

А.В. Блинов¹

А.А. Гвозденко¹ ✉

А.А. Блинова¹

З.А. Рехман¹

А.А. Нагдалян¹

П.С. Леонтьев¹

А.С. Аскерова¹

М.Б. Ребезов^{2, 3}

¹Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

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

³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ gvozdenko.1999a@gmail.com

Поступила в редакцию: 11.06.2024

Одобрена после рецензирования: 11.07.2024

Принята к публикации: 26.08.2024

© Блинов А.В., Гвозденко А.А., Блинова А.А., Рехман З.А., Нагдалян А.А., Леонтьев П.С., Аскерова А.С., Ребезов М.Б.

Research article

 creative commons
Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-130-135

Andrey V. Blinov¹

Alexey A. Gvozdenko¹ ✉

Anastasia A. Blinova¹

Zafar A. Rekhman¹

Andrey A. Nagdalyan¹

Pavel S. Leontiev¹

Alina S. Askerova¹

Maksim B. Rebezov^{2, 3}

¹North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

³Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ gvozdenko.1999a@gmail.com

Received by the editorial office: 11.06.2024

Accepted in revised: 11.07.2024

Accepted for publication: 26.08.2024

© Blinov A.V., Gvozdenko A.A., Blinova A.A., Rekhman Z.A., Nagdalyan A.A., Leontiev P.S., Askerova A.S., Rebezov M.B.

Наночастицы селена, стабилизированные хитозаном, для обогащения молочной продукции

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Одним из решений проблемы дефицита селена является обогащение биодоступными формами селена социально значимых продуктов питания, в частности молочных продуктов. К подобным формам можно отнести наночастицы селена.

Цель работы — разработка молочного продукта, обогащенного наночастицами селена, стабилизированными хитозаном.

Методы. По данным спектроскопии динамического рассеяния света, образец наночастиц селена, стабилизированный хитозаном, имеет мономодальное распределение по размерам со средним гидродинамическим радиусом частиц 25 нм.

Результаты. Квантово-химическое моделирование наночастиц селена, стабилизированных хитозаном, позволило установить, что наиболее энергетически выгодным является взаимодействие поверхности наночастиц селена с гидроксильной группой, присоединенной к C₃ остатка глюкозамина хитозана. Проводили исследование влияния технологических параметров на стабильность наночастиц селена, стабилизированных хитозаном. Установлено, что повышение времени экспозиции приводит к увеличению среднего гидродинамического радиуса наночастиц селена, стабилизированных хитозаном. В случае pH наблюдается обратная зависимость: частицы с наибольшим средним гидродинамическим радиусом находятся в образцах, имеющих кислую среду (pH < 5). В рамках исследования влияния технологических параметров на стабильность наночастиц селена, стабилизированных хитозаном, установлено, что наночастицы селена, стабилизированные хитозаном, можно использовать в качестве источника селена для продуктов питания, которые имеют нейтральный pH, однако могут подвергаться тепловой обработке при температуре выше 70 °C в течение 5–15 минут, в частности пастеризованное молоко. Исследование пастеризованного молока, обогащенного наночастицами селена, стабилизированными хитозаном, показало, что значительных изменений титруемой кислотности, поверхностного натяжения и pH молока, среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина после обогащения молока не наблюдается. Значение антиоксидантной активности увеличивает на 0,88% — с 6,50 до 7,38%.

Ключевые слова: эссенциальный микроэлемент, селен, молоко, обогащение, наночастицы

Для цитирования: Блинов А.В. и др. Наночастицы селена, стабилизированные хитозаном, для обогащения молочной продукции. *Аграрная наука*. 2024; 386(9): 130–135.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-130-135>

Selenium nanoparticles stabilized with chitosan for fortifying dairy products

ABSTRACT

Relevance. One solution to the problem of selenium deficiency is the enrichment of socially important food products, in particular dairy products, with bioavailable forms of selenium. Such forms include selenium nanoparticles.

The aim of the work is to develop a dairy product enriched with selenium nanoparticles stabilized with chitosan.

Methods. According to dynamic light scattering spectroscopy, a sample of selenium nanoparticles stabilized with chitosan has a monomodal size distribution with an average hydrodynamic particle radius of 25 nm.

