

УДК\_611.781+539.388.2+54.051

## СОЗДАНИЕ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ К ШАМПУНЯМ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

М.В. Жуков<sup>a,b</sup>, Е.А. Ампилогова<sup>c</sup>, А.В. Волкова<sup>d</sup>, М.А. Марченко<sup>d</sup>, Д.М. Ишмуратов<sup>d</sup>,  
А.Е. Коровайцева<sup>e</sup>

*Статья публикуется в порядке дискуссии*

<sup>a</sup> Институт аналитического приборостроения РАН (ИАП РАН), Санкт-Петербург, 190103, Российская Федерация

<sup>b</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

<sup>c</sup> МБОУ СОШ №3, Кумертау, 453301, Российская Федерация

<sup>d</sup> Лицей-интернат для одаренных детей с углубленным изучением химии – филиал ФГБОУ ВО «КНИТУ», Казань, 422526, Российская Федерация

<sup>e</sup> МАОУ «Лицей №6», Бердск, 633010, Российская Федерация

Адрес для переписки: cloudjyk@yandex.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию 06.03.18, принята к печати 12.04.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-407-415

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Жуков М.В., Ампилогова Е.А., Волкова А.В., Марченко М.А., Ишмуратов Д.М., Коровайцева А.Е. Создание активной добавки к шампуням на основе наночастиц различной природы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 407–415. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-407-415

### Аннотация

**Предмет исследования.** Разработаны добавки к шампуням на основе наночастиц различной природы с микро- и наноразмерным пространственным разрешением. Исследовано воздействие разработанных нанодобавок на структуру поверхности волосных волокон. Изучено влияние добавок комплексов наночастиц различной природы для шампуней и влияние добавки на структуру кутикулы волоса методами оптической и атомно-силовой микроскопии.

**Методы.** В работе использовались методы химического выделения веществ, метод центрифугирования, метод лазерной абляции, методы оптической и атомно-силовой микроскопии. **Основные результаты.** Исследованы структуры волос различных типов: нормальный, жирный, сухой, а также волос животного с использованием оптического и атомно-силового микроскопа. Подготовлены коллоидные растворы металлов и их соединений: Ag, Au, Cu, Fe, Zn, Si, S, MoO<sub>3</sub>. Созданы два типа добавок к шампуням: для жирных/нормальных волос и для сухих волос. Показана эффективность применения активной добавки к шампуням на основе комплексов наночастиц различной природы. **Практическая значимость.** Разработка шампуней с добавлением комплексов наночастиц различной природы позволит повысить эффективность действия традиционных типов шампуней, в частности, восстановление и поддержание нормальной структуры волоса.

### Ключевые слова

волос, кутикулы, шампунь, наночастицы, зонд, атомно-силовая микроскопия, оптическая микроскопия

### Благодарности

Исследования выполнены в рамках проектной смены в образовательном центре «Сириус» по направлению «Микромир и микроскопия». Научный руководитель направления – д.ф.м.н., А.О. Голубок, руководитель проекта – М.В. Жуков. Авторы выражают благодарность образовательному центру «Сириус», Университету ИТМО за помощь в подготовке коллоидных растворов наночастиц и за предоставленное оборудование. Авторы выражают особую благодарность А.О. Голубку, М.С. Мухину, И.С. Мухину и Е.Ю. Тигунцевой за помощь в проекте.

## FABRICATION OF ACTIVE ADDITIVE TO SHampoos BASED ON DIFFERENT NATURE NANOPARTICLES

M.V. Zhukov<sup>a,b</sup>, E.A. Ampilogova<sup>c</sup>, A.V. Volkova<sup>d</sup>, M.A. Marchenko<sup>d</sup>, D.M. Ishmuratov<sup>d</sup>, A.E. Korovaytseva<sup>e</sup>

*The paper is published in the form of discussion*

<sup>a</sup> Institute for Analytical Instrumentation RAS (IAI RAS), Saint Petersburg, 190103, Russian Federation

<sup>b</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

<sup>c</sup> School No. 3, Kumertau, 453301, Russian Federation

<sup>d</sup> Liceum for gifted children with with in-depth study of Chemistry - Branch of Kazan National Research Technological University, Kazan, 422526, Russian Federation

<sup>e</sup> Municipal Autonomous Educational Institution "Liceum No. 6", Berdsk, 633010, Russian Federation

Corresponding author: cloudjyk@yandex.ru

**Article info**

Received 06.03.18, accepted 12.04.18  
doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-407-415  
Article in Russian

**For citation:** Zhukov M.V., Ampilogova E.A., Volkova A.V., Marchenko M.A., Ishmuratov D.M., Korovaytseva A.E. Fabrication of active additive to shampoos based on different nature nanoparticles. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 407–415 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-407-415

**Abstract**

**Subject of Research.** We developed additives to shampoos based on different nature nanoparticles with micro- and nanoscale spatial resolution. The effect of the obtained nano-additives on the surface structure of hair fibers were studied. The aim of this work was to fabricate additive complexes of nanoparticles with various nature for shampoos and study of their effect on the hair cuticle structure by optical and atomic-force microscopy. **Methods.** The methods of chemical separation of elements, centrifugation, laser ablation, optical and atomic-force microscopy were used in the work. **Main Results.** The various types of hair structures were studied, such as normal, greasy, dry and animal hair, using optical and atomic-force microscopes. Colloidal solutions of metals and their compounds were prepared (Ag, Au, Cu, Fe, Zn, Si, S, MoO<sub>3</sub>). Two types of additives for shampoos were fabricated: for greasy/normal and dry hair. The effectiveness of fabricated shampoo additives with complexes of different nature nanoparticles was shown. **Practical Relevance.** The development of new shampoos with the complexes of nanoparticles will increase the effectiveness of traditional types of shampoos, in particular, the recovery and maintenance of normal hair structure.

