

Н. В. Саутина, Д. С. Кондулукова, Ю. Г. Галяметдинов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ SYN-AKE И ARGERILINE -ПЕПТИДОВ АНТИВОЗРАСТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: пептиды, лифтинг эффект, крем, anti-aging эффект, параметр взаимодействия, оптимальное соотношение ПАВ.

Пептиды — это небольшие белки, вводимые в косметические средства для достижения местного омолаживающего действия за счёт таких механизмов как уменьшение мышечных сокращений с предотвращением образования мимических морщин, регенерации и восстановления поврежденных клеток ткани. Пептиды широко используются в косметической промышленности благодаря их высокому профилю безопасности, широкой применимости, многофункциональности на коже и возможности конъюгации с другими косметическими ингредиентами. Пептиды-миорелаксанты (нейропептиды) обладают омолаживающим ботоксоподобным эффектом, смягчают черты лица, повышают тонус кожи и укрепляют коллагеновые волокна, предотвращая образование новых морщин. В настоящей работе исследованы коллоидно-химические свойства двух пептидов: ацетил гексапептида-3 (Argireline) и дипептида диаминобутироил бензиламид диацетата (Syn-ake), а также показана возможность их включения в состав косметического крема. С применением научного подхода подобраны концентрационные соотношения поверхностно-активных веществ (ПАВ) в смеси. Показано влияние различного содержания ПАВ на активность компонентов и образование стабильных косметических систем. Исследован синергизм пептид/ПАВ путём измерения соответствующего межфазного (поверхностного) натяжения и расчёта параметра взаимодействия на границе раздела фаз. Было установлено, что при увеличении концентрации пептида поверхностное натяжение уменьшается, что свидетельствует о некоторой поверхностной активности данных пептидов, это существенно улучшает стабильность косметического средства. Разработаны рецептуры крема для лица с пептидами широкого спектра действия. Исследованы физико-химические и органолептические свойства разработанного крема. Показано, что в случае применения пептида Argireline, структура крема более плотная, что подтверждается более отрицательным значением параметра взаимодействия ПАВ-пептид.

N. V. Sautina, D. S. Kondulukova, Yu. G. Galyametdinov

STUDY OF THE COLLOIDAL CHEMICAL PROPERTIES OF SYN-AKE AND ARGERILINE - ANTI-AGING PEPTIDES

Keywords: Peptides, lifting effect, cream, anti-aging effect, interaction parameter, optimal ratio of surfactants.

Peptides are small proteins introduced into cosmetic products to achieve a local rejuvenating effect through mechanisms such as reducing muscle contractions, preventing the formation of expression wrinkles, and regenerating and repairing damaged tissue cells. Peptides are widely used in the cosmetic industry due to their high safety profile, broad applicability, versatility on the skin, and the ability to be conjugated with other cosmetic ingredients. Muscle relaxant peptides (neuropeptides) have a rejuvenating Botox-like effect, softening facial features, improving skin tone, and strengthening collagen fibers, preventing the formation of new wrinkles. This study investigated the colloidal chemical properties of two peptides: acetyl hexapeptide-3 (Argireline) and the dipeptide diaminobutyroyl benzylamide diacetate (Syn-ake), and demonstrated the possibility of their inclusion in cosmetic creams. Using a scientific approach, the concentration ratios of surfactants in the mixture were selected. The effect of varying surfactant contents on the activity of the components and the formation of stable cosmetic systems was demonstrated. Peptide/surfactant synergy was studied by measuring the corresponding interfacial (surface) tension and calculating the interaction parameter at the phase boundary. It was found that with increasing peptide concentration, surface tension decreases, indicating some surface activity of these peptides, which significantly improves the stability of the cosmetic product. Formulations for a facial cream containing broad-spectrum peptides were developed. The physicochemical and organoleptic properties of the developed cream were studied. It was shown that the use of the Argireline peptide resulted in a denser cream structure, as evidenced by a more negative value for the surfactant-peptide interaction parameter.

Введение

В настоящее время при разработке косметических средств большое внимание уделяется активным компонентам, входящим в их состав, которые оказывают не только ухаживающее, но и лечебное или омолаживающее действие. Среди них выделяют витамины [1-3], АНА-кислоты [4, 5], растительные экстракты, пребиотики. Особый интерес вызывают пептиды - небольшие белки, применяемые для достижения местного эффекта улучшения состояния кожи, за счёт двух основных механизмов: уменьшения мы-

шечных сокращений, что предотвращает образование мимических морщин, а также регенерации и восстановления поврежденных клеток тканей [6, 7].