Results. Quantum chemical modeling of selenium nanoparticles stabilized by chitosan has revealed that the most energetically favorable interaction is the interaction of the surface of selenium nanoparticles with the hydroxo group attached to the C₃ glucosamine residue of chitosan. A study was conducted of the influence of technological parameters on the stability of selenium nanoparticles stabilized with chitosan. It was found that increasing the exposure time leads to an increase in the average hydrodynamic radius of selenium nanoparticles stabilized by chitosan. In the case of pH, an inverse relationship is observed: particles with the largest average hydrodynamic radius are found in samples with an acidic environment (pH < 5). As part of a study of the influence of technological parameters on the stability of selenium nanoparticles stabilized by chitosan, it was found that selenium nanoparticles stabilized by chitosan can be used as a source of selenium for food products that have a neutral pH, but can be subjected to heat treatment at temperatures above 70 °C in for 5–15 minutes, in particular pasteurized milk. A study of pasteurized milk fortified with selenium nanoparticles stabilized by chitosan showed that there were no significant changes in titratable acidity, surface tension and pH of milk, as well as the average hydrodynamic radius of casein micelles after milk fortification. The value of antioxidant activity increases by 0.88% — from 6.50 to 7.38%.

Key words: Essential microelement, selenium, milk, enrichment, nanoparticles

For citation: Blinov A.V., et al. Selenium nanoparticles stabilized by chitosan for the fortification of dairy products. *Agrarian science*. 2024; 386(9): 130–135 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-130-135>

Введение/Introduction

Селен является жизненно важным для человека микроэлементом, необходимым для работы иммунной, антиоксидантной, эндокринной, нервной, репродуктивной систем [1–3].

Норма потребления селена составляет 70 мкг для взрослого мужчины и 55 мкг для взрослой женщины [4]. Дефицит селена в организме человека часто ассоциируется со снижением когнитивных способностей и иммунитета.

В работе [5] авторы сообщают о взаимосвязи между дефицитом селена и возникновением заболеваний нервной системы. Доказано, что достаточное ежедневное потребление селена приводит к уменьшению риска развития ряда заболеваний, в частности сердечно-сосудистых [6–8].

Известно, что не только дефицит, но и избыточное поступление селена несет опасность для здоровья. Авторы работ [9–11] сообщают, что избыточный прием селена может приводить к развитию у лабораторных животных сахарного диабета второго типа.

Однако стоит отметить, что на территории Российской Федерации наблюдается низкое содержание селена в почве, что снижает вероятность возникновения избытка селена в организме человека [12].

Одним из решений проблемы дефицита селена является обогащение биодоступными формами селена социально-значимых продуктов питания, в частности молочных продуктов [13–16]. К подобным формам можно отнести наночастицы селена [17]. Обогащение пищевых продуктов является одной из мер в области нутрициологии, которая играет важную роль в улучшении состояния питания населения [18–22].

Таким образом, целью данной работы является разработка молочного продукта, обогащенного наночастицами селена, стабилизированными хитозаном.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Синтез проводили с использованием следующих реактивов: селенистая кислота, хитозан (ч., АО «Ленреактив», С.-Петербург, Россия), аскорбиновая кислота (ч.д.а., ЛенРеактив, С.-Петербург).

Для синтеза наночастиц селена, стабилизированных хитозаном, растворяли навески селенистой кислоты и хитозана в 10 мл дистиллированной воды. В другом химическом стакане растворяли навеску аскорбиновой кислоты в 5 мл дистиллированной воды. Затем полученные раствор аскорбиновой кислоты добавляли в раствор селенистой кислоты и хитозана при постоянном перемешивании 500 об/мин.

Исследование среднего гидродинамического радиуса наночастиц селена, стабилизированных хитозаном, проводили методом динамического рассеяния света (DLS) на приборе Photocor-Complex (ООО «Антекс-97», Россия). Компьютерную обработку полученных результатов осуществляли с использованием программного обеспечения DynaLS¹.

Компьютерное квантово-химическое моделирование наночастиц селена, стабилизированных хитозаном,

проводили в программе QChem² с использованием молекулярного редактора IQmol³. Расчет осуществлялся на оборудовании центра обработки данных (Schneider Electric, Франция) ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет». Расчеты проводили со следующими параметрами: расчет: Energy, метод: HF, базис: 6-31G, convergence – 5, силовое поле – Chemical.

