

УДК 613.292:637.138

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157

А.В. Блинов¹З.А. Рехман²✉А.В. Самоволов¹А.Б. Голик¹С.С. Аванесян¹М.Б. Ребезов^{2, 3}¹ Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия² Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия³ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ zafrehman1027@gmail.com

Поступила в редакцию: 01.07.2025

Одобрена после рецензирования: 13.08.2025

Принята к публикации: 28.08.2025

© Блинов А.В., Рехман З.А., Самоволов А.В., Голик А.Б., Аванесян С.С., Ребезов М.Б.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157

Andrey V. Blinov¹Zafar A. Rekhman¹✉Artem A. Samovolov¹Alexei B. Golik¹Svetlana S. Avanesyan¹Maksim B. Rebezov^{2, 3}¹ North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia² Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia³ Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ zafrehman1027@gmail.com

Received by the editorial office: 01.07.2025

Accepted in revised: 13.08.2025

Accepted for publication: 28.08.2025

© Blinov A.V., Rekhman Z.A., Samovolov A.V., Golik A.B., Avanesyan S.S., Rebezov M.B.

Исследование антиоксидантной активности ацидофильного молока, обогащенного селеносодержащей наноразмерной системой

РЕЗЮМЕ

Цель данной работы — исследование влияния внесения наночастиц селена на физико-химические и антиоксидантные показатели кисломолочного продукта.

Синтез наноразмерного селена проводили методом химического восстановления в водной среде с использованием аскорбиновой кислоты, стабилизаторами наночастиц селена выступали такие вещества, как лауретсульфат натрия, гидроксипропилцеллюлоза (В30К), катамин АБ, бычий сывороточный альбумин, дидецилдиметиламмония хлорид, кокамидопропилбетаин, твин 80, метилцеллюлоза (МЦ 100), хитозан. Обогащение продукта проводили из расчета 30% от суточной дозы эссенциального микроэлемента селена на 1 л кисломолочного продукта. У испытуемых образцов были измерены физико-химические показатели — активная кислотность среды и титруемая кислотность среды. Исходя из полученных данных, видно, что исследованные показатели незначительно отличались от характеристик контрольного образца. Активная кислотность среды кисломолочного продукта при добавлении наночастиц варьировалась от 3,98 до 4,08, титруемая кислотность находилась в диапазоне 103–112 °Т при показателе контрольного образца 116 °Т. Анализ полученных данных показал, что антиоксидантная активность полученных кисломолочных продуктов схожа с контролем и находится на уровне 0,25 мг ТЕ/мл, за исключением образцов, обогащенных наноразмерным селеном, стабилизированными поверхностно-активными веществами — кокамидопропилбетаином и твином 80. Данные продукты обладали повышенной антиоксидантной активностью, которая была больше остальных (вплоть до 20%). Таким образом, обогащение кисломолочных продуктов наночастицами селена может способствовать повышению антиоксидантной активности продукта, не влияя на его физико-химические параметры и качественные характеристики.

Ключевые слова: наноразмерные частицы, селен, кисломолочный продукт, физико-химические показатели, стабилизаторы

Для цитирования: Блинов А.В., Рехман З.А., Самоволов А.В., Голик А.Б., Аванесян С.С., Ребезов М.Б. Исследование антиоксидантной активности кисломолочных продуктов, обогащенных селеносодержащей наноразмерной системой. *Аграрная наука*. 2025; 398(09): 151–157.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157>

Study of antioxidant activity of fermented milk products enriched with selenium-containing nanosized system

ABSTRACT

The purpose of this work is to study the effect of the introduction of selenium nanoparticles on the physico-chemical and antioxidant parameters of a fermented milk product.

Nanosized selenium was synthesized by chemical reduction in an aqueous medium using ascorbic acid; the following substances served as stabilizers for selenium nanoparticles: sodium laurth sulfate, hydroxyethyl cellulose (B30K), catamine AB, bovine serum albumin, didecylidimethylammonium chloride, cocamidopropyl betaine, tween 80, methylcellulose (MC 100), and chitosan. The product was enriched at the rate of 30% of the daily dose of the essential microelement selenium per 1 liter of fermented milk product. The following physicochemical properties were measured for the test samples: active acidity of the medium and titratable acidity of the medium. Based on the data obtained, it is evident that the studied parameters differed slightly from the characteristics of the control sample. The active acidity of the fermented milk product medium with the addition of nanoparticles varied from 3.98 to 4.08, titratable acidity was in the range of 103–112 °T with the control sample indicator of 116 °T. Analysis of the obtained data showed that the antioxidant activity of the obtained fermented milk products is similar to the control and is at the level of 0.25 mg TE/ml, with the exception of samples enriched with nanosized selenium stabilized by surfactants — cocamidopropyl betaine and tween 80. These products had increased antioxidant activity, which was higher than the others by up to 20%. Thus, enrichment of fermented milk products with selenium nanoparticles can contribute to an increase in the antioxidant activity of the product without affecting its physicochemical parameters and quality characteristics.