**Keywords**

hair, cuticle, shampoo, nanoparticles, probe, atomic-force microscopy, optical microscopy

**Acknowledgements**

The studies were carried out based on the educational project at the "Sirius" Educational Center in the course of "Microworld and Microscopy". The research manager of the course was A.O. Golubok, D.Sc., the project research head – M.V. Zhukov. The authors are grateful to the "Sirius" Educational Center, ITMO University for assistance in the preparation of colloidal nanoparticle solutions and for the equipment provided. The authors express special gratitude to M.S. Mukhin, I.S. Mukhin, A.O. Golubok and E.Yu. Tiguntseva for the assistance in the project.

**Введение**

До сих пор механизмы роста, деградации и выпадения волос остаются не до конца изученными. Несоблюдение правил ухода за волосами, а также генетическая предрасположенность могут привести к таким недугам, как сухость, ломкость, появление перхоти и выпадение волос [1]. Чтобы избежать данных проблем, следует использовать средства для ухода за волосами, наиболее популярными из которых являются шампуни [2]. В настоящее время наблюдается тенденция создания новых типов шампуней с уникальными свойствами при использовании специальных добавок, в частности, наночастиц различной природы. Например, в работе [3] говорится о применении наночастиц на основе цинка, которые позволяют нормализовать работу сальных желез, в работах [4, 5] – о применимости золота и серебра в качестве антибактерицидных агентов, а в [6] описана возможность восстановления структуры кутикулы волоса при использовании серациновых катионных наночастиц, а также возможность окраски волоса наночастицами [6–8].

В мире существует несколько компаний, которые создают косметические средства на основе наночастиц металлов: Nanopharm [9], Satico [10], Afsun [11] и т.п. Однако до сих пор влияние наночастиц на структуру волоса и кожные покровы до конца не изучено. Остается целый набор веществ, которые до сих пор не используются, но потенциально могут применяться в составе шампуней для улучшения структуры и физико-химических свойств волос [12–14]. При этом использование наночастиц может также сопровождаться доставкой лекарственных средств к фолликулам волоса [15–17].

Следует отметить, что одним из актуальных методов диагностики структур волоса наряду с традиционными методами оптической микроскопии [18, 19] является атомно-силовая микроскопия, позволяющая измерять профиль стержня волоса, силы адгезии и шероховатость поверхности с наноразмерной точностью [20, 21]. Известны работы по изучению различных типов волос [22], влиянию различных видов воздействия (химического, механического) на структуру волоса [23, 24], изучение устойчивости стержня волоса при продольном растяжении [25], измерение распределения зарядов на поверхности волоса [26], изучение процессов старения волос [27] с применением методов атомно-силовой диагностики.

Целью настоящей работы являлась разработка активной добавки комплексов наночастиц различной природы для шампуней, а также исследование влияния добавки на кутикулы стержня волоса методами оптической и атомно-силовой микроскопии.

**Методы и оборудование**

При исследовании волос использовались оптический микроскоп ММР-3 (Биомед, Россия) и сканирующий зондовый микроскоп NanoTutor (НТ-СПб, Россия). В атомно-силовой микроскопии использовались W-зонды, полученные на установке по щелочному травлению заготовок в капле раствора NaOH (НТ-СПб, Россия). В качестве образцов использовались жирные, сухие, нормальные волосы, а также волосы животного. Образцы фиксировались на гладкой подложке с помощью адгезива для проведения исследований. В качестве шампуня был выбран наиболее распространенный отечественный шампунь мар-

ки «Чистая линия» (Россия) для нормальных волос без добавок. Для выделения частиц использовались два метода: лазерная абляция (для выделения Ag, Au, Cu, Fe, Zn, Si) и химическая реакция (для выделения S и MoO<sub>3</sub>).

### Состав и структура волоса

По составу волосы состоят на 78% из белка альфа-кератина, обогащенного микроэлементами и витаминами, на 15% из воды, на 6% из липидов [28]. По структуре волосы состоят из двух частей – стержня и луковицы. Стержень – наружная часть волоса, которая включает в себя кутикулу, корковое вещество (кортекс) и мозговое вещество (медулу) (рис. 1). Кутикула образована полигональными ороговевшими клетками, которые перекрывают друг друга как черепица, при этом их свободный край обращен кверху. Кутикулы защищают кортекс от действия внешней среды, при этом излишне раскрытые кутикулы приводят к сухости волос, а сильно прижатые служат признаком жирных волос [29].

Таким образом, по форме и расположению кутикул можно выделить три типа волос: жирные, сухие и нормальные. У жирных волос кутикулы слипаются, а у сухих – отшелушиваются. Таким образом, был сделан вывод, что наночастицы должны проникать под кутикулы каждого слоя.

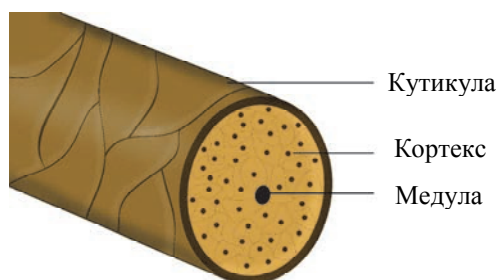


Рис. 1. Строение стержня волоса

### Экспериментальные данные

Исследованы жирный, сухой и нормальный типы волос человека, а также волосы животного (*Felis silvestris catus*) методами оптической (рис. 2) и атомно-силовой микроскопии (рис. 4–5, а), так как в волосе содержатся микроэлементы, которые необходимы для поддержания его нормального состояния. Использование добавок данных микроэлементов наночастиц в шампунях позволит поддерживать нормальное состояние волоса.

Следует уточнить, что не все вещества могут быть использованы в создании шампуня, многие из них в больших количествах могут быть токсичны для организма (Ti, Al, Pb и др.). Таким образом, важно учитывать и суточную норму веществ в организме, поэтому ниже проведен расчет концентрации веществ в процентном соотношении к объему шампуня, учитывающий допустимое количество веществ в организме человека.