Для исследования стабильности наночастиц селена, при различных значениях технологических параметров проводили многофакторный эксперимент, который включал в себя 3 входных параметра и 3 уровня варьирования.

В качестве входных параметров рассматривали:

- активную кислотность среды (pH),
- время перемешивания (τ , мин),
- температуру раствора (t , °C).

В качестве выходного параметра рассматривали средний гидродинамический радиус частиц.

Матрица многофакторного эксперимента представлена в таблице 1.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы Statistica 12.0⁴ (США) и пакета прикладных программ Statistica Neural Networks⁵ (США).

Обогащение молока с жирностью 3,2 % (АО «МКС», Ставрополь, Россия) наночастицами селена, стабилизированными хитозаном, проводили из расчета 30 % от суточной нормы потребления селена (21 мкг).

Активную кислотность среды определяли на pH-метре-ионере «Эксперт-001» (ООО «Эконикс-Эксперт», Россия).

Титруемую кислотность молока определяли титриметрическим методом согласно ГОСТ 3624⁶.

Поверхностное натяжение определяли столбиметрическим методом⁷.

Анализ антиоксидантной активности проводили по методике, описанной в работе [23]. Для этого готовили раствор 2,2-азинобис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислоты) (АБТС) с концентрацией 7 мМ. Отбирали 5 мл раствора АБТС и добавляли 1 мл 14,7 мМ персульфата калия. 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. Затем смешивали 1 мл анализируемой пробы и 1 мл сульфосалициловой кислоты,

Таблица 1. Матрица многофакторного эксперимента

Table 1. Matrix of a multivariate experiment

№ образца	pH	t , °C	τ , мин.
1	3	25	5
2	3	60	15
3	3	95	25
4	7	25	15
5	7	60	25
6	7	95	5
7	11	25	25
8	11	60	5
9	11	95	15

¹ https://bio.pnpi.nrcki.ru/wp-content/uploads/2020/01/Photocor-Compact-Z_Manual.pdf

² Q-Chem is a comprehensive ab initio quantum chemistry software for accurate predictions of molecular structures, reactivities, and vibrational, electronic and NMR spectra. Режим доступа: URL: <https://www.q-chem.com>

³ Gilbert A. Introduction to IQmol / A. Gilbert. Режим доступа: URL: <http://iqmol.org/downloads/IQmolUserGuide.pdf>

⁴ <https://statistica.software.informer.com/12.0/>

⁵ <https://docs.tibco.com/pub/stat/14.0.0/doc/html/UsersGuide/GUID-F60C241F-CD88-4714-A8C8-1F28473C52EE.html>

⁶ ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности.

⁷ Шелудко А. Колоидная химия. София: Наука и искусство. 1983.

центрифугировали при 13000 об/мин в течение 5 минут, отбирали аликвоту 0,02 мл пробы и добавляли 1,98 мл раствора АБТС. Поглощение при 734 нм измеряли через 3 мин после смешивания на оптическом спектрофотометре СФ-56. В качестве стандарта использовали раствор тролокса в концентрации 1 мМ, с которым проводили аналогичную пробоподготовку.

Синтез и исследование образцов наночастиц селена, стабилизированных хитозаном, проводили на базе кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» в марте 2024 года.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе определяли средний гидродинамический радиус частиц селена, стабилизированных хитозаном.

Полученная гистограмма распределения гидродинамического радиуса частиц в образце наночастиц селена, стабилизированного хитозаном, представлена на рисунке 1.

Анализ полученной гистограммы показал, что образец наночастиц селена, стабилизированного хитозаном, имеет мономодальное распределение по размерам. Средний гидродинамический радиус частиц составил 25 нм.

На следующем этапе исследований проводили квантово-химическое моделирование взаимодействия поверхности наночастиц селена с хитозаном. Взаимодействие стабилизатора с наночастицами рассматривали через аминогруппу и гидроксильные группы хитозана.