Key words: nanosized particles, selenium, fermented milk product, physical and chemical properties, stabilizers

For citation: Blinov A.V., Rekhman Z.A., Samovolov A.V., Golik A.B., Avanesyan S.S., Rebezov M.B. Study of antioxidant activity of fermented milk products enriched with selenium-containing nanosized system. *Agrarian science*. 2025; 398(09): 151–157 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157>

Введение/Introduction

Человеческий организм сталкивается с большим количеством негативных факторов и недостатком в пище продуктов растительного происхождения, что приводит к повышению концентрации свободных радикалов [1–4].

Природные антиоксиданты регулируют степень влияния свободнорадикального окисления на множество биохимических процессов организма, создавая оптимальные условия для нормального метаболизма и роста клеток и тканей [5–7].

В настоящее время известен широкий спектр продуктов, обладающих биологической и антиоксидантной активностью [8–13].

Молоко и кисломолочные продукты обладают антиоксидантной активностью благодаря элементам, входящим в состав казеина [14–17].

Сывороточные белки, находящиеся в составе кисломолочных продуктов, проявляют антиоксидантную активность и способны связывать железо в различных фазах пищевых систем [18–21].

Эссенциальный микроэлемент селен имеет неограниченное значение для здоровья человека [22–25]. Данный элемент необходим для нормального функционирования иммунной системы, он катализирует производство активного гормона щитовидной железы, предотвращает рост и развитие раковых клеток, является ингибитором свободных радикалов, активируя защитные механизмы глутатионпероксидазы [26–28]. Помимо этого, селен защищает клетки от токсического воздействия таких элементов, как ртуть, кадмий, свинец, мышьяк, ванадий и др. [29, 30].

Известно, что в природе селен существует в неорганической форме и органической. Однако существует и наноразмерная форма селена, которая обладает более высокой биодоступностью, низкой токсичностью. Известно, что селен в такой форме обладает повышенной биологической активностью [31–34]. За счет низкой токсичности наноразмерный селен может применяться в пищевой промышленности и медицине [35].

Недостаточное потребление селена (менее 40 мкг/сут) приводит к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, болезни Кешана, и провоцирует снижение иммунитета [36, 37]. Основным источником селена для человека является пища. Однако из-за обеднения сельскохозяйственных земель в продуктах питания аккумулируется малое количество эссенциальных микроэлементов, обладающих антиоксидантной активностью [38, 39].

Наиболее эффективным способом восполнения дефицита селена у населения является обогащение продуктов массового потребления — молока

и молочных продуктов, что позволит повысить их антиоксидантную активность [40].

Таким образом, добавление наноразмерного селена в кисломолочные продукты является перспективным направлением пищевой промышленности.

Цель данной работы — исследование влияния типа стабилизатора наночастиц селена на физико-химические параметры кисломолочного продукта и его антиоксидантную активность.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Синтез наночастиц селена и исследование физико-химических параметров и антиоксидантной активности образцов кисломолочных продуктов проводили на базе департамента функциональных материалов и инженерного конструирования ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (г. Ставрополь, Россия) в июне 2025 года. Синтез наночастиц селена проводили методом химического восстановления в водной среде [41].

В качестве селенсодержащего прекурсора использовали селенистую кислоту (H_2SeO_3).

Стабилизаторами выступали следующие вещества:

- ✓ лауретсульфат натрия,
- ✓ гидроксиэтилцеллюлоза (В30К),
- ✓ катамин АБ,
- ✓ бычий сывороточный альбумин,
- ✓ дидецилдиметиламмония хлорид,
- ✓ кокамидопропилбетаин, твин 80,
- ✓ метилцеллюлоза (МЦ 100),
- ✓ хитозан.