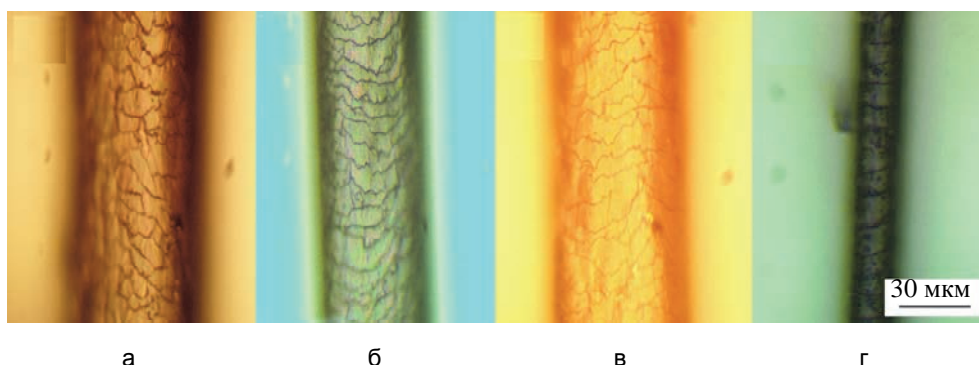


Рис. 2. Оптическое изображение волос: жирный тип (а); нормальный тип (б); сухой тип (в); волос животного (г)

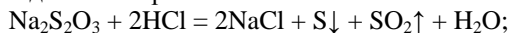
Коллоидные растворы кремния, цинка, серебра, железа, меди и золота были получены методом лазерной абляции в жидкости. Лазерная абляция в жидкости позволяет получать наночастицы практически любых материалов высокой чистоты, так как отсутствует контакт с реакционной средой и посторонними химическими реагентами [30]. В процессе абляции мишень с чистотой металлов не ниже 99,5% помещалась в колбу с дистиллированной водой, после чего происходило облучение мишени высокоэнергетичным пучком лазера. В результате локального нагрева образца высокоэнергетичным излучением происходило формирование наночастиц с размерами в пределах около 100–200 нм. Стоит уточнить, что частицы

малых размеров (менее 50–100 нм) могут проникать через ткани организма, поэтому дальнейшее понижение размера наночастиц нежелательно [31].

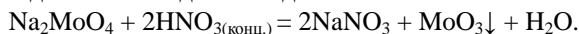
Процессы формирования наночастиц Ag и Au могут сопровождаться антибактериальностью [32], тем не менее, действие этих частиц на волос одинаково (бактерицидные свойства), поэтому они могут быть взаимозаменяемыми (таблица).

Сера и оксид молибдена (VI) были получены с помощью химических реакций:

– для выделения серы:



– для выделения оксида молибдена:



Для определения необходимого объема раствора наночастиц было выведено выражение (1):

$$V_n = x \frac{N}{d} \cdot \frac{\pi D}{d} \cdot \frac{\pi d^2}{6} \cdot \frac{V_{Sh}}{V_0}, \quad (1)$$

где  $V_n$  – объем добавки из наночастиц;  $x$  – количество волос;  $N$  – средняя длина волоса;  $D$  – средний диаметр волоса;  $d$  – диаметр наночастиц;  $V_{Sh}$  – объем шампуня;  $V_0$  – объем шампуня на одно применение (рис. 3).

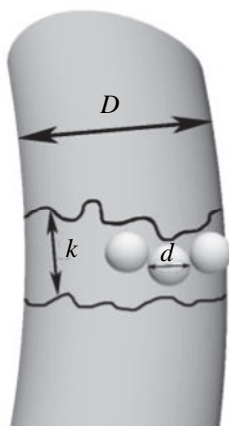


Рис. 3. Приближенная модель наночастиц и кутикулы волоса, используемая при расчетах, где  $D$  – средний диаметр волоса,  $d$  – диаметр наночастиц,  $k$  – среднее расстояние между кутикулами волоса

Следует отметить, что результат вычислений по (1) не зависит от длины волос, так как

$$N \sim V_0. \quad (2)$$

Таким образом, чем длиннее волосы, тем больший объем шампуня используется на одно применение. Из (2) следует, что достаточно провести вычисления для волос средней длины:  $x=110000$ ,  $N=0,5$  м,  $D=10^{-4}$  м,  $d=150 \cdot 10^{-9}$  м,  $V_0=10$  мл.

Предположим, что наночастица попадает в свободную область с вероятностью 0,5, тогда в формулу (1) необходимо добавить вероятностный коэффициент 2. Но наночастица не находится в состоянии покоя, а совершает флуктуации, тем самым область, выделяемая на одну наночастицу, составляет  $2d$ , что добавляет в формулу коэффициент 0,5. Коэффициент отношения объема наночастиц к объему шампуня равен

$$\alpha_0 = \frac{V_n}{V_{Sh}} = 2 \frac{xN\pi^2 Dd}{2 \cdot 6V_0}. \quad (3)$$

Подставляя численные значения в (3) получим  $\alpha_0=0,14$ . Объемная концентрация наночастиц в коллоидном растворе около 30%. Таким образом, отношение объема коллоидного раствора наночастиц ( $V_{cn}$ , *cn* – colloidal nanoparticles) к объему шампуня равно

$$\alpha = \frac{V_{cn}}{V_{Sh}} = 0,47.$$

Различные наночастицы в добавке соотносятся как суточные потребности данных элементов организмом человека. Были получены процентные соотношения различных наночастиц в добавке (таблица). На основе приведенных расчетов были созданы две добавки к шампуням на основе комплекса наночастиц:

- для сухих волос (Au, Ag, Cu, Fe, MoO<sub>3</sub>, S, Si);
- для жирных/нормальных волос (Au, Ag, Cu, Fe, MoO<sub>3</sub>, S, Si, Zn).