Рис. 1. Гистограмма распределения гидродинамического радиуса частиц в образце наночастиц селена, стабилизированного хитозаном

Fig. 1. Histogram of the distribution of the hydrodynamic radius of particles in a sample of selenium nanoparticles stabilized with chitosan

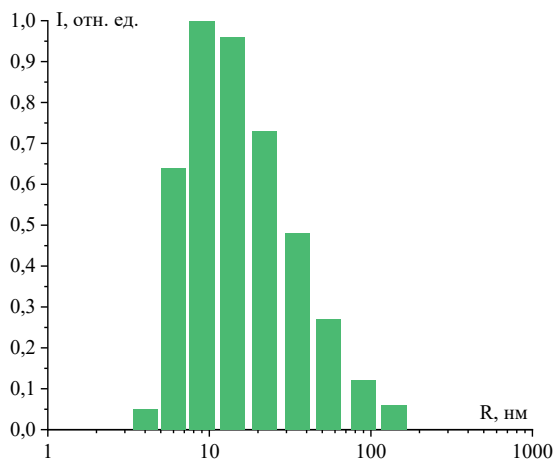


Таблица 3. Результаты исследования влияния технологических параметров на стабильность наночастиц селена

Table 3. Results of a study of the influence of technological parameters on the stability of selenium nanoparticles

№ образца	R, нм
1	123,8
2	163,3
3	22 000
4	641,9
5	162,1
6	76,95
7	770,9
8	662,0
9	315,2

Полученные данные представлены в таблице 2.

Анализ результатов моделирования показал, что наиболее энергетически выгодным является взаимодействие поверхности наночастиц селена с гидроксильными группами, присоединенной к C₃ остатка глюкозамина хитозана (рисунок 2).

На следующем этапе проводили исследование влияния технологических параметров на стабильность наночастиц селена. В качестве технологических параметров рассматривали pH, температуру и время экспозиции. В качестве выходных параметров рассматривали средний гидродинамический радиус частиц селена (R).

Полученные данные представлены в таблице 3.

Далее проводилась статистическая обработка данных. Полученные зависимости представлены на рисунке 3.

Таблица 2. Результаты квантово-химического моделирования
Table 2. Results of quantum chemical modeling

Тип взаимодействия	E, ккал/моль	ΔE, ккал/моль	E _{НОМО} , эВ	E _{ЛУМО} , эВ	η, эВ
Молекула хитозана	-1258,08	–	-0,219	0,028	0,124
Через гидроксильную группу, присоединенную к C ₆ остатка глюкозамина хитозана	-3657,68	2399,60	-0,128	0,030	0,079
Через гидроксильную группу, присоединенную к C ₃ остатка глюкозамина хитозана	-3657,70	2399,62	-0,163	0,016	0,090
Через аминогруппу, присоединенную к C ₂ остатка глюкозамина хитозана	-3657,59	2399,51	-0,116	0,008	0,062

Рис. 2. Результаты моделирования взаимодействия молекулы хитозана и селена через гидроксильную группу, присоединенную к C3 остатка глюкозамина: а — модель молекулярного комплекса; б — распределение электронной плотности; в — градиент распределения электронной плотности; г — высшая заселенная молекулярная орбиталь (НОМО); д — низшая свободная молекулярная орбиталь (ЛУМО)

Fig. 2. Results of modeling the interaction of a chitosan molecule and selenium through a hydroxyl group attached to the C3 residue of glucosamine: a — model of a molecular complex; b — electron density distribution; c — gradient of electron density distribution; d — highest occupied molecular orbital (HOMO); e — lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)