Основными свойствами пептидов, позволяющими их применять в косметике, являются высокий профиль безопасности, многофункциональность и возможность конъюгации с другими косметическими ингредиентами [8]. Более того, преимуществом пептидов является небольшой размер, что способствует их лучшему проникновению через кожу [9].

По химическому строению пептиды представляют собой аминокислотные цепочки. В настоящее время в качестве косметических ингредиентов доступно большое разнообразие пептидов, которые

можно классифицировать по механизму действия на сигнальные пептиды, пептиды-ингибиторы нейротрансмиттеров, пептиды-носители, пептиды-ингибиторы ферментов и другие [10-13].

Среди пептидов омолаживающего действия выделяют Argireline (ацетил гексапептид-8), который является альтернативой ботулотоксина. Это пептид миорелаксант и при нанесении косметического средства, содержащего этот пептид, он проникает в глубокие слои кожи, в окончания нервных терминалов, где способствует расслаблению мышц. В результате устраняются мимические морщины и предотвращается появление новых [14]. Ранее в наших работах мы показали, что этот пептид хорошо высвобождается из трансдермальных систем жидкокристаллической структуры [15, 16].

Другим эффективным пептидом омолаживающего действия является SYN-AKE (Dipeptide Diaminobutyroyl Benzylamide Diacetate) который представляет собой синтетический пептид, названный так потому, что его действие аналогично действию яду индийской храмовой гадюке. Он антагонист никотинового ацетилхолинового рецептора, который отвечает за передачу нервных импульсов и активацию ацетилхолина. Этот пептид блокирует ацетилхолин, тем самым расслабляет мышцы лица и уменьшает проявление морщин [17]. Оба этих пептида являются пептидами-миорелаксантами, они эффективны в борьбе против морщин.

Целью данной работы было исследование свойств пептидов Syn-Ake и Argireline, а также разработка косметического крема с включением их в рецептуру.

Эксперимент

В работе использовались пептиды: Syn-Ake (Dipeptide Diaminobutyroyl Benzylamide Diacetate) и Argireline (ацетил гексапептид-8) (Lipotec, Испания). В качестве поверхностно-активных веществ (ПАВ) при разработке рецептуры крема применяли кокамидопропилбетаин (Sigma Aldrich) и лецитин (Alfa Aesar).

Поверхностное натяжение пептидов и ПАВ определяли сталагмометрическим методом на сталагмометре СТ-2.

Косметический крем получали по следующей методике: в отдельном стакане смешиваются компоненты масляной фазы и нагреваются до 75–80 °С до получения однородного расплава. В другой стакан помещается расчетное количество воды, в которой растворяются компоненты водной фазы. Водную фазу нагревают до этой же температуры. Стакан с масляной фазой помещают на мешалку с подогревом и ставят на гомогенизатор. При перемешивании добавляют водную фазу. Перемешивание осуществляется в течение 15–20 минут при 1500 об/мин.

Фотографии крема получали с помощью цифрового микроскопа Bresser LCD micro 5MP.

Результаты и их обсуждение

Исследование синергизма кокамидопропилбетаина и лецитина

При разработке рецептуры косметического крема необходимо подобрать оптимальный концентрационный состав компонентов.

Поверхностно-активные вещества составляют важную часть рецептуры косметического средства, так как позволяют гомогенизировать и стабилизировать масляную и водную фазу. В настоящее время существует много научных исследований, доказывающих синергетическое действие ПАВ, проявляющееся в более эффективном действии смеси ПАВ, чем одного [18, 19]. В связи с этим, при разработке косметического средства эффективнее использовать смесь ПАВ. Кроме того, необходимо подобрать их оптимальные соотношения. В качестве ПАВ были выбраны кокамидопропилбетаин и лецитин.