Получение кисломолочного продукта проводили следующим образом: для приготовления лабораторной закваски использовали 1 л цельного коровьего молока, предварительно стерилизованного в паровом горизонтальном стерилизаторе ГК-100-3 (АО «ТЗМОИ», г. Тюмень, Россия) при 120 °С в течение 20 минут. Далее молоко охлаждали до температуры 39 °С, которая является благоприятной для развития бактерий *Lactobacillus acidophilus*. Внесли 0,5 г заквасочной культуры. Одновременно проводили обогащение из расчета 21 мкг на 1 л молока (данное значение соответствует 30% от суточной нормы селена¹), что соответствует 0,2 мл селенсодержащей наноразмерной системы. Заквашенное молоко инкубировали в термостатах ТС-1/20 СПУ («Смоленское СКТБ СПУ», г. Смоленск, Россия) при температуре 39 °С. Заквасочный сгусток образовался через 20 ч., после чего его охлаждали на воздухе и хранили в холодильнике лабораторном ХЛ-340 ПОЗИС (АО «Производственное объединение «Завод им. Серго», г. Зеленодольск, Россия) при 4–6 °С до дальнейшего использования.

¹ МР 2.3.1.2432-08 Методические рекомендации 2.3.1. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.

Исследовали физико-химические параметры:

- ✓ активную кислотность среды (потенциометрическим методом на приборе OHAUS ST300-B (OHAUS Corporation, США);
- ✓ титруемую кислотность среды (титриметрическим методом с использованием 0,1 Н раствора NaOH)².

Анализ антиоксидантной активности молока проводили следующим образом: 2,2-азинобис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновую кислоту) (АБТС) растворяли в воде до концентрации 7 мМ.

Образование катионного радикала АБТС^{•+} проводили с помощью добавления 1 мл 14,7 мМ персульфата калия к 5 мл АБТС. Полученную смесь перед использованием выдерживали в темноте при комнатной температуре в течение 24 ч. Для проведения анализа раствор АБТС разбавляли дистиллированной водой до оптической плотности 0,70 ($\pm 0,02$) при 734 нм.

Пробоподготовку осуществляли следующим образом: смешивали 1 мл анализируемой пробы и 1 мл 10%-ного раствора сульфосалициловой кислоты и центрифугировали при 5000 об/мин в течение 3 минут, далее отбирали аликвоту 0,03 мл пробы и добавляли 2,97 мл АБТС. Оптическую плотность при 734 нм измеряли через 3 мин. на спектрофотометре UNICO 2100UV («Юнико-Сис», г. Санкт-Петербург, Россия).

В качестве стандарта использовали раствор тролокса с концентрацией 1 мМ, с которым проводили аналогичную пробоподготовку.

Антиоксидантную активность выражали в мг-эквивалентах тролокса на 1 мл образца (мг ТЕ/мл).

Сырье и реактивы, применяемые в исследовании, поставляли в университет с документами, удостоверяющими показатели качества и безопасности.

Все измерения проводили в 3-кратной повторности³⁻⁵, а полученные данные были проанализированы с помощью программы Statistica для Windows (Statsoft, Талса, США) и t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

После проведения синтеза образцов селеносодержащих наноразмерных систем проводили сквашивание молока для получения ацидофильного молока.

На первом этапе были исследованы образцы кисломолочных продуктов, обогащенных наночастицами селена с различными стабилизаторами.

Результаты исследований физико-химических свойств образцов обогащенных и контрольного продуктов представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Результаты титруемой кислотности кисломолочного продукта, обогащенного наночастицами селена с различными стабилизаторами

Table 1. Results of titratable acidity of fermented milk product enriched with selenium nanoparticles with various stabilizers

Тип стабилизатора селеносодержащей наноразмерной системы	Титруемая кислотность, °Т
Лауретсульфатом натрия	109 $\pm$ 5
Гидроксиэтилцеллюлозой (В30К)	107 $\pm$ 5
Катамином АБ	108 $\pm$ 5
Бычьим сывороточным альбумином	112 $\pm$ 6
Дидецилдиметиламмония хлоридом	105 $\pm$ 5
Кокаמידопропилбетаином	116 $\pm$ 6
Твином 80	103 $\pm$ 5
Метилцеллюлозой (МЦ 100)	111 $\pm$ 6
Хитозаном	112 $\pm$ 6
Контроль	116 $\pm$ 6

Таблица 2. Результаты pH кисломолочного продукта, обогащенного наночастицами селена с различными стабилизаторами