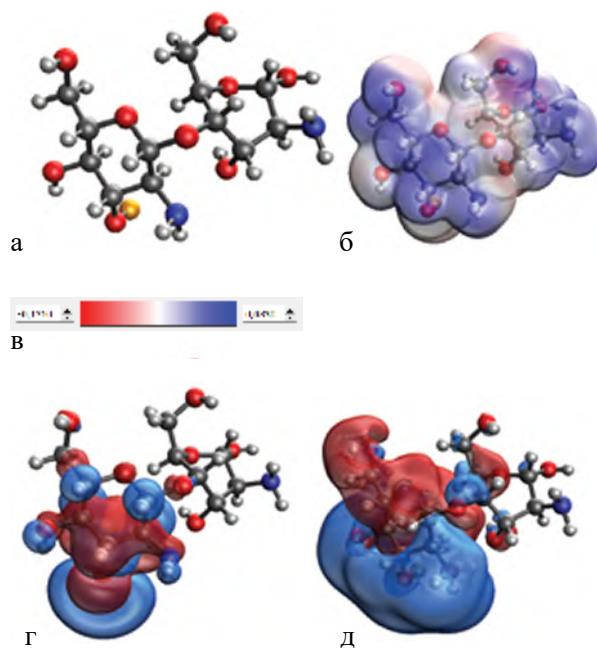
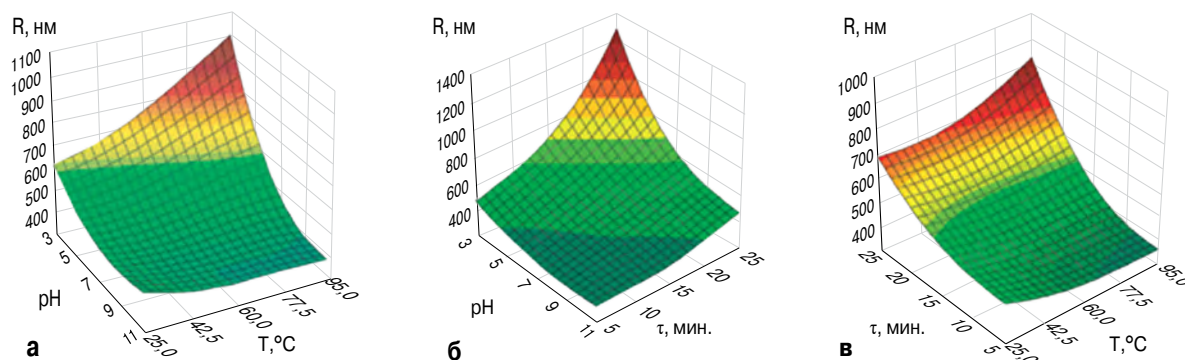


Рис. 3. Поверхности отклика зависимостей среднего гидродинамического радиуса наночастиц селена от технологических параметров: а — pH и температура; б — pH и время экспозиции; в — температура и время экспозиции

Fig. 3. Response surfaces of the dependences of the average hydrodynamic radius of selenium nanoparticles on technological parameters: а — pH and temperature; б — pH and exposure time; с — temperature and exposure time



Анализ полученных данных показал, что технологические параметры оказывают значимое влияние на средний гидродинамический радиус наночастиц селена. Повышение времени экспозиции приводит к увеличению среднего гидродинамического радиуса наночастиц селена, стабилизированных хитозаном.

В случае pH, наблюдается обратная зависимость: частицы с наибольшим средним гидродинамическим радиусом находятся в образцах, имеющих кислую среду ($\text{pH} < 5$). Зависимость среднего гидродинамического радиуса наночастиц селена, стабилизированных хитозаном, от температуры среды имеет нелинейный вид, наименьший радиус наблюдается при температуре от 70 до 90 °C.

Таким образом, наночастицы селена, стабилизированные хитозаном, можно использовать в качестве источника селена для продуктов питания, которые имеют нейтральный pH, однако могут подвергаться тепловой обработке при температуре свыше 70 °C в течение 5 – 15 минут.

На следующем этапе проводили обогащение пастеризованного молока наночастицами селена, стабилизированными хитозаном.

У образцов исследовали титруемую кислотность, pH, поверхностное натяжение, антиоксидантную активность и средний гидродинамический радиус (R).

В качестве контроля рассматривали необогащенное молоко. Полученные данные представлены в таблице 4.

Установлено, что полученные значения титруемой кислотности образцов молока находятся в допустимом диапазоне согласно ГОСТ 32922⁸.

Таблица 4. Результаты исследования пастеризованного молока, обогащенного наночастицами селена

Table 4. Results of a study of pasteurized milk enriched with selenium nanoparticles

Образец	Титруемая кислотность, °Т	Поверхностное натяжение, Н/м	pH	Антиоксидантная активность, %	R , нм
Контроль	20	0,052	6,53	6,50	32
Обогащенное молоко	18	0,057	6,73	7,38	28

⁸ ГОСТ 32922-2014 Молоко коровье пастеризованное — сырье. Технические условия.

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.

Установлено, что после обогащения значительных изменений титруемой кислотности, поверхностного натяжения и pH молока, а также среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина в образцах молока не наблюдается. Значение антиоксидантной активности увеличивается на 0,88 % с 6,50 до 7,38 %.

