователями (за исключением яблочного ПАВ), что позволяет использовать их в пенообразующих и косметических средствах.

N. V. Sautina, S. V. Lutaeva, M. A. Konstantinova,
Yu. G. Galyametdinov

INVESTIGATION OF COLLOIDAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF "GREEN" SURFACTANTS IN COSMETICS

Key words: "green" surfactants, coco - glucoside, sodium coco-sulfate, sodium lauroyl oat amino acids, sodium cocoyl apple amino acids, wetting, surface tension.

"Green" surfactants are natural components obtained from natural sources, which are then subjected to certain chemical treatment for use in the cosmetic and food industries. The most common "green" surfactants are: cocoglucoside, sodium cocosulfate, oat and apple surfactants. In this article were studied their physicochemical properties. It is known that these substances have a mild cleansing effect, do not destroy the natural lipid barrier of the skin, form a soft foam, and are suitable for sensitive skin. In the course of the work, the following colloidal chemical indicators were studied for the selected substances: surface tension, wetting, foaming ability, foam stability, and hydrogen index pH. The dependence of these parameters on the concentrations of surfactant solutions is shown. It was found that with an increase in the concentration of surfactants, the surface tension of their aqueous solutions decreases and the wetting ability increases. The studies showed that all surfactants except coco-glucoside effectively reduce surface tension, and the best wetting is achieved with oat surfactant. The surfaces of polytetrafluoroethylene and gelatin were selected for the wetting study. Due to the fact that polytetrafluoroethylene is positioned as the lowest-energy surface due to the presence of fluorine-containing groups $-CF_2-$ in the surface layer, and gelatin is used to simulate the skin surface. It was determined that the gelatin surface is well wetted by all surfactants, and for polytetrafluoroethylene, a transition to positive values of the contact angle cosine is observed. When determining the pH of aqueous solutions of the studied surfactants, it was found that the pH value of the oat surfactant was the closest hydrogen index to that of skin. Thus, the studied surfactants can be effective wetting agents and foaming agents (except apple surfactant), which allows them to be used in foaming detergents and cosmetics.

Введение

Для производства качественных косметических продуктов важную роль играют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Они являются неотъемлемой частью такой продукции, как гели для душа, шампуни, маски и кремы для лица. ПАВ обеспечивают очищение, смягчение, увлажнение,

пенообразование, консервацию, стабилизацию, регулирование вязкости.

В настоящее время, вместо изменения структуры или характеристик ингредиентов с помощью химического синтеза, имеется тенденция к поиску решений для извлечения, очистки и использования натуральных веществ [1].

«Зеленые» или биоразлагаемые ПАВ, в отличие, например, от синтетических алкилфенолов, представляют собой натуральные косметические ингредиенты, получаемые из природных источников, а затем подвергаемые определенной химической обработке, чтобы они стали пригодными для использования в косметике [2,3]. Среди них чаще всего применяются кокосовый глюкозид, кокоат сахарозы, кокосульфат натрия. Они характеризуются мягким моющим действием, хорошим пенообразованием и стабильной пеной. Кроме основного стабилизирующего действия, они могут служить как питательные ингредиенты, которые увлажняют кожу и удерживают влагу в течение длительного периода времени [2]. Кокосульфат натрия является анионным поверхностно-активным веществом и используется для удаления масляных пятен и остатков. Эти ПАВ можно использовать для замены лаурилсульфата натрия (SLS) [4].

Другим перспективным «зеленым» ПАВ является децилглюкозид — это ингредиент, полученный из жиров, сахаров и спиртов, которые обычно содержатся в кукурузном сахаре, кокосовых орехах и пальмовом масле. Он обладает превосходной пенообразующей способностью. Хорошо подходит для чувствительной и других типов кожи. Используется вместе с глюкозидами для усиления пенообразования. Считается мягким, малотоксичным и экологически чистым, что делает его отличным средством для минимизации воздействия на окружающую среду [5].

Тритерпеновые гликозиды, стероидные гликозиды и стероидные алкалоидные гликозиды — три основные категории, на которые можно разделить сапониновые структуры, обнаруженные в растениях [6]. Ключевыми преимуществами сапонинов в уходе за кожей являются их мягкое очищение, отшелушивание, антиоксидантная защита, противовоспалительные свойства, увлажнение, стимуляция выработки коллагена, выравнивание тона кожи, совместимость с натуральными ингредиентами и разнообразие источников [7].