Table 2. Results of pH of fermented milk product enriched with selenium nanoparticles with various stabilizers

Тип стабилизатора селеносодержащей наноразмерной системы	pH
Лауретсульфатом натрия	4,03 $\pm$ 0,24
Гидроксиэтилцеллюлозой (В30К)	4,05 $\pm$ 0,24
Катамином АБ	4,07 $\pm$ 0,24
Бычьим сывороточным альбумином	4,01 $\pm$ 0,24
Дидецилдиметиламмония хлоридом	4,01 $\pm$ 0,24
Кокаמידопропилбетаином	4,04 $\pm$ 0,24
Твином 80	4,04 $\pm$ 0,24
Метилцеллюлозой (МЦ 100)	4,07 $\pm$ 0,24
Хитозаном	3,98 $\pm$ 0,23
Контроль	4,08 $\pm$ 0,24

Анализ физико-химических свойств полученных продуктов показывает, что введение селеносодержащей наноразмерной системы не оказывает значительного влияния на pH и титруемую кислотность кисломолочных продуктов. Наибольшая титруемая (116 ± 6 °Т) и активная ($4,08 \pm 0,24$) кислотность кисломолочного продукта наблюдается в данном случае у контрольного образца. Исследованные показатели не превышают регламентированные значения, установленные для данного вида продуктов⁶. Важным фактом является то, что изменение типа и класса стабилизатора для наночастиц селена не оказывает влияния на активную и титруемую кислотность продуктов.

Далее проводили исследование антиоксидантной активности кисломолочных продуктов, обогащенных наночастицами селена с различными стабилизаторами. Результаты приведены в таблице 3.

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.

⁶ ГОСТ 32923-2014 Продукты кисломолочные, обогащенные пробиотическими микроорганизмами.

Таблица 3. Результаты исследования антиоксидантной активности образцов кисломолочного продукта, обогащенного наночастицами селена с различными стабилизаторами

Table 3. Results of the study of antioxidant activity of fermented milk product samples enriched with selenium nanoparticles with various stabilizers

Тип стабилизатора селенсодержащей наноразмерной системы	Антиоксидантная активность	
	% ингибирования ABTS	мг ТЕ/мл
Лауретсульфат натрия	12,1 ± 0,61	0,27 ± 0,014
Гидроксиэтилцеллюлоза	9,9 ± 0,50	0,22 ± 0,011
Катамин АБ	11,6 ± 0,58	0,26 ± 0,013
Бычий сывороточный альбумин	11,0 ± 0,55	0,25 ± 0,013
Дидецилдиметиламмония хлорид	10,5 ± 0,53	0,24 ± 0,012
Кокамидопропилбетаин	10,3 ± 0,52	0,28 ± 0,014
Твин 80	12,4 ± 0,62	0,29 ± 0,015
Метилцеллюлоза	10,3 ± 0,52	0,23 ± 0,012
Хитозан	10,3 ± 0,52	0,24 ± 0,012
Контроль	10,6 ± 0,53	0,24 ± 0,012

Анализ данных показал, что антиоксидантная активность полученных кисломолочных продуктов схожа с контролем и находится на уровне 0,25 мг ТЕ/мл. Однако образцы продукции, которые были обогащены селенсодержащими наноразмерными системами, стабилизированными кокамидопропилбетаином и твином 80, обладали повышенной антиоксидантной активностью (на 17% и 20% больше контрольного образца соответственно). Данные стабилизаторы представляют собой поверхностно-активные вещества, причем твин 80, также известный как полисорбат 80, — это официально зарегистрированная

пищевая добавка E433⁷, которую используют в качестве эмульгатора, солюбилизатора, стабилизатора в пищевых продуктах, косметике и фармацевтических препаратах.

В связи с этим обогащение продуктов питания, обогащенных селенсодержащей наноразмерной системой, стабилизированной неионогенным поверхностно-активным веществом твин 80, является целесообразным.

Стоит отметить, что увеличение дозы вносимой селенсодержащей добавки повлечет за собой повышение антиоксидантной активности, что будет, возможно, положительно сказываться на иммунной защите организма человека.

Выводы/Conclusions

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что обогащение кисломолочных продуктов наноразмерным селеном является перспективным направлением, ввиду того что наночастицы селена не оказывают значительного влияния на физико-химические показатели ацидофильного продукта при добавлении 30% от суточной дозы селена (в пересчете 21 мкг селена), а также повышает его антиоксидантные свойства. Так, наблюдаются незначительные изменения титруемой кислотности, активной кислотности среды, при этом показатели антиоксидантной активности полученного продукта выросли от 0,25 мг до 0,29 мг ТЕ/мл.