Таким образом, наночастицы селена можно использовать для обогащения пастеризованного молока.

Выводы/Conclusions

В рамках данной работы разработан молочный продукт, обогащенный наночастицами селена, стабилизированными хитозаном.

Установлено, что образец наночастиц селена, стабилизированный хитозаном, имеет мономодальное распределение по размерам со средним гидродинамическим радиусом частиц 25 нм.

Квантово-химическое моделирование наночастиц селена, стабилизированный хитозаном, позволило установить, что наиболее энергетически выгодным является взаимодействие поверхности наночастиц селена с гидроксогруппой, присоединенной к C_3 остатка глюкозамина хитозана.

В рамках исследования влияния технологических параметров на стабильность наночастиц селена, стабилизированный хитозаном, установлено, что наночастицы селена, стабилизированные хитозаном, можно использовать в качестве источника селена для продуктов питания, которые имеют нейтральный pH, однако могут подвергаться тепловой обработке при температуре свыше 70 °C в течение 5 – 15 минут, в частности пастеризованное молоко.

Исследование пастеризованного молока, обогащенного наночастицами селена, стабилизированными хитозаном, показало, что значительных изменений титруемой кислотности, поверхностного натяжения и pH молока, а также среднего гидродинамического радиуса мицелл казеина после обогащения молока не наблюдается. Значение антиоксидантной активности увеличивает на 0,88 % с 6,50 до 7,38 %.

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/project/23-16-00120/>

FUNDING

The study was supported by the grant of the Science Foundation No. 23-16-00120. <https://rscf.ru/project/23-16-00120/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 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>
- Au A., Mojadadi A., Shao J.-Y., Ahmad G., Witting P.K. Physiological Benefits of Novel Selenium Delivery via Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(7): 6068. <https://doi.org/10.3390/ijms24076068>
- Воробьев В.И., Воробьев Д.В., Щербакоев Е.Н. Влияние Se, Co и J на продуктивность симментальских коров в биогеохимических условиях региона Нижней Волги. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2013; (2): 93–94. <https://www.elibrary.ru/qaqtwl>
- Zhang J., Saad R., Taylor E.W., Rayman M.P. Selenium and selenoproteins in viral infection with potential relevance to COVID-19. *Redox Biology*. 2020; 37: 101715. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101715>
- Некрасов В.И., Скальный А.В., Дубовой Р.М. Роль микроэлементов в повышении функциональных резервов организма человека. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2006; (1): 111–113. <https://www.elibrary.ru/kwznlx>
- Kuria A. *et al.* Does dietary intake of selenium protect against cancer? A systematic review and meta-analysis of population-based prospective studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(4): 684–694. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1548427>
- Kuria A. *et al.* Selenium status in the body and cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021; 61(21): 3616–3625. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1803200>
- Hu W., Zhao C., Hu H., Yin S. Food Sources of Selenium and Its Relationship with Chronic Diseases. *Nutrients*. 2021; 13(5): 1739. <https://doi.org/10.3390/nu13051739>
- Zhou J., Huang K., Lei X.G. Selenium and diabetes — Evidence from animal studies. *Free Radical Biology and Medicine*. 2013; 65: 1548–1556. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.012>
- Huang Y.-C., Combs G.F., Wu T.-L., Zeng H., Cheng W.-H. Selenium status and type 2 diabetes risk. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2022; 730: 109400. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2022.109400>
- Steinbrenner H., Duntas L.H., Rayman M.P. The role of selenium in type 2 diabetes mellitus and its metabolic comorbidities. *Redox Biology*. 2022; 50: 102236. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102236>
- Воробьев В.И., Воробьев Д.В., Полковниченко А.П., Щербакоев Е.Н., Захаркина Н.И. Содержание микроэлементов (Co, Ni, Cu, Se, Mo и Mn) в почвах, растениях и кормах рационов сельскохозяйственных в Астраханской области. *Естественные науки*. 2010; (1): 7–12. <https://www.elibrary.ru/muznld>
- Egorova E.A., Gmoshinsky I.V., Zorin S.I., Mazo V.K. Изучение биодоступности различных пищевых форм микроэлемента селена в эксперименте. *Вопросы питания*. 2006; 75(3): 45–49. <https://www.elibrary.ru/htowvl>
- Garza-Garcia J.J.O. *et al.* The Role of Selenium Nanoparticles in Agriculture and Food Technology. *Biological Trace Element Research*. 2022; 200(5): 2528–2548. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02847-3>
- Chen N. *et al.* Selenium nanoparticles: Enhanced nutrition and beyond. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(33): 12360–12371. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2101093>
- Храмцов А.Г. и др. Обогащение молочных продуктов биологически активными формами селена. *Молочная промышленность*. 2023; (6): 49–51. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-6-13>
- 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>
- Das J.K. *et al.* Food fortification with multiple micronutrients: impact on health outcomes in general population. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2019; (12): CD011400. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011400.pub2>
- Блинов А.В., Рехман З.А., Гвозденко А.А., Голик А.Б., Нагдалян А.А., Ребезов М.Б. Молочный продукт, обогащенный тройным марганецсодержащим комплексом. *Аграрная наука*. 2024; (5): 117–123. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-117-123>
- Блинов А.В., Рехман З.А., Голик А.Б., Гвозденко А.А., Нагдалян А.А., Ребезов М.Б. Инновационная форма эссенциального микроэлемента меди для обогащения молочной продукции. *Аграрная наука*. 2024; (4): 153–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159>
- Наумова Н.Л., Ребезов М.Б. Микроэлементный статус челябинцев как обоснование развития производства обогащенных продуктов питания. *Фундаментальные исследования*. 2012; (4–1): 196–200. <https://elibrary.ru/pazfxv>
- Abilmazhinov Y., Rebezov M., Fedoseeva N., Nikolaeva N., Sepiashvili E. Enhancing Nutritional Value and Safety in Horse Meat Cutlets with Pumpkin Additives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023; 1242(1): 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1242/1/012023>
- Piskov S. *et al.* Effects of Various Drying Methods on Some Physico-Chemical Properties and the Antioxidant Profile and ACE Inhibition Activity of Oyster Mushrooms (*Pleurotus Ostreatus*). *Foods*. 2020; 9(2): 160. <https://doi.org/10.3390/foods9020160>