Проведено измерение кутикул волоса при их обработке шампунем с применением и без применения наночастиц, проведено их сравнение между собой и с волосом до обработки. Результаты измерений на оптическом микроскопе показаны на рис. 4–5, на сканирующем зондовом микроскопе – на рис. 6–7.

Нано-частицы	Для жирных и нормальных волос, % в добавке	Для сухих волос, % в добавке	Предполагаемое действие наночастиц на волос
Au	0,1	0,1	Обладают бактерицидными свойствами; против грибковых, инфекционных заболеваний
Ag	0,4	0,3	
Cu	2	2	Участвует в выработке меланина
Fe	4	5	Усиливает кровоток к луковице волоса
MoO <sub>3</sub>	0,5	0,6	Требуется для тканевого дыхания и развития клеток, усиливает выработку биологических антиокислителей
S	77	79	Входит в состав кератина, белка волос
Si	12	13	Способствует увеличению роста волос
Zn	4	–	Нормализует работу сальных желез

Таблица. Процентные соотношения и действие различных наночастиц в добавке

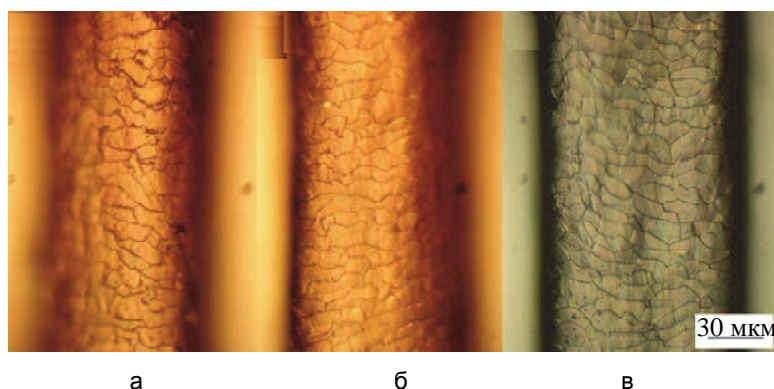


Рис. 4. Оптические измерения: жирный волос (а); жирный волос, обработанный шампунем (б); жирный волос, обработанный шампунем с нанодобавкой (в)

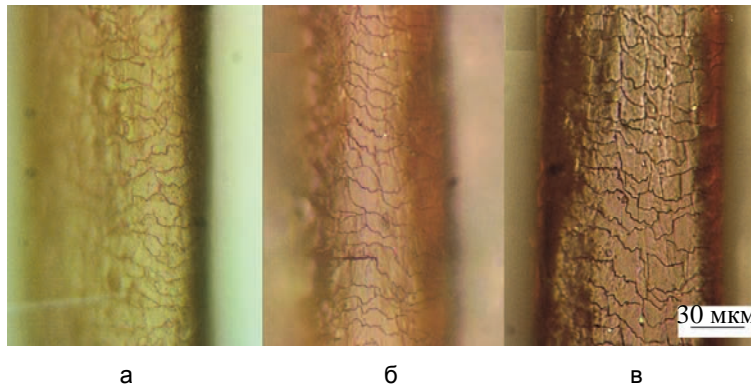


Рис. 5. Оптические измерения: сухой волос (а); сухой волос, обработанный шампунем (б); сухой волос, обработанный шампунем с нанодобавкой (в)

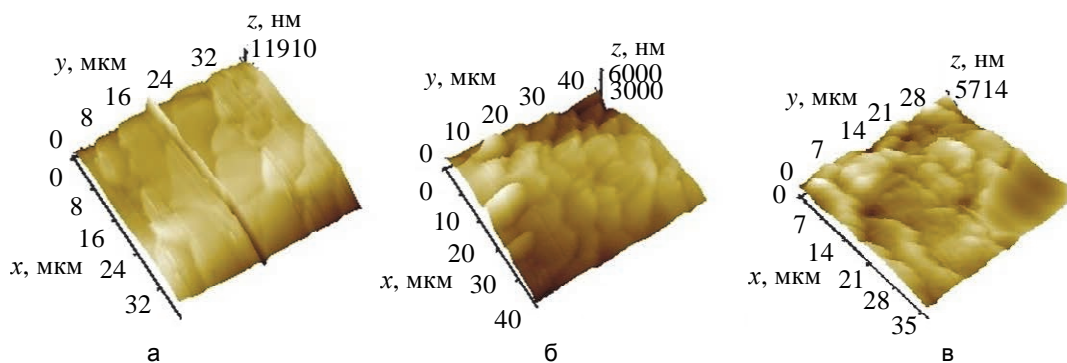


Рис. 6. Изображения, полученные методом атомно-силовой микроскопии: жирный волос (а); жирный волос, обработанный шампунем (б); жирный волос, обработанный шампунем с нанодобавкой (в)



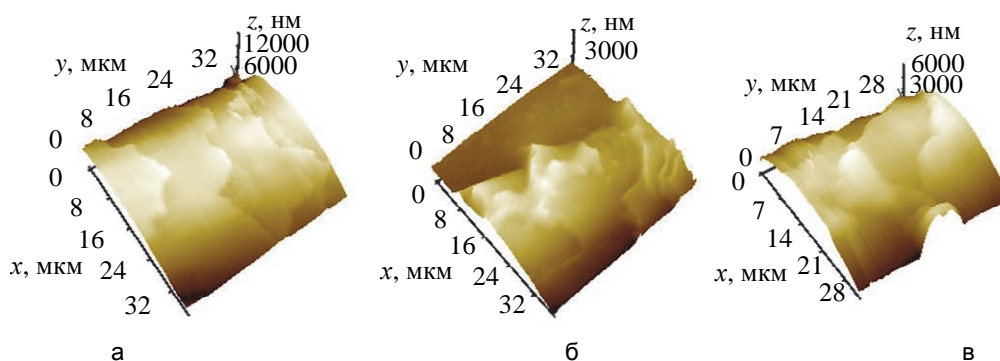


Рис. 7. Изображения, полученные методом атомно-силовой микроскопии: сухой волос (а); сухой волос, обработанный шампунем (б); сухой волос, обработанный шампунем с нанодобавкой (в)

### Обсуждение результатов

Обнаружено, что у жирных волос кутикулы расположены близко друг к другу и слипаются (рис. 4, рис. 6), тогда как у сухих волос кутикулы расположены далеко друг от друга и отшелушиваются (рис. 5, рис. 7), но благодаря использованию добавки с наночастицами различной природы их структура приближается к нормальной.