В дальнейшем планируется провести моделирование процесса биоусвоения кисломолочных продуктов, обогащенных селенсодержащими наноразмерными системами в ЖКТ *in vitro*.

⁷ В некоторых странах (например, в Канаде) нет четкого статуса для этой добавки, хотя она разрешена в России, Белоруссии, США, ЕС и др.

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. Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Жарикова О.А., Васюкова А.Т. Суммарная антиоксидантная активность растительных экстрактов. *Пищевая промышленность*. 2011; (9): 44–45. <https://elibrary.ru/ohfyaj>
2. Зиятдинова Г.К., Зиганшина Э.Р., Нгуен Конг Ф., Будников Г.К. Хроноамперометрическая оценка антиоксидантной емкости мицеллярных экстрактов специй. *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2015; 157(3): 119–131. <https://elibrary.ru/ukxhwr>
3. Орлова Е.С., Аль-Сухайми С.А., Ребезов М.Б. Оценка антиоксидантной и антимикробной активности растительных биоактивных соединений в качестве натуральных консервантов. *Аграрная наука*. 2023; (8): 143–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-143-150>
4. Muthukrishnan S. *et al.* Bioactive Components and Health Potential of Endophytic Micro-Fungal Diversity in Medicinal Plants. *Antibiotics*. 2022; 11(11): 1533. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111533>

REFERENCES

1. Dracheva L.V., Zaitsev N.K., Zharikova O.A., Vasyukova A.T. Total antioxidant activity of vegetative extracts. *Food processing industry*. 2011; (9): 44–45 (in Russian). <https://elibrary.ru/ohfyaj>
2. Ziyatdinova G.K., Ziganshina E.R., Nguyen Cong Ph., Budnikov H.C. Chronoamperometric evaluation of the antioxidant capacity of micellar spice extracts. *Proceedings of Kazan University. Series: Natural Sciences*. 2015; 157(3): 119–131 (in Russian). <https://elibrary.ru/ukxhwr>
3. Orlova E.S., El-Sohaimy S.A., Rebezov M.B. Evaluation of the antioxidant and antimicrobial activity of plant bioactive compounds as natural preservatives. *Agrarian science*. 2023; (8): 143–150 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-143-150>
4. Muthukrishnan S. *et al.* Bioactive Components and Health Potential of Endophytic Micro-Fungal Diversity in Medicinal Plants. *Antibiotics*. 2022; 11(11): 1533. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111533>