Ранее в наших работах мы разработали коллоидно-химический подход к нахождению оптимальных соотношений эмульгатора в смеси в зависимости от гидрофильно-липофильного балланса ПАВ (ГЛБ) [20, 21]. ГЛБ показывает численное соотношение между гидрофильными и липофильными частями молекулы ПАВ. Каждому ПАВ соответствует определенное, чаще всего известное значение ГЛБ. В случае лецитина, это значение варьируется от способа его получения. Поэтому нами предварительно, было определено точное значение ГЛБ лецитина согласно методике [22]. В таблице 1 представлены используемые в работе соотношения эмульгаторов.

Таблица 1 – Массовая доля ПАВ (W) и их соотношение в смеси

Table 1 – Mass fraction of surfactants (W) and their ratio in the mixture

Заданное ГЛБ смеси	W ₁ (кокамидопропилбетаин)	W ₂ (Лецитин)	W ₁ :W ₂
8	0	1	0:1
9	0.13	0.87	1:6.69
10	0.25	0.75	1:3
11	0.38	0.62	1:1.63
12	0.5	0.5	1:1
13	0.63	0.37	1.7:1
14	0.75	0.25	3:1
15	0.88	0.12	7.3:1
16	1	0	1:0

Массовые доли ПАВ (W₁ и W₂) определяли путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} W_1 \cdot \text{ГЛБ}_1 + W_2 \cdot \text{ГЛБ}_2 = \text{ГЛБ} \\ W_1 + W_2 = 1 \end{cases},$$

где ГЛБ₁, ГЛБ₂ и ГЛБ – гидрофильно-липофильные балансы первого, второго ПАВ и их смеси. ГЛБ смеси задавали от 8 до 16.

Измерено межфазное натяжение кокамидопропилбетаина, лецитина и их смеси на границе вода/амарантовое масло при различных соотношениях, согласно таблице 1. Результаты представлены на рисунке 1.

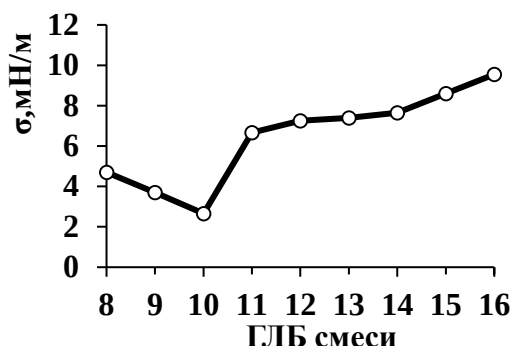


Рис. 1 – Межфазное натяжение смеси кокамидопропилбетаина и лецитина на границе вода/амарантовое масло

Fig. 1 – Interfacial tension of a mixture of cocamidopropyl betaine and lecithin at the water/amaranth oil interface

С увеличением ГЛБ смеси межфазное натяжение сначала уменьшается, а затем возрастает, образуя минимум при ГЛБ = 10. В связи с тем, что косметический крем – это эмульсионная система, для его наилучшей стабилизации нужно добиться наиболее низкого значения межфазного натяжения на границе вода-масло. Следовательно, можно предположить, что соотношение кокамидопропилбетаин: лецитин 1:3 — это оптимальное соотношение ПАВ/со-ПАВ, обеспечивающее максимальную активность и образование стабильных косметических систем.

Исследование взаимодействия ПАВ и пептидов

В настоящее время существует ряд работ, показывающих, что пептиды проявляют некоторые поверхностно-активные свойства, а именно, снижают поверхностное натяжение водных растворов при взаимодействии с ПАВ [23]. Поэтому представляло интерес исследовать взаимодействие ПАВ и пептида. Согласно Розену [24] природа и сила взаимодействия между двумя веществами, обладающими поверхностно-активными свойствами, могут быть определены, при вычислении параметров взаимодействия β , которые находятся с помощью графиков зависимостей межфазного натяжения (σ) от концентрации (C) водных растворов отдельных веществ и их смеси. Чем ниже значение β , тем взаимодействие сильнее. Расчет для определения параметра взаимодействия β^σ проводится по формуле:

$$\frac{(x_1^\sigma)^2 \ln \left(\frac{\alpha C_{12}}{x_1^\sigma C_1} \right)}{(1 - x_1^\sigma)^2 \ln \left[\frac{(1 - \alpha) C_{12}}{(1 - x_1^\sigma) C_2} \right]} = 1,$$

$$\beta^\sigma = \frac{\ln \left(\frac{\alpha C_{12}}{x_1^\sigma C_1} \right)}{(1 - x_1^\sigma)^2},$$

где σ – поверхностное натяжение, мН/м; α – мольная доля пептида в общей смеси; x_1^σ – мольная доля ПАВ в смешанной мицелле; C_1 – концентрация ПАВ,

моль/л; C_2 – концентрация пептида, моль/л; C_{12} – концентрация смеси (ПАВ+пептид), моль/л.