На основе полученных данных выявлено повышение эффективности действия шампуней при добавлении в них комплексов наночастиц различной природы. В частности, по результатам оптической микроскопии обнаружено, что после добавления наноконплекса для обработки жирных волос расстояние между кутикулами увеличивается, что приводит к возвращению волоса в нормальное состояние.

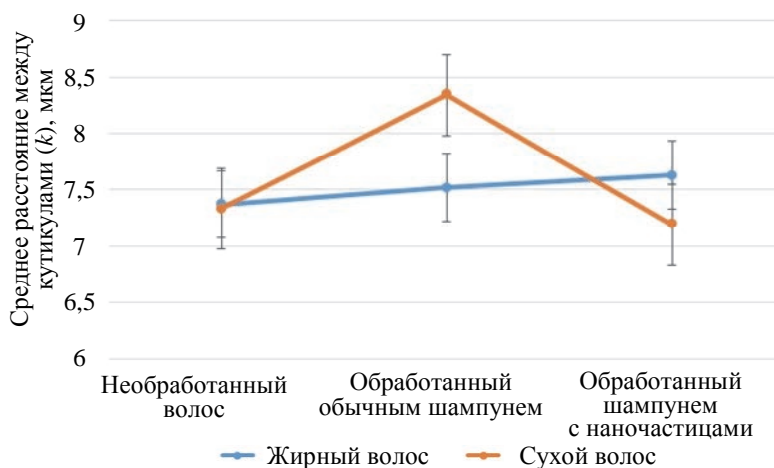


Рис. 8. Среднее расстояние между кутикулами ( $k$ ) по результатам оптической микроскопии для жирного и сухого волоса при различных условиях обработки

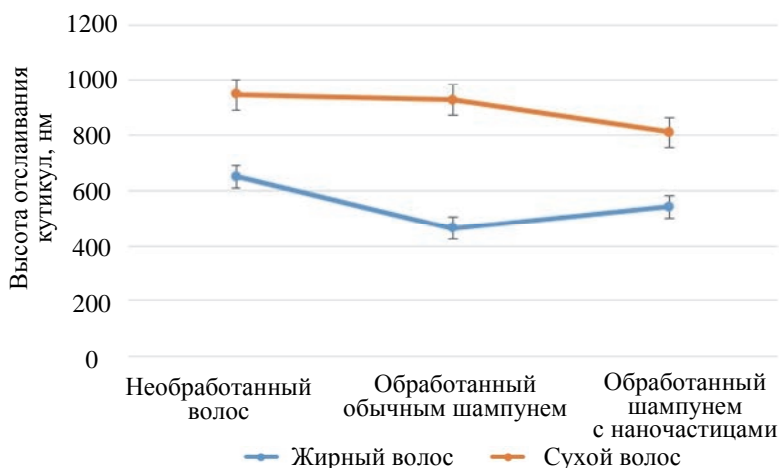


Рис. 9. Распределение высоты отслаивания кутикул по результатам атомно-силовой микроскопии для жирного и сухого волоса при различных условиях обработки

Так, необработанный волос имел среднее расстояние между кутикулами ( $k$ ) около  $7,37 \pm 0,3$  мкм, обработанный обычным шампунем – около  $7,52 \pm 0,3$  мкм, а обработанный шампунем с наночастицами – около  $7,63 \pm 0,3$  мкм (рис. 8). При этом высота отслаивания кутикул по результатам атомно-силовой микроскопии составила для необработанного волоса около  $650,43 \pm 40$  нм, для обработанного обычным шампунем около  $464,77 \pm 40$  нм, а для обработанного шампунем с наночастицами около  $542,58 \pm 40$  нм (рис. 9). Следует отметить, что для возвращения жирного волоса в нормальное состояние кутикулы должны быть немного отклонены.

Для сухих волос наблюдался обратный эффект. После добавления наноконцентра в шампунь расстояние между кутикулами уменьшилось. Необработанный волос имел среднее расстояние между кутикулами около  $7,33 \pm 0,3$  мкм, обработанный обычным шампунем – около  $8,34 \pm 0,3$  мкм, а обработанный шампунем с наночастицами – около  $7,19 \pm 0,3$  мкм (рис. 8). При этом высота отслаивания кутикул по результатам атомно-силовой микроскопии составила для необработанного волоса около  $946,33 \pm 50$  нм, для обработанного обычным шампунем около  $927,34 \pm 50$  нм, а для обработанного шампунем с наночастицами около  $810 \pm 50$  нм (рис. 9).

Таким образом, в обоих случаях кутикулы волоса приходят в нормальное среднее положение. Стоит уточнить, что в данной работе проводилось *in vitro* исследования на отделенном от головы стержне волоса, для исследования влияния шампуня на луковицу волоса и нативный стержень волоса в условиях, приближенных к реальным, необходимы дальнейшие клинические исследования разработанной композиции.