5. Kuznetsova E.A., Rebezov M.B., Kuznetsova E.A., Nasrullaeva G.M. Study of Changes in Antioxidant Activity, Microstructure, and Mineral Composition of Nadir Wheat Grain During Preparation for Whole Grain Bread Production. *Agrarian science*. 2024; (12): 166–172. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-166-172>
6. Skoryk O.D., Horila M.V. Oxidative stress and disruption of the antioxidant defense system as triggers of diseases. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024; 14(4): 665–672. <https://doi.org/10.15421/022395>
7. Ribaya-Mercado J.D., Blumberg J.B. Lutein and Zeaxanthin and Their Potential Roles in Disease Prevention. *Journal of the American College of Nutrition*. 2004; 23(S6): 567S–587S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719427>
8. Ahsan S. *et al.* Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2021; 69(1): 172–182. <https://doi.org/10.1002/bab.2094>
9. Chaari M. *et al.* Multiobjective response and chemometric approaches to enhance the phytochemicals and biological activities of beetroot leaves: an unexploited organic waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023; 13(16): 15067–15081. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03645-0>
10. Suhaj M. Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19(6–7): 531–537. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.005>
11. Pinela J., Dias M.I., Pereira C., Alonso-Esteban J.I. Antioxidant Activity of Foods and Natural Products. *Molecules*. 2024; 29(8): 1814. <https://doi.org/10.3390/molecules29081814>
12. Xiao H.-H. The Role of Oxidative Stress and Natural Products in Maintaining Human Health. *Nutrients*. 2024; 16(9): 1268. <https://doi.org/10.3390/nu16091268>
13. Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Жарикова О.А. Антиоксидантная активность травяных чаев. *Пищевая промышленность*. 2011; (11): 32–34. <https://www.elibrary.ru/oijgfh>
14. Семенова Е.С., Симоненко С.В., Симоненко Е.С., Щетникова М.Ю. Мицеллярный казеин: биоактивность, функциональность и применение. *Пищевая промышленность*. 2023; (10): 96–99. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.10.10.020>
15. Bibik I., Doronin S., Dotsenko S. Substantiation of technological approaches to the creation of functional products based on milk and carrot compositions. *E3S Web of Conferences*. 2020; 203: 04007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020304007>
16. Alekseeva Yu.A., Khoroshailo T.A., Brichagina A.A., Svitenko O.V. Ecological and raw material aspects of the production of fermented milk drinks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 981: 022082. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022082>
17. Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б. Концентраты белков молока: функционально-технологические свойства и применение. *Молочная промышленность*. 2022; (11): 28–30. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-11-28-30>
18. Блинов А.В., Голик А.Б., Гвозденко А.А., Серов А.В., Рехман З.А. Инновационные формы эссенциального микроэлемента железа для обогащения молочных продуктов. *Молочная промышленность*. 2024; (1): 36–39. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-1>
19. Bučević-Popović V., Delas I., Međugorac S., Pavela-Vrančić M., Kulišić-Bilišić T. Oxidative stability and antioxidant activity of bovine, caprine, ovine and asinine milk. *International Journal of Dairy Technology*. 2014; 67(3): 394–401. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12126>
20. Rival S.G., Fornaroli S., Boeriu C.G., Wichers H.J. Caseins and Casein Hydrolysates. 1. Lipoxygenase Inhibitory Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49(1): 287–294. <https://doi.org/10.1021/jf000392t>
21. 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>
22. 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>
23. Saini U.M., Ferdous S. Role of Selenium in the Body: A Narrative Review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2023; 17(12): BE01–BE04. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2023/61227.18772>
24. Трухан Д.И., Друк И.В., Викторова И.А. Не йодом единым. Роль селена, цинка, витаминов А, С, Е в физиологии и патологии щитовидной железы. *Клинический разбор в общей медицине*. 2024; 5(4): 34–45. <https://doi.org/10.47407/kr2024.5.4.00417>