Для расчета параметра взаимодействия измерено поверхностное натяжение 1% раствора пептида Argireline, 1% раствора Кокамидопропилбетаина и их смеси (рисунок 2).

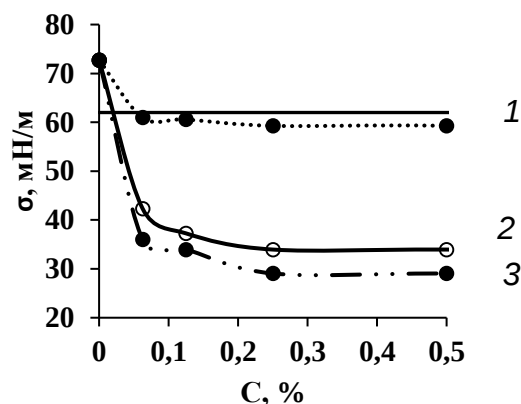


Рис. 2 – Изотермы поверхностного натяжения на границе вода/воздух: 1 – Argireline; 2 – кокамидопропилбетаина; 3 – смесь ПАВ-пептид

Fig. 2 – Surface tension isotherms at the water/air interface: 1 – Argireline; 2 – cocamidopropyl betaine; 3 – surfactant-peptide mixture

По полученным данным, можно судить о том, что при увеличении концентрации пептида поверхностное натяжение уменьшается, что может улучшать стабильность крема. Поверхностное натяжение смеси кокамидопропилбетаин – Argireline ниже, чем этих веществ в отдельности, что подтверждает наличие синергизма.

Также измерено поверхностное натяжение 1% раствора Syn-Ake, 1% раствора кокамидопропилбетаина и их смеси (рис.3)

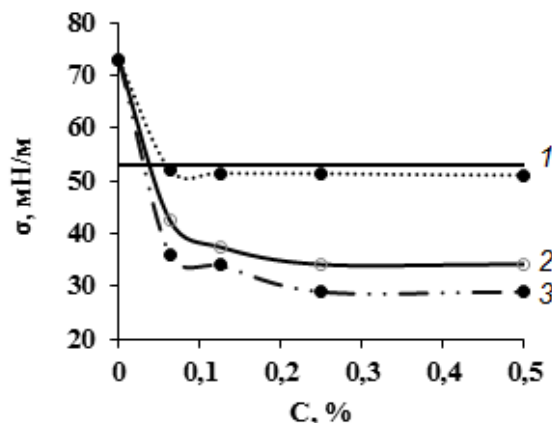


Рис. 3 – Изотермы поверхностного натяжения на границе вода/воздух: 1 – Syn-Ake; 2 – кокамидопропилбетаина; 3 – смесь ПАВ-пептид

Fig. 3 – Surface tension isotherms at the water/air interface: 1 – Syn-Ake; 2 – cocamidopropyl betaine; 3 – surfactant-peptide mixture

Для расчета параметра взаимодействия, согласно методике [24] выбирается некоторое сечение на гра-

фике зависимости поверхностного натяжения от концентрации. В данном случае для расчета было выбрано поверхностное натяжение 62 мН/м на рисунке 2 и поверхностное натяжение 53 на рисунке 3. Результаты расчета параметра взаимодействия ПАВ и пептида представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета параметров взаимодействия ПАВ и пептида

Table 2 – Results of the calculation of the interaction parameters between the surfactant and the peptide

Параметр	ПАВ и Argireline	ПАВ и Syn-Ake
σ , мН/м	62 мН/м	53
C_1 , моль/л	0.02 моль/л	0.0375
C_2 , моль/л	0.0525 моль/л	0.0575
C_{12} , моль/л	0.01625 моль/л	0.03
α	0.16	0.25
β^σ	-3.887	-2.216

Полученные значения параметра взаимодействия для смеси Argireline-кокамидопропилбетаин и для смеси Syn-Ake-кокамидопропилбетаин являются отрицательными, что указывает на наличие синергетического эффекта между компонентами смеси. Отрицательные значения параметров взаимодействия говорят о высокой степени сродства молекул компонентов смеси в смешанных мицеллах за счёт сильного электростатического притяжения между ними [25].