### Заключение

На основе проведенного исследования выявлено, что после применения шампуня с наночастицами состояние жирных и сухих волос нормализуется. Были выделены необходимые коллоидные растворы наночастиц и произведен расчет их концентрации на фиксированный объем шампуня. Были созданы две формы активной добавки на основе наночастиц для жирных/нормальных и сухих волос. Показана эффективность действия шампуней при добавлении в них комплексов наночастиц различной природы. Результаты были подтверждены данными, полученными с помощью оптического и атомно-силового микроскопа.

### Литература

1. Гвоздева И.Н. Болезни волос // Русский медицинский журнал. 1999. № 14. С. 658–662.
2. Dias M.F.R.G. Hair cosmetics: an overview // *International Journal of Trichology*. 2015. V. 7. N 1. P. 2–15. doi: 10.4103/0974-7753.153450
3. Каюмов С.Ф. Цинк и медь – союз антагонистов в трихологии? // Вестник трихологии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.trichology.pro/articles/vracham-spetsialistam/tsink-v-trikhologii.php>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 12.03.2018).
4. Мосин О.В. Физиологическое воздействие наночастиц серебра на организм человека // Nano News Net [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/fiziologicheskoe-vozdeistvie-nanochastits-serebra-na-organizm-cheloveka>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 12.03.2018).
5. Мосин О.В. Физиологическое воздействие наночастиц золота на организм человека // Nano News Net [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/fiziologicheskoe-vozdeistvie-nanochastits-zolota-na-organizm-cheloveka>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 12.03.2018).
6. Rosen J., Landriscina A., Friedman A.J. Nanotechnology-based cosmetics for hair care // *Cosmetics*. 2015. V. 2. N 3. P. 211–224. doi: 10.3390/cosmetics2030211
7. Lee H.-Y., Jeong Y.-I., Kim D.-H., Choi K.-C. Permanent hair dye-incorporated hyaluronic acid nanoparticles // *Journal of Microencapsulation*. 2013. V. 30. N 2. P. 189–197. doi: 10.3109/02652048.2012.714412
8. Sampaio S., Maia F., Gomes J.R. Diffusion of coloured silica nanoparticles into human hair // *Coloration Technology*. 2011. V. 127. N 1. P. 55–61. doi: 10.1111/j.1478-4408.2010.00278.x
9. Nano Pharm [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nano-pharm.ru/>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 12.03.2018).
10. Satico [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.satico.ru/>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 23.04.2018).

### References

1. Gvozdeva I.N. Diseases of the hair. *Russkii Meditsinskii Zhurnal*, 1999, no. 14, pp. 658–662. (in Russian)
2. Dias M.F.R.G. Hair cosmetics: an overview. *International Journal of Trichology*, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 2–15. doi: 10.4103/0974-7753.153450
3. Kayumov S.F. Tsink i med' – soyuz antagonistov v trikhologii? *Vestnik Trikhologii*. Available at: <http://www.trichology.pro/articles/vracham-spetsialistam/tsink-v-trikhologii.php> (accessed 12.03.2018).
4. Mosin O.V. Fiziologicheskoe vozdeistvie nanochastits serebra na organizm cheloveka. *Nano News Net*. Available at: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/fiziologicheskoe-vozdeistvie-nanochastits-serebra-na-organizm-cheloveka> (accessed 12.03.2018).
5. Mosin O.V. Fiziologicheskoe vozdeistvie nanochastits zolota na organizm cheloveka. *Nano News Net*. Available at: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/fiziologicheskoe-vozdeistvie-nanochastits-zolota-na-organizm-cheloveka> (accessed 12.03.2018).
6. Rosen J., Landriscina A., Friedman A.J. Nanotechnology-based cosmetics for hair care. *Cosmetics*, 2015, vol. 2, no. 3, pp. 211–224. doi: 10.3390/cosmetics2030211
7. Lee H.-Y., Jeong Y.-I., Kim D.-H., Choi K.-C. Permanent hair dye-incorporated hyaluronic acid nanoparticles. *Journal of Microencapsulation*, 2013, vol. 30, no. 2, pp. 189–197. doi: 10.3109/02652048.2012.714412
8. Sampaio S., Maia F., Gomes J.R. Diffusion of coloured silica nanoparticles into human hair. *Coloration Technology*, 2011, vol. 127, no. 1, pp. 55–61. doi: 10.1111/j.1478-4408.2010.00278.x
9. *Nano Pharm*. Available at: <http://nano-pharm.ru/> (accessed 12.03.2018).
10. *Satiko*. Available at: <http://www.satico.ru/> (accessed 23.04.2018).
11. *Beauty Box*. Available at: <http://www.beautybox.uz/product/nano-shampun-s-tsinkom-i-mineralami-myortvogo-morya-afsun/> (accessed 12.03.2018).
12. Antonio J.R., Antonio C.R., Cardeal I.L.S., Ballavenuto