Также в косметической промышленности применяют Cetearyl Olivatе, Sorbitan Olivatе - сложные эфиры жирных кислот оливкового масла и цетеарилового спирта или сорбитола соответственно. Они обладают способностью создавать жидкокристаллические структуры, имитирующие организацию рогового слоя. В лосьонах и кремах они действуют как универсальные эмульгаторы, а также способствуют загустению и увлажнению. Оливковое масло содержит высокие концентрации антиоксидантов, которые идеально подходят для антивозрастных процедур и восстановления после солнечных лучей [8].

Emulactive W (INCI: Cetearyl Alcohol, Glyceryl Stearate, Potassium Palmitoyl Hydrolyzed Wheat Protein) - универсальный эмульгатор типа «масло в воде» с широкими свойствами, на основе производного пшеничного белка. Обладает многими полезными свойствами для волос и кожи. В составе гидролизованного пшеничного протеина содержится

множество различных аминокислот, что способствует увлажнению и защите кожи. Он стимулирует синтез коллагена и уменьшает появление мелких морщин. Это хороший эмульгатор для получения очень жидких и стабильных текстур, в том числе для изготовления продуктов, которые можно использовать в пульверизаторах или спреях [9].

Также интерес вызывают овсяный и яблочный поверхностно-активные вещества. Овсяный ПАВ — это натуральное анионное поверхностно-активное вещество, полученное из аминокислот, содержащихся в зернах овса. Менее агрессивный по сравнению с привычными анионными ПАВ. Отличный пенообразующий агент даже в жесткой воде. Обладает мягким очищающим эффектом [10].

Яблочный ПАВ содержит в составе кокоил натрия и аминокислоты, аналогичные содержащимся в яблоке. Подходит для чувствительной и нежной кожи, можно использовать в детских продуктах, так как обеспечивает очень деликатное очищение кожи. Не оказывает раздражение на глаза и слизистые. В качестве со-ПАВ снижает агрессивность основных поверхностно-активных веществ [11].

В настоящее время исследование натуральных ПАВ приобретает все большую актуальность. Так, в работе Чудиновой Н.Н. [12] было проведено сравнение анионного ПАВ — стеароилглутамата натрия и неионного ПАВ — алкилглюкозида. Стеароилглутамат натрия - натуральный растительный эмульгатор, производимый из сахара и растительных масел. Алкилглюкозид - вещество на основе глюкозы, получаемой из кукурузы, и жирных спиртов пальмового и кокосового масел. Показано, что алкилглюкозид снижает поверхностное натяжение сильнее, благодаря лучшей адсорбционной способности на границе сред раствор - воздух. Это можно объяснить разной растворимостью исследуемых ПАВ: ионное ПАВ растворяется в полярном растворителе лучше. При сравнении пенообразующей способности выявлено, что алкилглюкозид лучший пенообразователь, чем стеароилглутамат натрия.

В работе [13] изучали свойства натуральных эмульгаторов оливат полиглицерил-3 цетеарилового эфира и полиглицерил-3 оливатфосфата. Показано, что эмульсии, стабилизированные этими эмульгаторами, сохраняли стабильность в течение 12 недель.

Авторами [14] исследуются свойства природного ПАВ на основе сапонины из дерева Вернония Амигдалины. Проведенные исследования показали его преимущества в качестве пенообразователя и смачивателя.

Зависимость стабильности эмульсий на основе Cetearyl Olivatе от концентрации была изучена в научной статье [15]. Наилучшая стабильная эмульсия была получена с содержанием эмульгатора не менее 5%, в то время как эмульсия с содержанием 2,5% и меньше не прошла проверку на устойчивость.

Авторами [16, 17] исследованы эмульгирующие свойства лецитина. Показано, что соевый лецитин может быть стабилизатором эмульсий. Наиболее

значительное влияние на стабильность эмульсии оказывает pH раствора: с повышением pH стабильность эмульсии уменьшалась. Так же выяснилось, что при снижении концентрации эмульгатора эмульсии становились более стабильными. Оптимальными значениями для эмульсии с соевым лецитином были определены pH = 4,00 и концентрация эмульгатора 4,5% масс.