Комбинация ПАВ и пептида увеличивает проникновение второго в роговой слой, что увеличивает эффективность косметического препарата.

Разработка косметического крема с пептидами

В ходе данной работы были получены косметические кремы с пептидами Argireline и с Syn-Ake. Для подтверждения нашего подхода к нахождению соотношения ПАВ в смеси, была разработана рецептура при значениях ГЛБ смеси кокамидопропилбетаина и лецитина 9, 10 и 11 и проанализированы их органолептические показатели. В качестве масляной фазы использовалось масло амаранта и маракуй, активными компонентами крема являлись витамин Е, витамин С, Argireline/Syn-Ake, пантенол обладающие антиоксидантными, омолаживающими, осветляющими свойствами, улучшающие синтез коллагена и повышающие защитные способности кожи (таблица 3).

На основании полученных результатов, можно сделать вывод о том, что наиболее подходящим для крема соотношением концентрацией кокамидопропилбетаин: лецитин: является 1:3 при ГЛБ 10, так как в этом случае крем имеет однородную консистенцию, приятный внешний вид, хорошую текстуру, легко наносится на поверхность кожи, быстро впитывается и стабилен в течении длительного времени.

Таблица 3 – Рецептура крема с пептидами

Table 3 – Formula for a cream containing peptides

Компоненты	% масс при ГЛБ смеси ПАВ =10/9/11
Глицерин 99%	2
Пропиленгликоль	3
Феноксизтанол + Шаромикс	1
Лимонная кислота	0.1
Ксантановая камедь	0.2
Глицерил стеарат	4.2
Лецитин	3/3.48/2.47
Кокамидопропилбетаин	1/0.52/1.52
Цетеариловый спирт	6
Планта-М	0.1
Масло маракуй	1
Масло амарантовое	2.5
Этилгексил метоксициннамат	3.5
Бензофенон-3	2
Октокрилен	3
Изопропилмиристат	0.5
Токоферол	0.5
Витамин С	0.5
Argireline/Syn-Ake	2/4
Нейлон-12	3
Пантенол	1
Отдушка	0.6
Вода	До 100

Полученные образцы крема были проанализированы по органолептическим и физико-химическим показателям согласно ГОСТ 29188.0, раздел 3. Исследованы такие показатели как pH, массовая доля воды и летучих веществ, коллоидная и термостабильность. По всем показателям крем соответствует ГОСТ 29188.2.

Определено, что pH кремов равно 5.8. Изменение соотношения ПАВ, а также замена одного пептида на другой, не влияет на pH.

При наблюдении полученных кремов в микроскоп, их структура выглядит следующим образом (рисунок 4 и 5).

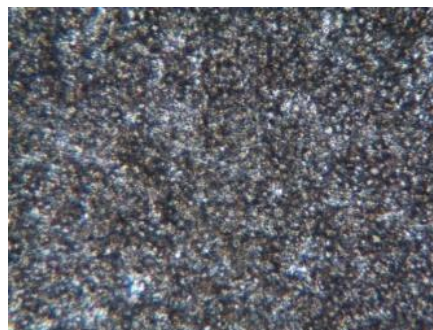


Рис. 4 – Структура крема с пептидом Argireline в проходящем свете

Fig. 4 – Structure of the cream containing the Argireline peptide, as viewed in transmitted light

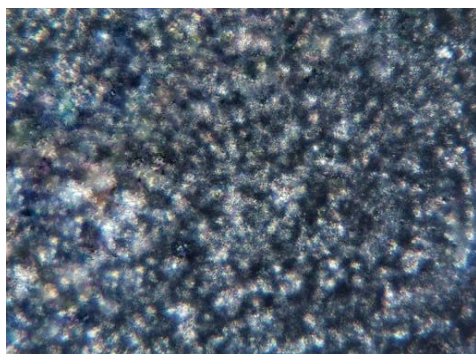


Рис. 5 – Структура крема с пептидом Syn-Ake в проходящем свете

Fig. 5 – Structure of the cream containing the Syn-Ake peptide, viewed in transmitted light

Как следует из фотографий, полученных на микроскопе, крема с обеими пептидами имеют равномерную текстуру, однако крем с пептидом Argireline имеет более плотную структуру, что подтверждается значением параметра взаимодействия, которое более отрицательное, чем в случае добавления Syn-Ake.