11. Beauty Вох [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.beautybox.uz/product/nano-shampun-s-tsinkom-i-mineralami-moyortvogo-mooya-afsun/>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 12.03.2018).
12. Antonio J.R., Antonio C.R., Cardeal I.L.S., Ballavenuto J.M.A., Oliveira J.R. Nanotechnology in dermatology // *Anais Brasileiros de Dermatologia*. 2014. V. 89. N 1. P. 126–136. doi: 10.1590/abd1806-4841.20142228
13. Lohani A., Verma A., Joshi H., Yadav N., Karki N. Nanotechnology-based cosmeceuticals // *ISRN Dermatol*. 2014. P. 1–14. doi: 10.1155/2014/843687
14. Fang C.L., Aljuffali I.A., Li Y.C., Fang J.Y. Delivery and targeting of nanoparticles into hair follicles // *Therapeutic Delivery*. 2014. V. 5. N 9. P. 991–1006. doi: 10.4155/TDE.14.61
15. Patzelt A., Lademann J. Drug delivery to hair follicles // *Expert Opinion on Drug Delivery*. 2013. V. 10. N 6. P. 787–797. doi: 10.1517/17425247.2013.776038
16. Huang Y., Yu F., Park Y.-S., Wang J., Shin M.C., Chung H.S., Yang V.C. Co-administration of protein drugs with gold nanoparticles to enable percutaneous delivery // *Biomaterials*. 2010. V. 31. N 34. P. 9086–9091. doi: 10.1016/j.biomaterials.2010.08.046
17. Labouta H.I., Schneider M. Interaction of inorganic nanoparticles with the skin barrier: Current status and critical review // *Nanomedicine*. 2013. V. 9. N 1. P. 39–54. doi: 10.1016/j.nano.2012.04.004
18. Альшулер Г.Б., Ильясов И.К., Приходько К.В. Оптические свойства волос // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. № 6. С. 30–35.
19. Hayashi S., Miyamoto I., Takeda K. Measurement of human hair growth by optical microscopy and image analysis // *British Journal of Dermatology*. 1991. V. 125. N 2. P. 123–129. doi: 10.1111/j.1365-2133.1991.tb06058.x
20. Bhushan B., Chen N. AFM studies of environmental effects on nanomechanical properties and cellular structure of human hair // *Ultramicroscopy*. 2006. V. 106. N 8-9. P. 755–764. doi: 10.1016/j.ultramic.2005.12.010
21. Clifford C.A., Sano N., Doyle P., Seah M.P. Nanomechanical measurements of hair as an example of micro-fibre analysis using atomic-force microscopy nanoindentation // *Ultramicroscopy*. 2012. V. 114. P. 38–45. doi: 10.1016/j.ultramic.2012.01.006
22. LaTorre C., Bhushan B. Nanotribological characterization of human hair and skin using atomic force microscopy // *Ultramicroscopy*. 2005. V. 105. N 1-4. P. 155–175. doi: 10.1016/j.ultramic.2005.06.032
23. Seshadri I.P., Bhushan B. In situ tensile deformation characterization of human hair with atomic force microscopy // *Acta Materialia*. 2008. V. 56. N 4. P. 774–781. doi: 10.1016/j.actamat.2007.10.033
24. LaTorre C., Bhushan B. Investigation of scale effects and directionality dependence on friction and adhesion of human hair using AFM and macroscale friction test apparatus // *Ultramicroscopy*. 2006. V. 106. N 8-9. P. 720–734. doi: 10.1016/j.ultramic.2005.11.010
25. Bhushan B., Wei G., Haddad P. Friction and wear studies of human hair and skin // *Wear*. 2005. V. 259. P. 1012–1021. doi: 10.1016/j.wear.2004.12.026
26. Seshadri I.P., Bhushan B. Effect of rubbing load on nanoscale charging characteristics of human hair characterized by AFM based Kelvin probe // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008. V. 325. N 2. P. 580–587. doi: 10.1016/j.jcis.2008.06.015
27. Jelen K., Skrontova M., Simkova L., Zeman J., Tlapakova E., Fanta O. Changes in the mechanical parameters of hair in a group of women in reproductive age // *Neuroendocrinology Letters*. 2014. V. 35. N 6. P. 481–489.
28. Live Journal Fashion Hair [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fashion-hair.livejournal.com/10752.html>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 12.03.2018).
29. Малова И.Ю., Рубайлов Ю.В. Волосы: анатомия, физиология, патофизиология. Майкоп: МГТУ, 2015. 28 с.
30. Смагулов А.А., Лапин И.Н. Установка для синтеза наночастиц методом лазерной абляции // IX международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». Томск, 2012. С. 24–27.
31. Nel A., Xia T., Madler L., Li N. Toxic potential of materials at the nanolevel // *Science*. 2006. V. 311. N 5761. P. 622–627. doi: 10.1126/science.1114397
32. Kononova E.A. *Poluchenie, Kristabil'nost', Adsorbtsionnye i* J.M.A., Oliveira J.R. Nanotechnology in dermatology. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 2014, vol. 89, no. 1, pp. 126–136. doi: 10.1590/abd1806-4841.20142228
13. Lohani A., Verma A., Joshi H., Yadav N., Karki N. Nanotechnology-based cosmeceuticals. *ISRN Dermatol*, 2014, pp. 1–14. doi: 10.1155/2014/843687
14. Fang C.L., Aljuffali I.A., Li Y.C., Fang J.Y. Delivery and targeting of nanoparticles into hair follicles. *Therapeutic Delivery*, 2014, vol. 5, no. 9, pp. 991–1006. doi: 10.4155/TDE.14.61
15. Patzelt A., Lademann J. Drug delivery to hair follicles. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 2013, vol. 10, no. 6, pp. 787–797. doi: 10.1517/17425247.2013.776038
16. Huang Y., Yu F., Park Y.-S., Wang J., Shin M.C., Chung H.S., Yang V.C. Co-administration of protein drugs with gold nanoparticles to enable percutaneous delivery. *Biomaterials*, 2010, vol. 31, no. 34, pp. 9086–9091. doi: 10.1016/j.biomaterials.2010.08.046
17. Labouta H.I., Schneider M. Interaction of inorganic nanoparticles with the skin barrier: Current status and critical review. *Nanomedicine*, 2013, vol. 9, no. 1, pp. 39–54. doi: 10.1016/j.nano.2012.04.004
18. Altshuler G.B., Ilyasovand K., Prikhodko C.V. Optical properties of human hair. *Technical Physics Letters*, 1995, vol. 21, p. 216.
19. Hayashi S., Miyamoto I., Takeda K. Measurement of human hair growth by optical microscopy and image analysis. *British Journal of Dermatology*, 1991, vol. 125, no. 2, pp. 123–129. doi: 10.1111/j.1365-2133.1991.tb06058.x
20. Bhushan B., Chen N. AFM studies of environmental effects on nanomechanical properties and cellular structure of human hair. *Ultramicroscopy*, 2006, vol. 106, no. 8-9, pp. 755–764. doi: 10.1016/j.ultramic.2005.12.010
21. Clifford C.A., Sano N., Doyle P., Seah M.P. Nanomechanical measurements of hair as an example of micro-fibre analysis using atomic-force microscopy nanoindentation. *Ultramicroscopy*, 2012, vol. 114, pp. 38–45. doi: 10.1016/j.ultramic.2012.01.006
22. LaTorre C., Bhushan B. Nanotribological characterization of human hair and skin using atomic force microscopy. *Ultramicroscopy*, 2005, vol. 105, no. 1-4, pp. 155–175. doi: 10.1016/j.ultramic.2005.06.032
23. Seshadri I.P., Bhushan B. In situ tensile deformation characterization of human hair with atomic force microscopy. *Acta Materialia*, 2008, vol. 56, no. 4, pp. 774–781. doi: 10.1016/j.actamat.2007.10.033
24. LaTorre C., Bhushan B. Investigation of scale effects and directionality dependence on friction and adhesion of human hair using AFM and macroscale friction test apparatus. *Ultramicroscopy*, 2006, vol. 106, no. 8-9, pp. 720–734. doi: 10.1016/j.ultramic.2005.11.010
25. Bhushan B., Wei G., Haddad P. Friction and wear studies of human hair and skin. *Wear*, 2005, vol. 259, pp. 1012–1021. doi: 10.1016/j.wear.2004.12.026
26. Seshadri I.P., Bhushan B. Effect of rubbing load on nanoscale charging characteristics of human hair characterized by AFM based Kelvin probe. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2008, vol. 325, no. 2, pp. 580–587. doi: 10.1016/j.jcis.2008.06.015
27. Jelen K., Skrontova M., Simkova L., Zeman J., Tlapakova E., Fanta O. Changes in the mechanical parameters of hair in a group of women in reproductive age. *Neuroendocrinology Letters*, 2014, vol. 35, no. 6, pp. 481–489.
28. *Live Journal Fashion Hair*. Available at: <http://fashion-hair.livejournal.com/10752.html> (accessed 12.03.2018).
29. Malova I.Yu., Rubailov Yu.V. *Hair: Anatomy, Physiology, Pathophysiology*. Maikop, MG TU Publ., 2015, 28 p. (in Russian)
30. Smagulov A.A., Lapin I.N. Construction for the synthesis of nanoparticles by laser ablation. *9<sup>th</sup> Int. Conf. Students and Young Scientists on Development Prospects of Fundamental Sciences*. Tomsk, 2012, pp. 24–27. (in Russian)
31. Nel A., Xia T., Madler L., Li N. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*, 2006, vol. 311, no. 5761, pp. 622–627. doi: 10.1126/science.1114397
32. Kononova E.A. *Poluchenie, Kristabil'nost', Adsorbtsionnye i*



10.1126/science.1114397  
32. Кононова Е.А. Получение, криостабильность, адсорбционные и бактерицидные свойства наночастиц Ag, Au, AgAu зольей и на носителях: автореф. ... канд. хим. наук. М.: РУДН, 2010. 22 с.

*Bakteritsidnye Svoystva Nanochastits Ag, Au, AgAu Zolei i na Nositelyakh.* PhD Chem. Sci. Thesis. Moscow, RUDN Publ., 2010, 22 p. (in Russian)

### Авторы

**Жуков Михаил Валерьевич** – младший научный сотрудник, Институт аналитического приборостроения РАН (ИАП РАН), Санкт-Петербург, 190103, Российская Федерация; инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0003-3361-6947, cloudjyk@yandex.ru

**Ампилогова Елена Александровна** – ученик, МБОУ СОШ №3, Кумертау, 453301, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0001-7528-216X, Aly27a@gmail.com

**Волкова Анжелика Владиславовна** – ученик, Лицей-интернат для одаренных детей с углубленным изучением химии - филиал ФГБОУ ВО «КНИТУ», Казань, 422526, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0003-0515-5549, zx1anjel@gmail.com

**Марченко Максим Александрович** – ученик, Лицей-интернат для одаренных детей с углубленным изучением химии - филиал ФГБОУ ВО «КНИТУ», Казань, 422526, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-9729-3393, astreb2002@gmail.com

**Ишмуратов Данил Маратович** – ученик, Лицей-интернат для одаренных детей с углубленным изучением химии - филиал ФГБОУ ВО «КНИТУ», Казань, 422526, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0001-7930-9315, Ish\_dan1@mail.ru

**Коровайцева Анастасия Евгеньевна** – ученик, МАОУ «Лицей №6», Бердек, 633010, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-2473-8259, nastya.krv@mail.ru

### Authors

**Mikhail V. Zhukov** – junior scientific researcher, Institute for Analytical Instrumentation RAS (IAI RAS), Saint Petersburg, 190103, Russian Federation; engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0003-3361-6947, cloudjyk@yandex.ru

**Elena A. Ampilogova** – pupil, School No. 3, Kumertau, 453301, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0001-7528-216X, Aly27a@gmail.com

**Anzhelika V. Volkova** –pupil, Liceum for gifted children with in-depth study of Chemistry - Branch of Kazan National Research Technological University, Kazan, 422526, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0003-0515-5549, zx1anjel@gmail.com

**Maxim A. Marchenko** – pupil, Liceum for gifted children with in-depth study of Chemistry - Branch of Kazan National Research Technological University, Kazan, 422526, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-9729-3393, astreb2002@gmail.com

**Danil M. Ishmuratov** – pupil, Liceum for gifted children with in-depth study of Chemistry - Branch of Kazan National Research Technological University, Kazan, 422526, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0001-7930-9315, Ish\_dan1@mail.ru

**Anastasiya E. Korovaytseva** – pupil, Municipal Autonomous Educational Institution "Liceum No. 6", Berdsk, 633010, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-2473-8259, nastya.krv@mail.ru