

А.В. Блинов¹З.А. Рехман¹ ✉А.А. Блинова¹М.А. Пирогов¹Е.Д. Назаретова¹М.Б. Ребезов^{2, 3}¹Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ zafrehman1027@gmail.com

Поступила в редакцию: 01.06.2025

Одобрена после рецензирования: 09.06.2025

Принята к публикации: 24.06.2025

© Блинов А.В., Рехман З.А., Блинова А.А., Пирогов М.А., Назаретова Е.Д., Ребезов М.Б.

Andrey V. Blinov¹Zafar A. Rekhman¹ ✉Anastasia A. Blinova¹Maxim A. Pirogov¹Ekaterina D. Nazaretova¹Maxim B. Rebezov^{2, 3}¹North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia²V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia³Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ zafrehman1027@gmail.com

Received by the editorial office: 01.06.2025

Accepted in revised: 09.06.2025

Accepted for publication: 24.06.2025

© Blinov A.V., Rekhman Z.A., Blinova A.A., Pirogov M.A., Nazaretova E.D., Rebezov M.B.

Исследование влияния типа стабилизатора наночастиц селена на физико-химические параметры молока

РЕЗЮМЕ

Цель данной работы — исследование влияния добавления наноразмерного селена до и после пастеризации молока на его физико-химические показатели. Синтез наночастиц проводили методом химического восстановления в водной среде с использованием аскорбиновой кислоты, стабилизаторами наночастиц селена выступали такие вещества, как желатин, гидроксизетилцеллюлоза (марка В30К), бычий сывороточный альбумин (БСА), хитозан, метилцеллюлоза (марка М-100), Твин-80 и Kolliphor HS 15. Обогащение продукта проводили из расчета 30% от суточной дозы эссенциального микроэлемента селена на 1 л молока. У образцов молока были измерены физико-химические показатели: активная кислотность среды, электропроводность, поверхностное натяжение, средний гидродинамический радиус и титруемая кислотность среды. Анализ полученных данных показал, что в основном все исследованные показатели незначительно отличались от характеристик контрольного образца. Активная кислотность среды молока при добавлении наночастиц до и после пастеризации находилась в слабокислом диапазоне. Электропроводность изменялась не более чем на 4%. Изменение поверхностного натяжения было незначительное вне зависимости от очередности добавления наноразмерного селена. Наибольшие изменения наблюдаются при измерении среднего гидродинамического радиуса образцов молока. Агрегативно устойчивыми оказались образцы молока, которое обогащали селеносодержащими наноразмерными системами, стабилизированными желатином, МЦ и Kolliphor HS 15. Таким образом, добавление наночастиц селена в молоко может способствовать улучшению показателей молока, не влияя на его физико-химические параметры. Стоит отметить, что такие микроэлементы, как селен, участвуют в поддержании иммунной защиты организма, а значит, обладают повышенной антиоксидантной активностью, что и планируется исследовать в дальнейших экспериментах.

Ключевые слова: пастеризация, наночастицы селена, молоко, физико-химические показатели, стабилизаторы

Для цитирования: Блинов А.В., Рехман З.А., Блинова А.А., Пирогов М.А., Назаретова Е.Д., Ребезов М.Б. Исследование влияния типа стабилизатора наночастиц селена на физико-химические параметры молока. *Аграрная наука*. 2025; 396 (07): 172–177.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-172-177>

Study of the influence of the type of selenium nanoparticle stabilizer on the physicochemical parameters of milk

ABSTRACT

The purpose of this work is to study the effect of adding nanoscale selenium before and after pasteurization of milk on its physico-chemical parameters.

Nanoparticles were synthesized by chemical reduction in an aqueous medium using ascorbic acid; such substances as gelatin, hydroxyethyl cellulose (grade B30K), bovine serum albumin (BSA), chitosan, methylcellulose (grade M-100), Tween-80 and Kolliphor HS 15 served as stabilizers for selenium nanoparticles. The product was enriched at the rate of 30% of the daily dose of the essential microelement selenium per 1 liter of milk. The following physicochemical parameters were measured for milk samples: active acidity of the medium, electrical conductivity, surface tension, average hydrodynamic radius and titratable acidity of the medium. Analysis of the obtained data showed that, in general, all the studied parameters differed slightly from the characteristics of the control sample. The active acidity of the milk medium with the addition of nanoparticles before and after pasteurization was in the slightly acidic range. Electrical conductivity changed by no more than 4%. The change in surface tension was insignificant regardless of the order of adding nanosized selenium. The greatest changes were observed when measuring the average hydrodynamic radius of milk samples. Milk samples enriched with selenium-containing nanosized systems stabilized by gelatin, MC and Kolliphor HS 15 turned out to be aggregation-stable. Thus, the addition of selenium nanoparticles to milk can improve milk parameters without affecting its physicochemical parameters. It is worth noting that trace elements such as selenium are involved in maintaining the body's immune defenses, which means they have increased antioxidant activity, which is planned to be investigated in further experiments.