Выводы

Исследованы коллоидно-химические свойства пептидов омолаживающего действия Argireline и Syn-ake. Показано, что они снижают поверхностное натяжение водных растворов, а также проявляют синергетическое действие с ПАВ.

Показана применимость этих пептидов в косметических рецептурах. Рецепт косметического крема была разработана с учетом оптимальных соотношений ПАВ.

Рассчитана количественная характеристика, показывающая взаимодействие ПАВ и пептида – параметр взаимодействия. Установлено, что они взаимодействуют, причем взаимодействие пептида Argireline с кокамидопропилбетаином сильнее, чем ПАВ с пептидом Syn-ake. Это проявляется в более плотной структуре крема с первым пептидом.

Показано, что замена одного пептида другим не влияет на pH косметического средства.

Полученный крем проанализирован согласно ГОСТ. Показано, что он соответствует всем требованиям.

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025)

Литература

1. S.N.A. Papadopoulou, E.A. Anastasiou, T. Adamantidi, A. Ofrydopoulou, S. Letsiou, A. Tsoupras, *Appl. Sci.*, **15**, 2, 796-846 (2025). DOI: 10.3390/app15020796.

2. M. Akram, M.A. Hafeez, S. Sabir, I.U.D. Khan, *J. Biol. Allied Health Sci.*, **5**, 1, 88-96 (2025). DOI: 10.56536/jbabs.v5i1.95.
3. S. Assaf, O. Kelly, *Nutrients*, **17**, 1, 60-79 (2024). DOI: 10.3390/nu17010060.
4. X. Zhang, Y. Tao, S. Xie, Y. Chen, W. Li, *J. Dermatol. Sci. Cosmet. Technol.*, **3**, 1, 100-156 (2026). DOI: 10.1016/j.jdsct.2026.100156.
5. A.A. Almeman, *Clin. Cosmet. Investig. Dermatol.*, **17**, 1, 1661-1685 (2024). DOI: 10.2147/CCID.S453243.
6. Y. Tang, T. Nie, L. Zhang, X. Liu, H. Deng, *Cosmetics*, **12**, 3, 107-131 (2025). DOI: 10.3390/cosmetics12030107.
7. N. van Walraven, R.J. FitzGerald, H.-J. Danneel, M. Amigo-Benavent, *Peptides*, **193**, 1, Article 171440 (2025). DOI: 10.1016/j.peptides.2025.171440.
8. X. Gao et al., *Adv. Drug Deliv. Rev.*, **171**, 1, 5-8 (2021). DOI: 10.1016/j.addr.2021.01.001.
9. E. Veiga, L. Ferreira, M. Correia, P.C. Pires, H. Hameed, A.R.T.S. Araújo, L.C. Cefali, P.G. Mazzola, H. Hamishehkar, F. Veiga, A.C. Paiva-Santos, *J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, **89**, 1, Article 105087 (2023). DOI: 10.1016/j.jddst.2023.105087.
10. J.E. Aguilar-Toala, *Peptides*, **122**, Article 170170 (2019). DOI: 10.1016/j.peptides.2019.170146.
11. M.N. Asim, T. Asif, F. Mehmood, A. Dengel, *Comput. Biol. Med.*, **188**, 1, Article 109821 (2025). DOI: 10.1016/j.compbiomed.2025.109821.
12. A. Kearly, *J. Exp. Bot.*, **76**, 19, 5629-5633 (2025). DOI: 10.1093/jxb/erf379.
13. A.M. Waszkielewicz, K. Mirosław, *Appl. Sci.*, **14**, 24, Article 11495 (2024). DOI: 10.3390/app142411495.
14. D. Suvedi, A. Kumar, S. Kalia et al., *J. Cosmet. Dermatol.*, **24**, 7, Article e70335 (2025). DOI: 10.1111/jocd.70335.
15. Н.В. Саутина, Э.М. Мифтахова, К.В. Силахина, Ю.Г. Галяметдинов, *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*, **62**, 5, 24-30 (2019). DOI 10.6060/ivkkt.20196205.5772.
16. Н. В. Саутина, А. И. Рыбакова, А. Т. Губайдуллин, Ю. Г. Галяметдинов, *Жидкие кристаллы и их практическое использование*, **20**, 2, 91-99 (2020). DOI 10.18083/LCAppl.2020.2.91.
17. D.G. Moisă, A.M. Juncan, L.-L. Rus, A.L. Vonica-Tincu, G. Cormoș, F.G. Gligor, *Appl. Sci.*, **15**, 8, Article 4501 (2025). DOI: 10.3390/app15084501.
18. S.P. Whaval, A.K. Tiwari, *J. Dispers. Sci. Technol.*, 1-24 (2025). DOI: 10.1080/01932691.2025.2514160
19. Y. Deng, M. Tian, H. Liu, Y. An, M. Wu, H. Lu, *Separations*, **12**, 5, 112-126 (2025). DOI: 10.3390/separations12050112
20. N.V. Sautina, A.I. Rybakova, Y.G. Galyametdinov, *Polym. Sci. Ser. D*, **15**, 2, 283-288 (2022). DOI: 10.1134/S199542122202022821.
21. 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.
22. S. Mukherjee, M. Gowtham, G. Yogeswaran, S. Jangra, M.G. Basavaraj, V.K. Aswal, K. Balamurugan, N. Ayyadurai, G. Shanmugam, *Colloids Surf. B Biointerfaces*, **256**, 1, Article 115004 (2025). DOI: 10.1016/j.colsurfb.2025.115004
23. M. Nollet, H. Boulghobra, E. Calligaro, J.-D. Rodier, *Int. J. Cosmet. Sci.*, **41**, 1, 99-108 (2019). DOI: 10.1111/ics.12516
24. M. Rosen, Q. Zhou, *Langmuir*, **17**, 12, 3532-3537 (2011). DOI: 10.1021/la0013774
25. A. Shiloach, D. Blankschtein, *Langmuir*, **13**, 15, 3968-3981 (1997). DOI: 10.1021/la9610738.