5. Kuznetsova E.A., Rebezov M.B., Kuznetsova E.A., Nasrullaeva G.M. Study of Changes in Antioxidant Activity, Microstructure, and Mineral Composition of Nadir Wheat Grain During Preparation for Whole Grain Bread Production. *Agrarian science*. 2024; (12): 166–172. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-166-172>
6. Skoryk O.D., Horila M.V. Oxidative stress and disruption of the antioxidant defense system as triggers of diseases. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024; 14(4): 665–672. <https://doi.org/10.15421/022395>
7. Ribaya-Mercado J.D., Blumberg J.B. Lutein and Zeaxanthin and Their Potential Roles in Disease Prevention. *Journal of the American College of Nutrition*. 2004; 23(S6): 567S–587S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719427>
8. Ahsan S. *et al.* Technofunctional quality assessment of soymilk fermented with *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2021; 69(1): 172–182. <https://doi.org/10.1002/bab.2094>
9. Chaari M. *et al.* Multiobjective response and chemometric approaches to enhance the phytochemicals and biological activities of beetroot leaves: an unexploited organic waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023; 13(16): 15067–15081. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03645-0>
10. Suhaj M. Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19(6–7): 531–537. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.005>
11. Pinela J., Dias M.I., Pereira C., Alonso-Esteban J.I. Antioxidant Activity of Foods and Natural Products. *Molecules*. 2024; 29(8): 1814. <https://doi.org/10.3390/molecules29081814>
12. Xiao H.-H. The Role of Oxidative Stress and Natural Products in Maintaining Human Health. *Nutrients*. 2024; 16(9): 1268. <https://doi.org/10.3390/nu16091268>
13. Dracheva L.V., Zaytsev N.K., Zharikova O.A. Antioxidant activity of herbal teas. *Food processing industry*. 2011; (11): 32–34 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/oijgfh>
14. Semenova E.S., Simonenko S.V., Simonenko E.S., Shchetnikova M.Yu. Micellar casein: bioactivity, functionality and application. *Food processing industry*. 2023; (10): 96–99 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.10.10.020>
15. Bibik I., Doronin S., Dotsenko S. Substantiation of technological approaches to the creation of functional products based on milk and carrot compositions. *E3S Web of Conferences*. 2020; 203: 04007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020304007>
16. Alekseeva Yu.A., Khoroshailo T.A., Brichagina A.A., Svitenko O.V. Ecological and raw material aspects of the production of fermented milk drinks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 981: 022082. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022082>
17. Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B. Milk protein concentrates: functional and technological properties and application. *Dairy industry*. 2022; (11): 28–30 (in Russian). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-11-28-30>
18. Blinov A.V., Golik A.B., Gvozdenko A.A., Serov A.V., Rekhman Z.A. Innovative forms of iron as essential trace element in dairy fortification. *Dairy industry*. 2024; (1): 36–39 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-1>
19. Bučević-Popović V., Delas I., Međugorac S., Pavela-Vrančić M., Kulišić-Bilišić T. Oxidative stability and antioxidant activity of bovine, caprine, ovine and asinine milk. *International Journal of Dairy Technology*. 2014; 67(3): 394–401. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12126>
20. Rival S.G., Fornaroli S., Boeriu C.G., Wichers H.J. Caseins and Casein Hydrolysates. 1. Lipoxygenase Inhibitory Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49(1): 287–294. <https://doi.org/10.1021/jf000392t>
21. 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>
22. 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>
23. Saini U.M., Ferdous S. Role of Selenium in the Body: A Narrative Review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2023; 17(12): BE01–BE04. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2023/61227.18772>
24. Trukhan D.I., Druk I.V., Viktorova I.A. Not iodine alone. Role of selenium, zinc, vitamins A, C, E in the physiology and pathology of the thyroid gland. *Clinical review for general practice*. 2024; 5(4): 34–45 (in Russian). <https://doi.org/10.47407/kr2024.5.4.00417>