Key words: pasteurization, selenium nanoparticles, milk, physico-chemical parameters, stabilizers

For citation: Blinov A.V., Rekhman Z.A., Blinova A.A., Pirogov M.A., Nazaretova E.D., Rebezov M.B. Study of the influence of the type of selenium nanoparticle stabilizer on the physicochemical parameters of milk. *Agrarian science*. 2025; 396 (07): 172–177 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-172-177>

Введение/Introduction

В настоящее время наблюдается повышенный интерес ученых к наноразмерным материалам ввиду их уникальных свойств [1–5]. Благодаря этим особенностям наноматериалов они находят применение в различных областях науки и техники [6–10].

Селен — эссенциальный микроэлемент, имеющий фундаментальное значение для здоровья человека [11–15]. Он необходим для правильного функционирования иммунной системы, является катализатором для производства активного гормона щитовидной железы, предотвращает рост и развитие раковых клеток, а также является ингибитором свободных радикалов, активируя защитные механизмы глутатионпероксидазы [16–18]. Кроме того, селен защищает клетки от токсического воздействия следующих элементов: ртути, кадмия, свинца, мышьяка, таллия, теллура, ванадия [19, 20].

На основании результатов многих исследований известно, что селен в наноразмерном состоянии обладает низкой токсичностью и большей биодоступностью по сравнению с его неорганическими и органическими формами, что связано с размером [21–23]. Высокодисперсный Se характеризуется высокой противоопухолевой и биологической активностью, что позволяет применять его в пищевой промышленности, медицине и парфюмерно-косметической промышленности [24, 25].

Недостаток селена (менее 40 мкг/сут) и избыток (более 400 мкг/сут) вредны для организма [26]. Так, дефицит селена приводит к различным сердечно-сосудистым заболеваниям, болезни Кешана, а также к снижению иммунитета [27].

Основным источником селена для человека является пища. В настоящее время недостаток селена восполняют, принимая БАДы, а также употребляя в пищу продукты питания, обогащенные селеном [28, 29].

Одним из эффективных способов восполнения дефицита селена является обогащение продуктов питания, в частности молока и молочных продуктов — распространенных продуктов питания животного происхождения.

Наночастицы селена повышают антиоксидантную активность молока, что является важным аспектом для человека [30].

Таким образом, добавление наночастиц селена в молоко является перспективным направлением пищевой промышленности.

Цель данной работы — исследование влияния типа стабилизатора наночастиц селена на физико-химические параметры молока.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Синтез и исследование образцов наночастиц селена проводили на базе департамента функциональных материалов и инженерного

конструирования ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» в январе 2025 года.

Синтез наночастиц селена проводили методом химического восстановления в водной среде. В качестве селенсодержащего прекурсора использовали селенистую кислоту (H_2SeO_3).

Стабилизаторами выступали следующие вещества: белки — желатин и бычий сывороточный альбумин, полисахариды — гидроксипропилцеллюлоза В30К (ГЭЦ), хитозан, метилцеллюлоза М-100 (МЦ), неионогенные поверхностно-активные вещества — Твин-80, *Kolliphor HS 15*.

Эксперимент проводили в соответствии с матрицей планирования, приведенной в таблице 1.

Далее разбавляли растворы наночастиц селена в 1000 раз дистиллированной водой и проводили обогащение образцов молока в соответствии с суточной нормой потребления селена (1,3 мл на 1 л молока, что соответствует 30 % от суточной дозы микроэлемента селена).

В первую серию образцов молока добавляли наночастицы селена до пастеризации, во вторую серию — после пастеризации.