References

1. S.N.A. Papadopoulou, E.A. Anastasiou, T. Adamantidi, A. Ofrydopoulou, S. Letsiou, A. Tsoupras, *Appl. Sci.*, **15**, 2, 796-846 (2025). DOI: 10.3390/app15020796.

2. M. Akram, M.A. Hafeez, S. Sabir, I.U.D. Khan, *J. Biol. Allied Health Sci.*, **5**, 1, 88-96 (2025). DOI: 10.56536/jbabs.v5i1.95.
3. S. Assaf, O. Kelly, *Nutrients*, **17**, 1, 60-79 (2024). DOI: 10.3390/nu17010060.
4. X. Zhang, Y. Tao, S. Xie, Y. Chen, W. Li, J. *Dermatol. Sci. Cosmet. Technol.*, **3**, 1, 100-156 (2026). DOI: 10.1016/j.jdsct.2026.100156.
5. A.A. Almeman, *Clin. Cosmet. Investig. Dermatol.*, **17**, 1, 1661-1685 (2024). DOI: 10.2147/CCID.S453243.
6. Y. Tang, T. Nie, L. Zhang, X. Liu, H. Deng, *Cosmetics*, **12**, 3, 107-131 (2025). DOI: 10.3390/cosmetics12030107.
7. N. van Walraven, R.J. FitzGerald, H.-J. Danneel, M. Amigo-Benavent, *Peptides*, **193**, 1, Article 171440 (2025). DOI: 10.1016/j.peptides.2025.171440.
8. X. Gao et al., *Adv. Drug Deliv. Rev.*, **171**, 1, 5-8 (2021). DOI: 10.1016/j.addr.2021.01.001.
9. E. Veiga, L. Ferreira, M. Correia, P.C. Pires, H. Hameed, A.R.T.S. Araújo, L.C. Cefali, P.G. Mazzola, H. Hamishehkar, F. Veiga, A.C. Paiva-Santos, *J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, **89**, 1, Article 105087 (2023). DOI: 10.1016/j.jddst.2023.105087.
10. J.E. Aguilar-Toala, *Peptides*, **122**, Article 170170 (2019). DOI: 10.1016/j.peptides.2019.170146.
11. M.N. Asim, T. Asif, F. Mehmood, A. Dengel, *Comput. Biol. Med.*, **188**, 1, Article 109821 (2025). DOI: 10.1016/j.compbiomed.2025.109821.
12. A. Kearly, *J. Exp. Bot.*, **76**, 19, 5629-5633 (2025). DOI: 10.1093/jxb/erf379.
13. A.M. Waszkielewicz, K. Mirosław, *Appl. Sci.*, **14**, 24, Article 11495 (2024). DOI: 10.3390/app142411495.
14. D. Suvedi, A. Kumar, S. Kalia et al., *J. Cosmet. Dermatol.*, **24**, 7, Article e70335 (2025). DOI: 10.1111/jocd.70335.
15. N.V. Sautina, E.M. Miftakhova, K.V. Silakhina, Yu.G. Galyametdinov, *Proceedings of Higher Educational Institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*, **62**, 5, 24-30 (2019). DOI 10.6060/ivkkt.20196205.5772.
16. N. V. Sautina, A. I. Rybakova, A. T. Gubaidullin, Yu. G. Galyametdinov, *Liquid Crystals and Their Practical Applications*, **20**, 2, 91-99 (2020). DOI 10.18083/LCAppl.2020.2.91.