REFERENCES

- 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>
- Au A., Mojadadi A., Shao J.-Y., Ahmad G., Witting P.K. Physiological Benefits of Novel Selenium Delivery via Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(7): 6068. <https://doi.org/10.3390/ijms24076068>
- Vorobyov V.I., Vorobyov D.V., Shcherbakova Ye.N. Effect of Se, Co, and J on simmental cows performance under biogeochemical conditions of Nizhe Povolzhya. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2013; (2): 93–94 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qaqtwl>
- Zhang J., Saad R., Taylor E.W., Rayman M.P. Selenium and selenoproteins in viral infection with potential relevance to COVID-19. *Redox Biology*. 2020; 37: 101715. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101715>
- Nekrasov V.I., Skalny A.V., Dubovoy R.M. The role of microelements in increasing the functional reserves of the human body. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2006; (1): 111–113 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kwznlx>
- Kuria A. *et al.* Does dietary intake of selenium protect against cancer? A systematic review and meta-analysis of population-based prospective studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(4): 684–694. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1548427>
- Kuria A. *et al.* Selenium status in the body and cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021; 61(21): 3616–3625. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1803200>
- Hu W., Zhao C., Hu H., Yin S. Food Sources of Selenium and Its Relationship with Chronic Diseases. *Nutrients*. 2021; 13(5): 1739. <https://doi.org/10.3390/nu13051739>
- Zhou J., Huang K., Lei X.G. Selenium and diabetes — Evidence from animal studies. *Free Radical Biology and Medicine*. 2013; 65: 1548–1556. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.012>
- Huang Y.-C., Combs G.F., Wu T.-L., Zeng H., Cheng W.-H. Selenium status and type 2 diabetes risk. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2022; 730: 109400. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2022.109400>
- Steinbrenner H., Duntas L.H., Rayman M.P. The role of selenium in type 2 diabetes mellitus and its metabolic comorbidities. *Redox Biology*. 2022; 50: 102236. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102236>
- Vorobyov V.I., Vorobyov D.V., Polkovnichenko A.P., Shcherbakova E.N., Zakharkina N.I. The maintenance of microcells (Co, Ni, Cu, Se, Mo and Mn) in soils, plants and forages of diets of agricultural animals in the Astrakhan region. *Natural Sciences*. 2010; (1): 7–12 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/muznld>
- Egorova E.A., Gmoshinsky I.V., Zorin S.I., Mazo V.K. Studies of bioavailability of different food sources of selenium in experiment. *Problems of nutrition*. 2006; 75(3): 45–49 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/htowvl>
- Garza-Garcia J.J.O. *et al.* The Role of Selenium Nanoparticles in Agriculture and Food Technology. *Biological Trace Element Research*. 2022; 200(5): 2528–2548. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02847-3>
- Chen N. *et al.* Selenium nanoparticles: Enhanced nutrition and beyond. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(33): 12360–12371. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2101093>
- Khramtsov A.G. *et al.* Dairy products fortified with biologically active selenium. *Dairy industry*. 2023; (6): 49–51 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-6-13>
- 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>
- Das J.K. *et al.* Food fortification with multiple micronutrients: impact on health outcomes in general population. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2019; (12): CD011400. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011400.pub2>
- Blinov A.V., Rekhman Z.A., Gvozdenko A.A., Golik A.B., Nagdalyan A.A., Rebezov M.B. Dairy product enriched with triple manganese complex. *Agrarian science*. 2024; (5): 117–123 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-117-123>
- Blinov A.V., Rekhman Z.A., Golik A.B., Gvozdenko A.A., Nagdalyan A.A., Rebezov M.B. An innovative form of the essential trace element copper for fortification of dairy products. *Agrarian science*. 2024; (4): 153–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159>
- Naumova N.L., Rebezov M.B. Microelement status of the population of Chelyabinsk as basis of production fortified foods. *Fundamental research*. 2012; (4–1): 196–200 (in Russian). <https://elibrary.ru/pazfxv>
- Abilmazhinov Y., Rebezov M., Fedoseeva N., Nikolaeva N., Sepiashvili E. Enhancing Nutritional Value and Safety in Horse Meat Cutlets with Pumpkin Additives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023; 1242(1): 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1242/1/012023>
- Piskov S. *et al.* Effects of Various Drying Methods on Some Physico-Chemical Properties and the Antioxidant Profile and ACE Inhibition Activity of Oyster Mushrooms (*Pleurotus Ostreatus*). *Foods*. 2020; 9(2): 160. <https://doi.org/10.3390/foods9020160>

ОБ АВТОРАХ

Андрей Владимирович Блинов¹

кандидат технических наук, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Алексей Алексеевич Гвозденко¹

ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
gvozdenko.1999a@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7763-5520>

Анастасия Александровна Блинова¹

кандидат технических наук, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
nastya_bogdanova_88@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9321-550X>

Зафар Абдулович Рехман¹

ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Андрей Ашотович Нагдальян¹

кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии
geniando@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6782-2821>

Павел Сергеевич Леонтьев¹

студент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
arb.acc@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6532-5816>

Алина Салмановна Аскерова¹

студент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
vikalinka04@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9852-3055>

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 Physics and Technology of Nanostructures and Materials
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Alexey Alekseevich Gvozdenko¹

Assistant at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
gvozdenko.1999a@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7763-5520>

Anastasia Alexandrovna Blinova¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
nastya_bogdanova_88@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9321-550X>

Zafar Abdulovich Rehman¹

Assistant at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Andrey Ashotovich Nagdalian¹

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology
geniando@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6782-2821>

Pavel Sergeevich Leontiev¹

Student at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
arb.acc@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6532-5816>

Alina Salmanovna Askerova¹

Student at the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
vikalinka04@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9852-3055>

Maksim 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

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

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



**Подпишитесь на Telegram канал
ИД «Аграрная наука»**



Ежедневно вы будете получать свежие новости АПК и сельского хозяйства, анонсы отраслевых событий, знакомиться с результатами научных исследований, репортажами и интервью.



**Оформите подписку на информационные
e-mail рассылки**



Дважды в неделю на ваш e-mail ящик будут приходить уведомления о топовых событиях АПК, аналитика, прогнозы, приглашения на выставки и конференции.

**Через наши рассылки вы можете познакомиться
со своими товарами и услугами
потенциальных клиентов.**

**Связаться с редакцией:
Тел. +7 (495) 777 67 67
(доб. 1453)
agrovetpress@inbox.ru**