Пастеризацию образцов коровьего молока, обогащенного наночастицами селена, проводили при 78 °С в течение 2 минут. Обогащение проводили из расчета 21 мкг на 1 л молока (данное значение соответствует 30% от суточной нормы селена).

В рамках эксперимента использовали цельное коровье молоко с жирностью 3,2%, которое не подвергалось пастеризации.

Исследовали следующие физико-химические параметры:

- активная кислотность среды (потенциометрическим методом на приборе *OHAUS ST300-B, OHAUS Corporation, США*),
- электропроводность (кондуктометрическим методом на приборе «Эксперт-001», Эконикс-Эксперт, РФ),
- поверхностное натяжение (сталагмометрическим методом)¹,
- средний гидродинамический радиус (методом динамического рассеяния света на приборе *BeNano 180 Zeta Pro, Bettersize Instruments LTD, КНР*).

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента
Table 1. Experiment planning matrix

Наименование	m(H_2SeO_3), г	m(стабилизатора), г	m($C_6H_8O_6$), г
Желатин	0,456	0,08	5,592
Гидроксипропилцеллюлоза	0,456	0,15	0,0874
Бычий сывороточный альбумин	0,456	0,08	0,0874
Хитозан	0,057	0,496	5,592
Метилцеллюлоза	0,057	0,398	0,0874
Твин-80	0,456	0,721	0,0874
Kolliphor HS 15	0,456	0,526	0,0874

¹ <https://xumuk.ru/colloidchem/23.html>

• титруемая кислотность среды (титриметрическим методом с использованием 0,1N раствора NaOH)².

Сырье и реактивы, применяемые в данном исследовании, поставлялись в университет с документами, удостоверяющими показателями качества и безопасности.

Все измерения проводились в 3-кратной повторности^{3, 4, 5}.

Статистически обработаны. Представлены средние результаты исследований.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе был исследован контрольный образец для дальнейшего сравнения. Результаты исследований физико-химических свойств контрольного образца представлены в таблице 2.

Результаты исследований физико-химических свойств образцов молока, обогащенного наноразмерным селеном до и после пастеризации, представлены в таблице 3.

На основании результатов (табл. 3) можно сделать вывод о том, что изменения физико-химических свойств по сравнению с контрольным образцом были незначительными. Активная кислотность среды образцов молока, обогащенного наночастицами селена до пастеризации по сравнению с контрольным образцом, изменилась на 2,69% (при стабилизации желатином), при стабилизации ГЭЦ — на 0,30%, альбумином — на 1,03%, хитозаном — на 3,37%, МЦ — на 1,03%, Kolliphor HS 15 — на 1,76%, Твин-80 — на 4,25%. Аналогичный характер изменения pH наблюдается в образцах молока, обогащенного наночастицами селена после пастеризации.

Таблица 2. Результаты физико-химических свойств контрольного образца

Table 2. Results of physical and chemical properties of the control sample

Образец	pH	Электропроводность, мВ	Поверхностное натяжение, Н/м	Средний гидродинамический радиус, нм	Титруемая кислотность среды, °Т
Контроль	6,83	5,04	0,092	27	19

Электропроводность полученных образцов обогащенного молока изменялась не более чем на 4% вне зависимости от очередности внесения наночастиц селена.

Поверхностное натяжение у образцов молока, обогащенного наночастицами селена после пастеризации, уменьшалось при использовании в качестве стабилизаторов желатина и Kolliphor HS 15. В образцах, стабилизированных ГЭЦ, альбумином, хитозаном, МЦ, Kolliphor HS 15, Твин-80, поверхностное натяжение, напротив, увеличивалось относительно контрольного. При добавлении наноселена после пастеризации поверхностное натяжение увеличилось в образцах, стабилизированных желатином, бычьим сывороточным альбумином, МЦ и Твин-80, в остальных образцах наблюдалось уменьшение.