25. Шикина М.А. и др. Роль селена в работе компонентов иммунной системы и возникновении аллергии: контент-анализ современной литературы. *Российский аллергологический журнал*. 2024; 21(2): 283–294. <https://doi.org/10.36691/RJA16923>
26. 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): 3882–3895. <https://doi.org/10.7150/thno.70830>
27. 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>
28. Dawood M.A.O. *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>
29. Блинов А.В., Маглакелидзе Д.Г., Брашко Е.А., Блинова А.А., Гвозденко А.А., Пирогов М.А. Оптимизация методики получения наночастиц селена, стабилизированных кокамидопропилбетаином. *Российский химический журнал*. 2022; 66(1): 86–92. <https://www.elibrary.ru/xnuirt>
30. 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. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20246704.6938>
31. Духновский Е.А. Применение наночастиц селена в онкологии (обзор). *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2023; 12(2): 34–43. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-2-34-43>
32. Шурыгина И.А., Шурыгин М.Г. Наноконкомпозиты селена — перспективы применения в онкологии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2020; 27(1): 81–86. <https://www.elibrary.ru/qovplb>
33. Литвяк В.В., Копытцов А.А., Ананских В.В. Нанотехнологии в пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*. 2020; (12): 14–19. <https://www.elibrary.ru/tjxxab>
34. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022; 12(3): 245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245>
35. Пономарева Е.А., Русецкая Н.Ю. Влияние дефицита и избытка селена на организм человека. *Young people and science: results and perspectives. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным участием. Саратов: Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского*. 2023; 165–166. <https://www.elibrary.ru/ssyexc>
36. Йованович Л.Н., Ермаков В.В. Значение селена и цинка в предупреждении и лечении некоторых заболеваний. Обзор. *Биохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы. Труды Международного биогеохимического симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова и 90-летию образования Приднестровского университета*. Тирасполь: Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко. 2020; 1: 71–83. <https://www.elibrary.ru/pbwwwwe>
37. Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Яковлев А.С., Булгаков Д.С., Макаров О.А. Отечественные подходы к оценке степени деградации почв и земель. *Почвоведение*. 2015; (11): 1394–1406. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15110118>
38. Саркисян М.С., Гревцова С.А. Биотехнология производства сметанного продукта, обогащенного селеном. *Научные труды студентов Горского государственного аграрного университета «Студенческая наука — агропромышленному комплексу»*. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет. 2020; 57(1): 291–294. <https://www.elibrary.ru/ajibdf>
39. Блинов А.В., Рехман З.А., Серов А.В., Гвозденко А.А., Голик А.Б., Блинова А.А. Разработка принципов обогащения молока наноразмерными формами эссенциального микроэлемента селена. *Индустрия питания*. 2024; 9(2): 77–84. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-2-9>
40. 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; (7): 172–177. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-172-177>
41. Blinov A. *et al.* Selenium nanoparticles stabilized with Tween 80: Synthesis, characterization, and application in fortified milk and fermented dairy products. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2025; 706: 135822. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135822>
25. Shikina M.A. *et al.* The role of selenium in the functioning of immune system components and the incidence of allergies: a content analysis of recent literature. *Russian Journal of Allergy*. 2024; 21(2): 283–294 (in Russian). <https://doi.org/10.36691/RJA16923>
26. 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): 3882–3895. <https://doi.org/10.7150/thno.70830>
27. 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>
28. Dawood M.A.O. *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>
29. Blinov A.V., Maglakelidze D.G., Brazhko E.A., Blinova A.A., Gvozdenko A.A., Pirogov M.A. Optimization of the technique for obtaining selenium nanoparticles stabilized with cocamidopropylbetaine. *Russian Chemistry Journal*. 2022; 66(1): 86–92 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xnuirt>
30. Blinov A.V. *et al.* Synthesis and characterization of selenium nanoparticles stabilized with didecyltrimethylammonium chloride. *Series: Chemistry and Chemical Technology*. 2024; 67(4): 46–52 (in Russian). <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20246704.6938>
31. Dukhnovsky E.A. Application of Selenium Nanoparticles in Oncology (Review). *Drug development & registration*. 2023; 12(2): 34–43 (in Russian). <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-2-34-43>
32. 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). <https://www.elibrary.ru/qovplb>
33. Litvyak V.V., Kopyltsov A.A., Ananskikh V.V. Nanotechnologies in the food-processing industry. *Food processing industry*. 2020; (12): 14–19 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tjxxab>
34. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022; 12(3): 245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245>
35. Ponomareva E.A., Rusetskaya N.Yu. The impact of selenium deficiency and excess on the human body. *Young people and science: results and perspectives. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference of students and young scientists with international participation. Saratov: Saratov State Medical University*. 2023; 165–166 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/oknwcb>
36. Jovanovic L.N., Ermakov V.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. Proceedings of the International Biogeochemical Symposium devoted to the 125th anniversary of Academician A.P. Vinogradov's birth and the 90th anniversary of Shevchenko State University of Pridnestrovie*. Tiraspol: Pridnestrovian State University. 2020; 1: 71–83 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pbwwwwe>
37. Molchanov E.N., Savin I.Yu., Bulgakov D.S., Yakovlev A.S., Makarov O.A. National approaches to evaluation of the degree of soil degradation. *Eurasian Soil Science*. 2015; 48(11): 1268–1277. <https://doi.org/10.1134/S1064229315110113>
38. 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"*. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University. 2020; 57(1): 291–294 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ajibdf>
39. Blinov A.V., Rekhman Z.A., Serov A.V., Gvozdenko A.A., Golik A.B., Blinova A.A. Principle Development for Milk Enrichment with Nano-Sized Forms of the Essential Trace Element Selenium. *Food Industry*. 2024; 9(2): 77–84 (in Russian). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-2-9>
40. 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; (7): 172–177 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-172-177>
41. Blinov A. *et al.* Selenium nanoparticles stabilized with Tween 80: Synthesis, characterization, and application in fortified milk and fermented dairy products. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2025; 706: 135822. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135822>

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>

Артём Владимирович Самоволов¹

ассистент кафедры технологии переработки нефти и промышленной экологии
artem.samovolov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5570-6201>

Алексей Борисович Голик¹

ассистент департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
lexgooldman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2580-9474>

Светлана Суреновна Аванесян¹

научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии
savanessian@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3536-1247>

Максим Борисович Ребезов^{2, 3}

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

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

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

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

³ Уральский 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>

Artem Vladimirovich Samovolov¹

Assistant Professor at the Department of Oil Refining Technology and Industrial Ecology
artem.samovolov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5570-6201>

Alexey Borisovich Golik¹

Assistant of the Department of Functional Materials and Engineering Design
lexgooldman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2580-9474>

Svetlana Surenovna Avanesyan¹

Researcher at the Interdepartmental Scientific and Educational Laboratory of Experimental Immunomorphology, Immunopathology and Immunobiotechnology
savanessian@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3536-1247>

Maksim Borisovich Rebezov^{2, 3}

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

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

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

² Gorbato Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

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