В статье [18] сравнили моющие свойства натуральных ПАВ sodium cocylproline и sodium cocoate с синтетическим ПАВ Sodium dodecyl sulfate. Выявлено, что sodium cocylproline обладает превосходными свойствами по сравнению с sodium cocoate и SDS, поскольку оно гораздо легче образует мицеллы и при более низкой температуре. Это свойство позволяет поверхностно-активному веществу более эффективно удалять пятна грязи при гораздо более низкой температуре (25-80°C). Однако умеренная пенообразующая активность sodium cocoate делает его идеальным компонентом для использования в составе моющих средств для стирки в стиральной машине.

Целью данной работы стало сравнительное исследование коллоидно-химических свойств перспективных «зеленых» поверхностно-активных веществ для использования в косметике.

Эксперимент

Для исследования были выбраны следующие вещества: овсяный ПАВ (INCI: Sodium Lauroyl Oat Aminoacids), яблочный ПАВ (INCI: Sodium Cocoyl Apple Amino Acids), кокоглюкозид, кокосульфат натрия.

Поверхностное натяжение определяли стагмометрическим методом на стагмометре СТ-2.

Краевой угол смачивания находили при помощи катетометра КМ-8, снабженного микрометрической насадкой, методом сидячей капли. Каждый раствор измеряли не менее 5 раз.

Пенообразующую способность определяли на приборе Росс-Майлса по ГОСТ 22567.1-77. Измерения проводили при T=37°C.

Для определения водородного показателя использовали предварительно откалиброванный pH-метр.

Для границы раздела жидкость-твердая фаза работа адгезии W_{1s} (1 для жидкости; s для твердого вещества) рассчитывалась из краевого угла θ с использованием уравнения Юнга-Дюпре:

$$W_{1s} = \sigma_1 \cdot (1 + \cos\theta).$$

Тонкие пленки желатина были получены с помощью прибора Spin Coater Laurell WS-400-6NPP-LITE. Стекланные подложки отмывали в хлороформе, затем выдерживали в горячем растворе хромовой смеси при 100°C в течение 20 мин, промывали 10 мин в горячей воде при 90°C, в холодной проточной воде и дважды в бидистиллированной воде комнатной температуры. Подложки подвергали термостабилизации при 160°C в течение трех часов. Поверхность стандартизировали по измерениям краевых углов смачивания капли воды [19].

Для формирования тонкой пленки желатина с помощью прибора Spin Coater Laurell WS-400-6NPP-LITE на очищенные подложки наносили раствор желатина в воде определенной концентрации (0,8 г/л) на 1 мин при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение

Для использования ПАВ в качестве эмульгаторов, стабилизаторов эмульсий, а также для применения их в качестве пенообразователей в косметическо-гигиенических моющих средствах должны соблюдаться ряд условий: низкое поверхностное натяжение, хорошая смачивающая способность, высокая стабильность пены и уровень pH, соответствующий pH кожи.

Снижение значения поверхностного натяжения позволяет косметическому продукту лучше распределяться по поверхности и взаимодействовать с кожей и волосами.

В связи с этим было проанализировано поверхностное натяжение исследуемых ПАВ в зависимости от их концентраций. График, представленный на рисунке 1, показывает снижение поверхностного натяжения с ростом концентрации ПАВ в водном растворе. Наименьшие значения достигаются при использовании яблочного, овсяного ПАВ и кокоглюкозида.

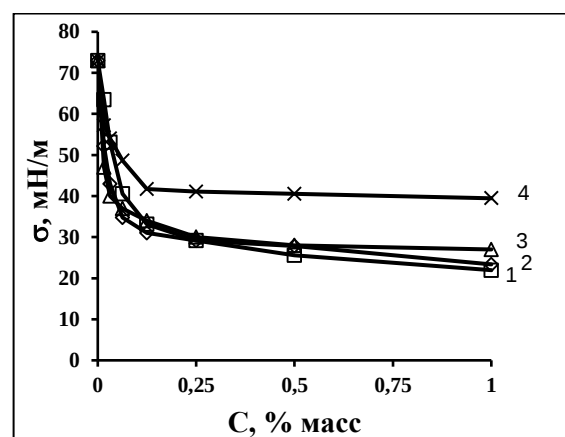


Рис. 1 – Поверхностное натяжение водных растворов ПАВ: 1 - овсяный ПАВ, 2 - кокоглюкозид, 3 - яблочный ПАВ, 4 - коксульфат натрия

Fig. 1 – Surface tension of aqueous solutions of surfactants: 1 – oat surfactant, 2 – cocoglucoside, 3 – apple surfactant, 4 – sodium cocosulfate

При исследовании взаимодействия ПАВ с поверхностью твердого тела информативным является метод смачивания. Оно является важным параметром для ПАВ, используемых в косметических средствах, так как влияет на распределение продукта по коже, взаимодействие с ней и на товарный вид. Для исследования смачивания были выбраны поверхности полимеров, отличающиеся полярностью - политетрафторэтилена (ПТФЭ), являющегося моделью гидрофобной поверхности из-за наличия фторсодержащих групп - CF₂ - в поверхностном слое, а также пластинки

желатина, который позиционируется как модель поверхности кожи.

С увеличением концентрации ПАВ смачивание ПТФЭ увеличивается и уже при концентрации выше 0,05 % масс наблюдается инверсия смачивания, переход к положительным значениям краевого угла (рис. 2). Данное явление связано с хорошими поверхностно-активными свойствами всех исследуемых ПАВ, благодаря которым происходит адсорбция на неполярной поверхности политетрафторэтилена и ее гидрофилизация.

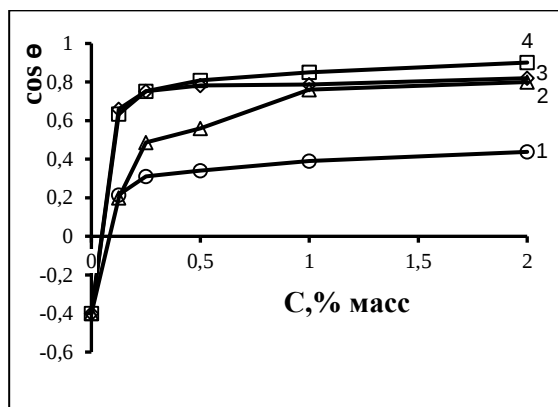


Рис. 2 – Смачивание ПТФЭ водными растворами «зеленых» ПАВ: 1 - кокосульфат натрия, 2 – яблочный ПАВ, 3 – овсяный ПАВ, 4 – кокоглюкозид

Fig. 2 – Wetting of PTFE with aqueous solutions of “green” surfactants: 1 – sodium cocosulfate, 2 – apple surfactant, 3 – oat surfactant, 4 – cocoglucoside

Наибольшие значения косинуса краевого угла смачивания в данном случае, так же, как и низкие значения поверхностного натяжения характерны для кокоглюкозида, яблочного и овсяного ПАВ.

Поверхность желатина – гидрофильная. Она хорошо смачивается всеми ПАВ (рис. 3).

Пенообразование является важным свойством поверхностно-активных веществ для использования их в моющих и очищающих композициях. Пена облегчает удаление грязи с поверхности, содействует измельчению, диспергированию и загрязнений на поверхности кожи или волос. Под действием капиллярных сил частицы грязи втягиваются в пену и далее уносятся ею после смывания. Чем ниже поверхностное натяжение моющего состава, тем выше кратность пены и эффективность диспергирования.

Пенообразующая способность растворов – это количество пены, выражаемое ее объемом (в мл) или высотой столба (в мм), которое образуется из постоянного объема раствора при соблюдении определенных условий в течении данного времени.

Результаты измерения пенообразующей способности растворов отражены на рисунке 4. Из данных следует, что все ПАВ хорошо образуют пену, кроме яблочного, высокая устойчивость пены характерна для всех исследуемых ПАВ (рис. 5).

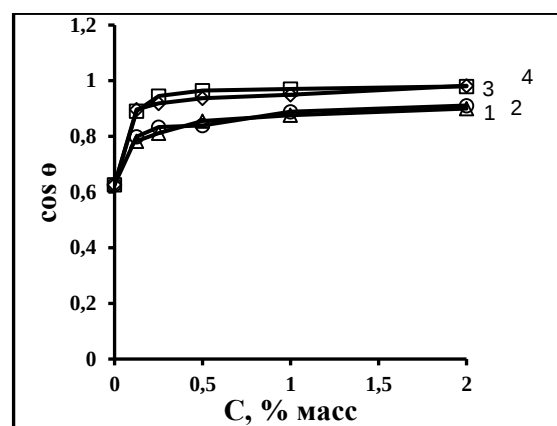


Рис. 3 – Смачивание желатиновых пленок водными растворами «зеленых» ПАВ: 1 - кокосульфат натрия, 2 – яблочный ПАВ, 3 – овсяный ПАВ, 4 – кокоглюкозид

Fig. 3 – Wetting of gelatin films with aqueous solutions of “green” surfactants: 1 – sodium cocosulfate, 2 – apple surfactant, 3 – oat surfactant, 4 – cocoglucoside

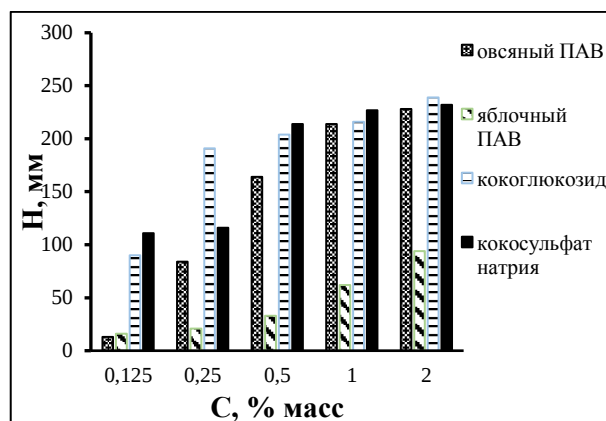


Рис. 4 – Зависимость пенообразующей способности ПАВ от концентрации растворов

Fig. 4 – Dependence of the foaming ability of surfactants on the concentration of solutions

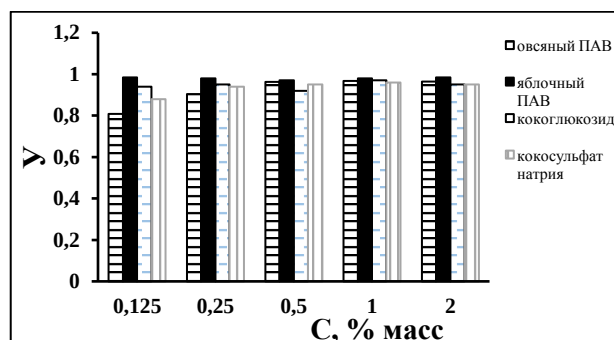


Рис. 5 – зависимость устойчивости пены «зеленых» ПАВ от концентрации в водном растворе

Fig. 5 – Dependence of the stability of “green” surfactant foams on their concentration in an aqueous solution

Использование косметических средств с очень высоким или очень низким водородным показателем грозит разрушению естественной кислотной мантии, которая предохраняет нашу кожу от различных возбудителей и воздействия окружающей среды. Вследствие этого кожа становится чувствительной, сухой, обезвоженной и склонна к воспалениям и высыпаниям.

Измерение водородного показателя растворов ПАВ показало, что самые близкие значения к pH кожи (4-6) имеет овсяный ПАВ в малых концентрациях, для остальных ПАВ он находится в диапазоне от 6 до 10.

Работа адгезии показывает работу, которую нужно затратить на разрыв границы контакта двух фаз: жидкость - жидкость или жидкость - твердое тело.

Этот показатель рассчитывался отдельно для данных, полученных после определения краевого угла смачивания на поверхности желатина и на поверхности политетрафторэтилена. Результаты показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Работа адгезии ПАВ на поверхности полимеров

Table 1 – Adhesion of surfactants on polymer surfaces

ПАВ	Wa, мН/м					
	ПТФЭ			Желатин		
С ПАВ, % масс	0,12	0,25	1	0,12	0,25	1
Овсяный	40,6	51,1	54,2	42,8	56,0	62,9
Яблочный	40,8	44,5	47,5	51,0	54,9	61,1
Кокоглюкозид	41,7	51,1	51,5	46,0	56,7	58,7
Кокосульфат натрия	50,6	53,8	54,8	74,5	75,3	75,0

Из таблицы следует, что с ростом концентрации значения работы адгезии увеличиваются, что говорит о хорошей адсорбции исследуемых ПАВ на поверхности полимеров. Работа адгезии на полярном полимере выше, чем на ПТФЭ.

Выводы

Таким образом, были исследованы физико-химические свойства перспективных для косметических продуктов «зеленых» ПАВ: кокосульфата натрия, кокоглюкозида, яблочного и овсяного ПАВ. Показано, что все ПАВ, кроме кокоглюкозида хорошо снижают поверхностное натяжение.

Исследованы пенообразующие свойства ПАВ и их смачивание поверхностей политетрафторэтилена и желатина. Выявлено, что наилучшее смачивание достигается при использовании кокосульфата натрия, при этом для всех ПАВ наблюдается инверсия смачивания. Поверхность желатина, являясь полярной поверхностью хорошо смачивается всеми ПАВ.

Определен pH водных растворов исследуемых ПАВ. Самым близким водородным показателем к показателю кожи стало значение pH овсяного ПАВ.

При исследовании адгезии ПАВ к поверхности полимеров выявлены хорошие показатели, при этом адгезия к полярному полимеру выше, чем к неполярному.

Таким образом, исследуемые ПАВ показали себя как хорошие смачиватели и пенообразователи (за исключением яблочного ПАВ), и, следовательно, могут использоваться в пеномоющих и косметических средствах.

Литература

1. M. Nasser, M. Sharma, G. Kaur, *Front. Chem.*, **12**, 1-9 (2024). DOI: 10.3389/fchem.2024.1382547.
2. D. Venkataramani, A. Tsulaia, S. Amin, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **3**, 102-134 (2020). DOI:10.1016/j.cis.2020.102234.
3. Н.В. Саутина, С.А. Богданова, В.П. Барабанов, *Вестник Казан. технол. ун-та*, **2**, С. 77-83 (2009).
4. S. Tamilselvi, *Cosmetics and Health Impact*, **12**, 1-3 (2024). DOI:10.52711/jnmr.2024.35
5. S. Akbari, N.H. Abdurrahman, V. Kudrashou, *Advance in Biosurfactants Res.*, **1**, 137–153 (2023). DOI:10.1007/978-3-031-21682-4_7.
6. A. Karnwal G. Kumar, S. Srivastava, *BioMed Res. Int.*, **1**, 1-25 (2023). DOI:10.1155/2023/2375223.
7. M. Wroblewska, K. Winnicka, *Drug Res.*, **79**, 687-705 (2023). DOI:10.32383/appdr/158784.
8. Z. Hua, C. Zhang, J. He, Y. Chen, S. Zhang, J. Sun, N. Wang, J. Zhang, X. Yang, J. Chen, X. Wei, *ACS Omega*, **9**, 47, 47194–47202 (2024). DOI: 10.1021/acsomega.4c07717.
9. C. Burnett, W. Bergfeld, *IJT*, **44**, 4, 13-16 (2024). DOI:10.1177/10915818241294063.
10. Н.В. Саутина, А.В. Паничкина, С.А. Богданова, Ю.Г. Галяметдинов, *Вестник Казан. технол. ун-та*, **17**, 5, С. 32-35 (2014).
11. P. Kaur, *IJSRA*, **14**, 1599-1604 (2025). DOI:10.30574/ijrsra.2025.14.1.0136.
12. Н.Н. Чудинова. Дис. канд. хим. наук, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва, 2014. 133 с.
13. M. Fiume, W. Bergfeld, D. Belsito, *IJT*, **11**, 109-158 (2023). DOI:10.1177/10915818231174440.
14. H. Imuetinyan, A. Augustine, R. Junin, A. Gbadamosi, *PR*, **7**, 3, 350-356 (2021). DOI:10.1016/j.ptlrs.2021.12.006
15. F. Yang, Y. Hu, M. Wu, *Cosmetics*, **12**, 1, 39-58 (2025). DOI:10.3390/cosmetics12010029
16. J. Tabaniag, M. Abad, C. Morcelos, G. Geraldino, *J. Appl. Eng. Sci.*, **70**, 154-173 (2023). DOI:10.1186/s44147-023-00322-5.
17. Н.В. Саутина, А.И. Рыбакова, Ю.Г. Галяметдинов, *Все материалы. Энциклопедический справочник*, **10**, 20-27, (2021). DOI: 10.31044/1994-6260-2021-0-10-20-27.
18. N. Joondan, H. D. Angundhoo, M. G. Bhowon, P. Caumul, S. J. Laullo, *Tenside Surf. Det.*, **57**, 5, 361-374. (2020). DOI: 10.3139/113.110705.
19. D.B. Hall, P. Underhill, J.M. Torkelson, *Polym sci. eng.*, **56**, 12, 2039-2045. (1998).

References

1. M. Nasser, M. Sharma, G. Kaur, *Front. Chem.*, **12**, 1-9 (2024). DOI: 10.3389/fchem.2024.1382547.
2. D. Venkataramani, A. Tsulaia, S. Amin, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **3**, 102-134 (2020). DOI:10.1016/j.cis.2020.102234.
3. N.V. Sautina, S.A. Bogdanova, V.P. Barabanov, *Herald of Kazan Technological University*, **2**, S. 77-83 (2009).

- 4.S. Tamilselvi, *Cosmetics and Health Impact*, 12, 1-3 (2024). DOI:10.52711/jnmr.2024.35
- 5.S. Akbari, N.H. Abdurahman, V. Kudrashou, *Advance in Biosurfactants Res.*, 1, 137–153 (2023). DOI:10.1007/978-3-031-21682-4_7.
- 6.A. Karnwal G. Kumar, S. Srivastava, *BioMed Res. Int.*, 1, 1-25 (2023). DOI:10.1155/2023/2375223.
- 7.M. Wroblewska, K. Winnicka, *Drug Res.*, 79, 687-705 (2023). DOI:10.32383/appdr/158784.
- 8.Z. Hua, C. Zhang, J. He, Y. Chen, S. Zhang, J. Sun, N. Wang, J. Zhang, X. Yang, J. Chen, X. Wei, *ACS Omega*, 9, 47, 47194–47202 (2024). DOI: 10.1021/acsomega.4c07717.
- 9.C. Burnett, W. Bergfeld, *IJT*, 44, 4, 13-16 (2024). DOI:10.1177/10915818241294063.
10. N.V. Sautina, A.V. Panichkina, S.A. Bogdanova, Yu.G. Galyametdinov, *Herald of Kazan Technological University*, 17, 5, pp. 32-35 (2014).
11. P. Kaur, *IJSRA*, 14, 1599-1604 (2025). DOI:10.30574/ijsra.2025.14.1.0136.
12. N.N. Chudinova. *dis. Ph.D. chem. Sciences*, Russian Chemical Technical University named after. D. I. Mendeleev, Moscow, 2014. 133 p.
13. M. Fiume, W. Bergfeld, D. Belsito, *IJT*, 11, 109-158 (2023). DOI:10.1177/10915818231174440.
14. H. Imuetinyan, A. Augustine, R. Junin, A. Gbadamosi, *PR*, 7, 3, 350-356 (2021). DOI:10.1016/j.ptlrs.2021.12.006
15. F. Yang, Y. Hu, M. Wu, *Cosmetics*, 12, 1, 39-58 (2025). DOI:10.3390/cosmetics12010029
16. J. Tabaniag, M. Abad, C. Morcelos, G. Geraldino, *J. Appl. Eng. Sci.*, 70, 154-173 (2023). DOI:10.1186/s44147-023-00322-5.
17. N.V. Sautina, A.I. Rybakova, Yu.G. Galyametdinov, *All materials. Encyclopedic reference book*. 10, 20-27, (2021). DOI: 10.31044/1994-6260-2021-0-10-20-27.
18. N. Joondan, H. D. Angundhooa, M. G. Bhowon, P. Caumul, S. J. Luallo, *Tenside Surf. Det.* 57, 5, 361-374. (2020). DOI: 10.3139/113.110705.
19. D.B. Hall, P. Underhill, J.M. Torkelso, *Polym sci. eng.* 56, 12, 2039-2045. (1998).

© **Н. В. Саутина** – канд. хим. наук, звание доцент, доцент кафедры Технологии косметических средств (ТКС), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, n.sautina@mail.ru; **С. В. Лутаева** – бакалавр 4 курс кафедра ТКС, КНИТУ, sofalutaeva@mail.ru; **М. А. Константинова** – магистрант 2 курс, кафедра Физической и коллоидной химии (ФКХ), КНИТУ, mariakonst01@mail.ru; **Ю. Г. Галяметдинов** – доктор хим.наук, профессор, профессор кафедры ФКХ, КНИТУ, yugal2002@mail.ru.

© **N. V. Sautina** – PhD (Chemical Sci.), Associate Professor, Department of Cosmetics Technology (CT), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, n.sautina@mail.ru; **S. V. Lutaeva** – 4th year Bachelor-student, the CT department, KNRTU, sofalutaeva@mail.ru; **M. A. Konstantinova** – 2nd year Master-student, Department of Physical and Colloid Chemistry (PCC), KNRTU, mariakonst01@mail.ru; **Yu .G. Galyametdinov** – Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Professor, the PCC department, KNRTU, yugal2002@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 21.05.25.

Дата принятия рукописи в печать – 06.06.25.