Значительное влияние очередности добавления наночастиц селена в молоко оказывает на изменение среднего гидродинамического радиуса дисперсной фазы молока. Так, наибольшее отклонение от контрольного образца наблюдается при

Таблица 3. Результаты физико-химических свойств образцов молока с селеном до и после пастеризации

Table 3. Results of physico-chemical properties of milk samples with selenium before and after pasteurization

Стабилизатор	Стадия измерения	pH	Электропроводность, мВ	Поверхностное натяжение, Н/м	Средний гидродинамический радиус, нм	Титруемая кислотность среды, °Т
Желатин	до пастеризации	6,68	5,05	0,094	34	20
	после пастеризации	6,78	4,79	0,089	21	22
Гидроксиэтилцеллюлоза	до пастеризации	6,81	4,94	0,090	64	18
	после пастеризации	6,83	4,95	0,096	33	20
Бычий сывороточный альбумин	до пастеризации	6,76	4,79	0,093	34	21
	после пастеризации	6,75	4,89	0,100	44	23
Хитозан	до пастеризации	6,60	5,00	0,092	20	21
	после пастеризации	6,78	4,95	0,093	81	19
Метилцеллюлоза	до пастеризации	6,75	5,08	0,097	24	22
	после пастеризации	6,63	5,17	0,098	30	20
Kolliphor HS 15	до пастеризации	6,71	4,84	0,089	19	15
	после пастеризации	6,66	5,01	0,091	33	18
Твин-80	до пастеризации	6,54	5,10	0,097	187	21
	после пастеризации	6,67	4,96	0,098	52	19

² ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности.

³ ГОСТ Р ИСО 22514-1-2015 Статистические методы. Управление процессами. Часть 2. Оценка пригодности и воспроизводимости процесса на основе модели его изменения во времени.

⁴ ГОСТ Р ИСО 22514-4-2021. Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процесса.

⁵ ГОСТ Р ИСО 22514-7-2014 Статистические методы. Управление процессами. Часть 7. Воспроизводимость процессов измерений.

введении наноселена, стабилизированного ГЭЦ, до пастеризации, хитозаном — после пастеризации, Твин-80 — до пастеризации.

Наиболее агрегативно устойчивыми оказались образцы молока, обогащенного наноразмерным селеном, стабилизированным желатином, МЦ и Kolliphor HS 15.

Титруемая кислотность среды образцов молока с добавлением наночастиц селена с различными стабилизаторами до и после стабилизации изменялась незначительно. Показатели находятся в сопоставимом диапазоне².

Выводы/Conclusions

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод: добавление наночастиц селена в молоко является перспективным направлением, ввиду того что наноразмерный селен не оказывает значительного влияния на физико-химические показатели молока. Так, наблюдаются незначительные изменения титруемой кислотности, электропроводности, поверхностного натяжения и активной кислотности среды вне зависимости от очередности

добавления наноразмерной селенсодержащей добавки.

Наибольшее влияние очередность добавления наноселена в молоко оказывает на средний гидродинамический радиус мицелл казеина в дисперсной фазе молока.

Ввиду того что селен является антиоксидантным микроэлементом, оказывающим влияние на систему, которая балансирует уровень активных форм кислорода в организме, планируется исследование антиоксидантных свойств разработанных продуктов. Таким образом, наноразмерный селен, введенный в молоко с различными стабилизаторами, не оказывает значительного влияния на его основные физико-химические показатели. Наибольшую агрегативную устойчивость демонстрируют системы с желатином, метилцеллюлозой (МЦ) и Kolliphor HS 15, что делает их перспективными для применения в производстве обогащенных молочных продуктов. При этом Твин-80 и ГЭЦ могут вызывать существенное увеличение размера частиц, что требует дополнительного изучения их стабилизирующих механизмов.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00120.
<https://rscf.ru/en/project/23-16-00120/>

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00120.
<https://rscf.ru/en/project/23-16-00120/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bisht N., Phalswal P., Khanna P.K. *Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. Materials Advances.* 2022; 3(3): 1415–1431.
<https://doi.org/10.1039/D1MA00639H>
2. Ferro C., Florindo H.F., Santos H.A. Selenium nanoparticles for biomedical applications: from development and characterization to therapeutics. *Advanced healthcare materials.* 2021; 10: 16: 2100598.
<http://dx.doi.org/10.1002/adhm.202100598>
3. Garza-García J.J. *et al.* The role of selenium nanoparticles in agriculture and food technology. *Biological trace element research.* 2022; 1–21.
<https://doi.org/10.1007/s12011-021-02847-3>
4. Gudkov S.V. *et al.* Laser Ablation-Generated Crystalline Selenium Nanoparticles Prevent Damage of DNA and Proteins Induced by Reactive Oxygen Species and Protect Mice against Injuries Caused by Radiation-Induced Oxidative Stress. *Materials.* 2023; 16: 5164.
<https://doi.org/10.3390/ma16145164>
5. Astashev M.E. *et al.* Antibacterial behavior of organosilicon composite with Nano Aluminum oxide without influencing animal cells. *Reactive and Functional Polymers.* 2022; 170: 105143.
<https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2021.105143>
6. Geoffrion L.D. *et al.* Naked selenium nanoparticles for antibacterial and anticancer treatments. *ACS omega.* 2020; 5(6): 2660–2669.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03172>
7. Nayak V. *et al.* Potentialities of selenium nanoparticles in biomedical science. *New Journal of Chemistry.* 2021; 45(6): 2849–2878.
<https://doi.org/10.1039/D0NJ05884J>
8. Geoffrion L.D. *et al.* Naked selenium nanoparticles for antibacterial and anticancer treatments. *ACS omega.* 2020; 5(6): 2660–2669.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03172>