17. D.G. Moisă, A.M. Juncan, L.-L. Rus, A.L. Vonica-Tincu, G. Cormoș, F.G. Gligor, *Appl. Sci.*, **15**, 8, Article 4501 (2025). DOI: 10.3390/app15084501.
18. S.P. Whaval, A.K. Tiwari, *J. Dispers. Sci. Technol.*, 1-24 (2025). DOI: 10.1080/01932691.2025.2514160
19. Y. Deng, M. Tian, H. Liu, Y. An, M. Wu, H. Lu, *Separations*, **12**, 5, 112-126 (2025). DOI: 10.3390/separations12050112
20. N.V. Sautina, A.I. Rybakova, Y.G. Galyametdinov, *Polym. Sci. Ser. D*, **15**, 2, 283-288 (2022). DOI: 10.1134/S19954212220202281.
21. N. V. Sautina, A. I. Rybakova, Yu. G. Galyametdinov. *All Materials: An Encyclopedic Reference Guide*, **10**, 20-27 (2021) DOI 10.31044/1994-6260-2021-0-10-20-27.
22. S. Mukherjee, M. Gowtham, G. Yogeswaran, S. Jangra, M.G. Basavaraj, V.K. Aswal, K. Balamurugan, N. Ayyadurai, G. Shanmugam, *Colloids Surf. B Biointerfaces*, **256**, 1, Article 115004 (2025). DOI: 10.1016/j.colsurfb.2025.115004
23. M. Nollet, H. Boulghobra, E. Calligaro, J.-D. Rodier, *Int. J. Cosmet. Sci.*, **41**, 1, 99-108 (2019). DOI: 10.1111/ics.12516
24. M. Rosen, Q. Zhou, *Langmuir*, **17**, 12, 3532-3537 (2011). DOI: 10.1021/la0013774
25. A. Shiloach, D. Blankschtein, *Langmuir*, **13**, 15, 3968-3981 (1997). DOI: 10.1021/la9610738.

© **Н. В. Саутина** – доцент, доцент кафедры Технологии косметических средств (ТКС), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, n.sautina@mail.ru; **Д. С. Кондулукова** – студент кафедры ТКС КНИТУ, diana.kondulukova@yandex.ru; **Ю. Г. Галяметдинов** – д-р хим. наук, профессор кафедры ФКХ, КНИТУ, г.н.с. лаборатории квантовой оптики в алмазах, Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия, yugal2002@mail.ru.

© **N. V. Sautina** – Associate Professor, Department of Cosmetic Technology (CT), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, n.sautina@mail.ru; **D. S. Kondulukova** – student in the Department of CT at KNRTU, diana.kondulukova@yandex.ru; **Yu.G. Galyametdinov** – Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Full Professor of the PCC department, KNRTU; Chief Researcher of the Laboratory of Quantum Optics in Diamonds, Zavoisky Physical-Technical Institute, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Kazan, Russia, yugal2002@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 06.05.26.

Дата принятия рукописи в печать – 01.06.26.