REFERENCES

1. Bisht N., Phalswal P., Khanna P.K. *Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. Materials Advances.* 2022; 3(3): 1415–1431.
<https://doi.org/10.1039/D1MA00639H>
2. Ferro C., Florindo H.F., Santos H.A. Selenium nanoparticles for biomedical applications: from development and characterization to therapeutics. *Advanced healthcare materials.* 2021; 10: 16: 2100598.
<http://dx.doi.org/10.1002/adhm.202100598>
3. Garza-García J.J. *et al.* The role of selenium nanoparticles in agriculture and food technology. *Biological trace element research.* 2022; 1–21.
<https://doi.org/10.1007/s12011-021-02847-3>
4. Gudkov S.V. *et al.* Laser Ablation-Generated Crystalline Selenium Nanoparticles Prevent Damage of DNA and Proteins Induced by Reactive Oxygen Species and Protect Mice against Injuries Caused by Radiation-Induced Oxidative Stress. *Materials.* 2023; 16: 5164.
<https://doi.org/10.3390/ma16145164>
5. Astashev M.E. *et al.* Antibacterial behavior of organosilicon composite with Nano Aluminum oxide without influencing animal cells. *Reactive and Functional Polymers.* 2022; 170: 105143.
<https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2021.105143>
6. Geoffrion L.D. *et al.* Naked selenium nanoparticles for antibacterial and anticancer treatments. *ACS omega.* 2020; 5(6): 2660–2669.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03172>
7. Nayak V. *et al.* Potentialities of selenium nanoparticles in biomedical science. *New Journal of Chemistry.* 2021; 45(6): 2849–2878.
<https://doi.org/10.1039/D0NJ05884J>
8. Geoffrion L.D. *et al.* Naked selenium nanoparticles for antibacterial and anticancer treatments. *ACS omega.* 2020; 5(6): 2660–2669.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03172>

9. Burmistrov D.E. *et al.* Bacteriostatic and cytotoxic properties of composite material based on zno nanoparticles in plga obtained by low temperature method. *Polymers*. 2022; 14(1): 49. <https://doi.org/10.3390/polym14010049>
10. Chausov D.N. *et al.* Synthesis of a novel, biocompatible and bacteriostatic borosiloxane composition with silver oxide nanoparticles. *Materials*. 2022; 15(2): 527. <https://doi.org/10.3390/ma15020527>
11. Xia X. *et al.* Toward improved human health: efficacy of dietary Selenium on immunity at the cellular level. *Food and Function*. 2021; 12(3): 976–989. <https://doi.org/10.1039/d0fo03067h>
12. Fairweather-Tait S.J., Collings R., Hurst R. Selenium bioavailability: current knowledge and future research requirements. *Am J Clin Nutr*. 2010; 91(5): 1484S–1491S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.28674J>
13. Roman M., Jitaru P., Barbante C. Selenium biochemistry and its role for human health. *Metallomics*. 2014; 6(1): 25–54. <https://doi.org/10.1039/c3mt00185g>
14. Gać P. *et al.* The importance of selenium and zinc deficiency in cardiovascular disorders. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2020; 82: 103553. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103553>
15. Mehdi Y., Hornick J.L., Istasse L., Dufresne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*. 2013; 18(3): 3292–3311. <https://doi.org/10.3390/molecules18033292>
16. Bisht N., Phalswal P., Khanna P.K. *Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. Materials Advances*. 2022; 3(3): 1415–1431. <https://doi.org/10.1039/D1MA00639H>
17. Wang S. *et al.* Selenium nanoparticles alleviate ischemia reperfusion injury-induced acute kidney injury by modulating GPx-1/NLRP3/Caspase-1 pathway. *Theranostics*. 2022; 12(8): 3882. <https://doi.org/10.7150/thno.70830>
18. Varlamova E.G., Turovsky E.A., Blinova E.V. Therapeutic potential and main methods of obtaining selenium nanoparticles. *International journal of molecular sciences*. 2021; 22(19): 10808. <https://doi.org/10.3390/ijms221910808>
19. Dawood M.A. *et al.* Selenium nanoparticles as a natural antioxidant and metabolic regulator in aquaculture: a review. *Antioxidants*. 2021; 10(9): 1364. <https://doi.org/10.3390/antiox10091364>
20. Блинов А.В. и др. Оптимизация методики получения наночастиц селена, стабилизированных кокамидпропилбетаином. *Российский химический журнал*. 2022; 66(1): 86–92.
21. Блинов А.В. и др. Синтез и характеристика наночастиц селена, стабилизированных дидецилдиметиламмония хлоридом. *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2024; 67(4): 46–52.
22. Духновский Е.А. Применение наночастиц селена в онкологии (обзор). *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2023; 12(2): 34–43.
23. Шурыгина И.А., Шурыгин М.Г. Наноконпозиты селена — перспективы применения в онкологии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2020; 27(1): 81–86.
24. Литвяк В.В., Копытцов А.А., Ананских В.В. Нанотехнологии в пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*. 2020; 12: 14–19.
25. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant activity of milk and dairy products. *Animals*. 2022; 12(3): 245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245>
26. Пономарева Е.А., Русецкая Н.Ю. Влияние дефицита и избытка селена на организм человека. *Young people and science: results and perspectives*. 2023; 165.
27. Йованович Л., Ермаков В. Значение селена и цинка в предупреждении и лечении некоторых заболеваний (обзор). *Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction*. 2020; 1: 71–83.
28. Саркисян М.С., Гревцова С.А. Биотехнология производства сметанного продукта, обогащенного селеном. *Научные труды студентов Горского государственного аграрного университета «Студенческая наука — агропромышленному комплексу»*. 2020; 297–294.
29. Блинов А.В. и др. Наночастицы селена, стабилизированные хитозаном, для обогащения молочной продукции. *Аграрная наука*. 2024; 1(9): 130–135. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-130-135>
30. Блинов А.В. и др. Разработка принципов обогащения молока наноразмерными формами эссенциального микроэлемента селена. *Индустрия питания*. 2024; 9(2): 77–84.
9. Burmistrov D.E. *et al.* Bacteriostatic and cytotoxic properties of composite material based on zno nanoparticles in plga obtained by low temperature method. *Polymers*. 2022; 14(1): 49. <https://doi.org/10.3390/polym14010049>
10. Chausov D.N. *et al.* Synthesis of a novel, biocompatible and bacteriostatic borosiloxane composition with silver oxide nanoparticles. *Materials*. 2022; 15(2): 527. <https://doi.org/10.3390/ma15020527>
11. Xia X. *et al.* Toward improved human health: efficacy of dietary Selenium on immunity at the cellular level. *Food and Function*. 2021; 12(3): 976–989. <https://doi.org/10.1039/d0fo03067h>
12. Fairweather-Tait S.J., Collings R., Hurst R. Selenium bioavailability: current knowledge and future research requirements. *Am J Clin Nutr*. 2010; 91(5): 1484S–1491S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.28674J>
13. Roman M., Jitaru P., Barbante C. Selenium biochemistry and its role for human health. *Metallomics*. 2014; 6(1): 25–54. <https://doi.org/10.1039/c3mt00185g>
14. Gać P. *et al.* The importance of selenium and zinc deficiency in cardiovascular disorders. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2020; 82: 103553. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103553>
15. Mehdi Y., Hornick J.L., Istasse L., Dufresne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*. 2013; 18(3): 3292–3311. <https://doi.org/10.3390/molecules18033292>
16. Bisht N., Phalswal P., Khanna P.K. *Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. Materials Advances*. 2022; 3(3): 1415–1431. <https://doi.org/10.1039/D1MA00639H>
17. Wang S. *et al.* Selenium nanoparticles alleviate ischemia reperfusion injury-induced acute kidney injury by modulating GPx-1/NLRP3/Caspase-1 pathway. *Theranostics*. 2022; 12(8): 3882. <https://doi.org/10.7150/thno.70830>
18. Varlamova E.G., Turovsky E.A., Blinova E.V. Therapeutic potential and main methods of obtaining selenium nanoparticles. *International journal of molecular sciences*. 2021; 22(19): 10808. <https://doi.org/10.3390/ijms221910808>
19. Dawood M.A. *et al.* Selenium nanoparticles as a natural antioxidant and metabolic regulator in aquaculture: a review. *Antioxidants*. 2021; 10(9): 1364. <https://doi.org/10.3390/antiox10091364>
20. Blinov A.V. *et al.* Optimization of the technique for obtaining selenium nanoparticles stabilized with cocamidopropyl betaine. *Russian Chemical Journal*. 2022; 66(1): 86–92 (in Russian).
21. Blinov A.V. *et al.* Synthesis and characterization of selenium nanoparticles stabilized with didecyltrimethylammonium chloride. *News of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*. 2024; 67(4): 46–52 (in Russian).
22. Dukhnovsky E. A. Application of selenium nanoparticles in oncology (review). *Development and registration of medicines*. 2023; 12(2): 34–43 (in Russian).
23. Shurygina I.A., Shurygin M.G. Selenium nanocomposites — prospects of application in oncology. *Bulletin of new Medical Technologies*. 2020; 27(1): 81–86 (in Russian).
24. Litvyak V.V., Kopytsov A.A., Ananskikh V.V. Nanotechnology in the food industry. *Food industry*. 2020; 12: 14–19 (in Russian).
25. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant activity of milk and dairy products. *Animals*. 2022; 12(3): 245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245>
26. Ponomareva E.A., Rusetskaya N.Yu. The effect of selenium deficiency and excess on the human body. *Young people and science: results and perspectives*. 2023; 165 (in Russian).
27. Jovanovich L., Ermakov V. The importance of selenium and zinc in the prevention and treatment of certain diseases (review). *Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction*. 2020; 1: 71–83 (in Russian).
28. Sarkisyan M.S., Grevtsova S.A. Biotechnology of production of sour cream product enriched with selenium. *Scientific works of students of the Gorsky State Agrarian University “Student science for the agro-industrial complex”*. 2020; 297–294 (in Russian).
29. Blinov A.V. *et al.* Selenium nanoparticles stabilized with chitosan for fortifying dairy products. *Agrarian science*. 2024; 1(9): 130–135 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-130-135>
30. Blinov A.V. *et al.* Development of principles for milk enrichment with nanoscale forms of the essential trace element selenium. *Food Industry*. 2024; 9(2): 77–84 (in Russian).

ОБ АВТОРАХ

Андрей Владимирович Блинов¹

кандидат технических наук, доцент департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Зафар Абдулович Рехман¹

преподаватель департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Анастасия Александровна Блинова¹

кандидат технических наук, доцент медико-биологического факультета
nastya_bogdanova_88@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9321-550X>

Максим Александрович Пирогов¹

лаборант департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
pirogov.m.2002@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9217-6262>

Екатерина Дмитриевна Назаретова¹

лаборант департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
ekaterina.nazaretova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1850-8043>

Максим Борисович Ребезов^{2, 3}

- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник²;
- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Северо-Кавказский федеральный университет, ул. им. Пушкина, 1, Ставрополь, 355002, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Vladimirovich Blinov¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Functional Materials and Engineering Design
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Zafar Abdulovich Rekhman¹

Lecturer at the Department of Functional Materials and Engineering Design
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Anastasia Alexandrovna Blinova¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Medicine and Biology
nastya_bogdanova_88@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9321-550X>

Maxim Alexandrovich Pirogov¹

Laboratory Assistant at the Department of Functional Materials and Engineering Design
pirogov.m.2002@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9217-6262>

Ekaterina Dmitrievna Nazaretova¹

Laboratory Assistant at the Department of Functional Materials and Engineering Design
ekaterina.nazaretova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1850-8043>

Maxim Borisovich Rebezov^{2, 3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher²;
- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products³

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹North Caucasus Federal University, 1 Pushkin Str., Stavropol, 355002, Russia

²V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, 26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

³Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia