

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-157-163>

Поступила 05.06.2022

Поступила после рецензирования 15.06.2022

Принята в печать 20.06.2022

© Купаева Н. В., Ильина М. А., Светличная М. В., Зубарев Ю. Н., 2022

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

# ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОВСЯНЫХ НАПИТКОВ, ОБОГАЩЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Купаева Н. В.\*<sup>1</sup>, Ильина М. А.<sup>2</sup>, Светличная М. В.<sup>3</sup>, Зубарев Ю. Н.<sup>1</sup><sup>1</sup> Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия<sup>3</sup> Российский Химико-Технологический Университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

растительные антиоксиданты, функциональное питание, антирадикальная активность, общая антиоксидантная емкость, крахмалосодержащие продукты, DPPH

## АННОТАЦИЯ

Окислительный стресс, которому подвержены многие современные люди, способствует развитию нейродегенеративных, сердечно-сосудистых, воспалительных, онкологических и других социально значимых заболеваний. Для регулирования действия свободных радикалов и активных форм кислорода в организме существует антиоксидантная система, состоящая из эндогенных и экзогенных антиоксидантов. Основным источником последних является пища, и это обуславливает увеличение спроса на функциональные продукты питания. Особенно активно развивается рынок функциональных напитков, сделанных на основе чаев, зерновых продуктов, фруктовых и овощных соков. Высокой питательной ценностью отличаются напитки на основе овсяных хлопьев с добавлением растительных компонентов, являясь богатым источником пищевых волокон, витаминов, минералов и антиоксидантов. В ходе исследования был разработан функциональный напиток на основе овсяных хлопьев, обогащенный бананами, ягодами черники и порошком плодов бузины черной (*Sambucus nigra*), известной большим содержанием антоцианов. Антиоксидантный потенциал опытного продукта оценивали путем измерения общей антиоксидантной емкости (ОАЕ) методом FRAP и определения антирадикальной активности (АРА) методом DPPH. Значения ОАЕ водного и метанольного экстрактов составили  $807,3 \pm 18,0$  мкмоль-экв. кверцетина/л и  $948,7 \pm 47,9$  мкмоль-экв. кверцетина/л соответственно, что существенно превысило аналогичные значения контрольного образца — в 2,44 раза и в 1,69 раз соответственно. АРА метанольного экстракта опытного напитка была  $86,49 \pm 2,01\%$ , что больше АРА контроля в 1,9 раз. Было определено, что при приготовлении функциональных напитков на основе овсяных хлопьев с добавлением плодов бузины теряется примерно 10% жирорастворимых антиоксидантов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019–0008 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность к. т. н. Дыдыкину Андрею Сергеевичу (Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова) за научное руководство в разработке рецептуры и технологии производства напитка.

Received 05.06.2022

Accepted in revised 15.06.2022

Accepted for publication 20.06.2022

© Купаева Н. В., Илина М. А., Svetlichnaya M. V., Zubarev Yu. N., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

# STUDY OF THE ANTIOXIDANT POTENTIAL OF OAT DRINKS ENRICHED WITH PLANT COMPONENTS

Nadezhda V. Kupaeva\*<sup>1</sup>, Maria A. Ilina<sup>2</sup>, Mariya V. Svetlichnaya<sup>3</sup>, Yuri N. Zubarev<sup>1</sup><sup>1</sup> V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia<sup>2</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia<sup>3</sup> Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

## KEY WORDS:

plant antioxidants, functional nutrition, antiradical activity, total antioxidant capacity, starchy foods, DPPH

## ABSTRACT

Oxidative stress, to which many modern people are subjected, promotes the development of neurodegenerative, cardiovascular, inflammatory, oncological and other socially important diseases. The antioxidant system consisting in the endogenous and exogenous antioxidants exists in the body to regulate the action of free radicals and reactive oxygen species. The main source of exogenous antioxidants is food and this conditions an increase in the demand for functional foods. The market of functional drinks based on teas, cereal products, fruit and vegetable juices is developing especially actively. Drinks based on oat flakes with addition of plant components are distinguished by the high nutrition value being a rich source of dietary fibers, vitamins, minerals and antioxidants. During the experiment, a functional drink based on oat flakes and enriched with bananas, blueberry berries and a powder of elder (*Sambucus nigra* L.) berries recognized for the high content of anthocyanins was developed. The antioxidant potential of the experimental product was assessed by measuring the total antioxidant capacity (TAC)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Купаева, Н. В., Ильина, М. А., Светличная, М. В., Зубарев, Ю. Н. (2022). Исследование антиоксидантного потенциала овсяных напитков, обогащенных растительными компонентами. *Пищевые системы*, 5(2), 157–163. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-157-163>

FOR CITATION: Kupaeva, N. V., Ilina, M. A., Svetlichnaya, M. V., Zubarev, Yu. N. (2022). Study of the antioxidant potential of oat drinks enriched with plant components. *Food Systems*, 5(2), 157–163. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-157-163>

by the FRAP method and determining the antiradical activity (ARA) by the DPPH method. The TAC values for the aqueous and methanol extracts were  $807.3 \pm 18.0$   $\mu\text{mol}$  quercetin equivalents /L and  $948.7 \pm 47.9$   $\mu\text{mol}$  quercetin equivalents/L, respectively, which significantly exceeded the similar values in the control sample (by 2.44 and 1.69 times, respectively). The ARA of the methanol extract of the experimental drink was  $86.49 \pm 2.01\%$ , which was 1.9 times higher than the ARA of the control sample. It was established that about 10% of fat-soluble antioxidants are lost upon preparation of oat-based functional drinks with addition of elder berries.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019-0001 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors are grateful to candidate of technical sciences Andrei S. Dydykin (V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems) for scientific guidance in the development of the recipe and production technology of the drink.

## 1. Введение

Человеческий организм получает энергию путем окисления углеводов, жиров и белков посредством протекания метаболических процессов, в ходе которых образуются и такие реактивные частицы, как свободные радикалы (СР), активные формы кислорода (АФК) и активные формы азота (АФА) [1,2]. Научные исследования свидетельствуют о том, что СР и АФК играют значительную роль в регуляции основных функций клеток, как в обычных условиях, так и при воздействии на них различных патогенных факторов [3]. В зависимости от силы воздействующего на клетки патогенного фактора, реактивные частицы могут выступать либо индукторами процессов адаптации, либо индукторами апоптоза.

Для регулирования действия СР и АФК в организме существует антиоксидантная система, состоящая из экзогенных и эндогенных ферментативных и неферментативных антиоксидантов (АО), которые отвечают за нейтрализацию лишних реактивных частиц. Баланс между СР и АО является важным фактором для надлежащего физиологического функционирования, и в случае избытка свободных радикалов в организме возникает окислительный стресс, который способствует развитию различных социально значимых заболеваний [4,5].

Эндогенные АО вырабатываются в организме, тогда как основным источником экзогенных антиоксидантов являются продукты питания, а также биологически активные добавки (БАД) природного и синтетического происхождения [6]. Несмотря на большое количество и дешевизну синтетических АО, их наилучшим источником остается растительное сырье, которое может содержать от десятков до сотен тысяч различных антиоксидантов: флавоноидов, фенольных кислот, полифенолов, витаминов, каротиноидов, дубильных веществ и многих других соединений [7,8], которые характеризуются наилучшей усвояемостью. Растения могут служить в качестве индивидуальных продуктов питания или же, как пищевые компоненты. В последнее время увеличивается спрос на продукты функционального питания — особую группу продуктов, которая используется для улучшения функционирования систем организма и повышения здоровья человека. Данные продукты не являются лекарственными препаратами и занимают промежуточное место между обычными продуктами, изготовленными по традиционной технологии, и лечебными. Функциональные продукты питания могут быть обогащены витаминами, каротиноидами, пищевыми волокнами, микроэлементами, липотропами и др. [9]. Особенно активно развивается рынок функциональных напитков, так как они считаются наиболее удобным объектом для внедрения ингредиентов, обладающих биологическими свойствами, без принципиальных изменений технологического процесса [10,11]. Наиболее популярными являются напитки, сделанные на основе чаев, фруктовых и овощных соков, что обусловлено большим содержанием в них биологически активных фитохимических веществ, таких как флавоноиды [11,12].

В качестве основы для функциональных напитков используют не только соки и чаи, но и различные зерновые продукты, повышающие энергетическую ценность напитка и расширяющие диапазон его функциональных свойств. Высокой питательной ценностью отличаются напитки на основе овсяных хлопьев, которые являются важным источником пищевых волокон, витаминов группы В, а также таких минеральных веществ, как магний, марганец, селен, фосфор, цинк. [13]. Кроме того, овсяные хлопья известны как ценный источник бета-глюканов — водорастворимых полисахаридов, которые обладают свойством набухать в процессе переработки и замедлять адсорбцию пищевых веществ, тем самым продлевая чувство насыщения, предотвращая скачки глюкозы в крови. Бета-глюканы способствуют уменьшению усвоения холестерина, получаемого из пищи, и снижают его уровень в крови. В толстом кишечнике бета-глюканы метаболизируются микробиотой с образованием короткоцепочечных жирных кислот и других важных метаболитов [14]. Из-за большого количества бета-глюканов отвары овсяных хлопьев характеризуются тягучей консистенцией, по текстуре напоминая привычный кисель на основе крахмала. Поэтому бета-глюканы применяются в производстве киселей, смузи, коктейлей и других продуктов. Обогащение таких изделий растительными экстрактами, сублимированными ягодами, орехами, сухофруктами и т. д. дополняет разрабатываемые товары веществами, которые обладают антиоксидантными свойствами, тем самым, обеспечивая поступление в организм экзогенных АО и необходимых фитохимических соединений.

Большое количество научных исследований доказали перспективность и необходимость использования растительного сырья в качестве источника природных АО. Известно, что все части бузины черной (*Sambucus nigra*) богаты такими пищевыми фитохимическими веществами, как фенолы, полифенолы, флавоноиды, алкалоиды, антоцианы и другие [15]. Бузина черная (*Sambucus nigra*) — листопадный кустарник, широко распространенный в зоне умеренного климата в Азии, Европе, Закавказье, Белоруссии. В России бузина черная произрастает на юге европейской части, а также хорошо зимует и плодоносит в условиях средней полосы. Плоды бузины являются черно-фиолетовыми темными костянками размером 3–5 мм, собранными в крупные кисти, и созревающие в августе-сентябре. Сравнительный анализ содержания антиоксидантов и антиоксидантной активности различных частей растений бузины показал, что наиболее перспективными источниками биологически активных веществ (БАВ) с антиоксидантными свойствами являются плоды и листья бузины черной [16]. Известно, что ягоды бузины характеризуются высоким содержанием биологически активных веществ, преимущественно антоцианов — окрашенных соединений, относящихся к классу флавоноидов. Также плоды отличаются низким содержанием сахаров, относительно высоким содержанием органических кислот [17] и значительным количеством флавонолов и фенольных

кислот, среди которых преобладают кверцетин и кемпферол [18]. Исследования компонентного состава бузины продемонстрировали высокое содержание антоцианов в плодах растения, большая часть которых является производными цианидина, например, цианидин-3-глюкозид (С3G) и цианидин-3-самбубиозид (С3S). Разнообразие компонентного состава антоцианов бузины обусловлено присутствием ацилированных антоцианов [19], что делает данное растение перспективным источником АО.

В настоящее время ягоды бузины черной употребляют в пищу в свежем и обработанном виде. Из них готовят напитки, варенье, джемы, а их яркий окрас позволяет использовать эти ягоды для производства пищевого красителя [20]. Разнообразный состав и высокое содержание антиоксидантов обуславливают коммерческий потенциал *Sambucus nigra* в производстве функциональных продуктов питания. Из-за широкого спектра различных биологически активных веществ, которыми обогащаются продукты антиоксидантного действия, появляется необходимость применения нескольких аналитических методов для определения антиоксидантного потенциала (АОП) разработанных продуктов и изучения вклада в этот потенциал добавляемых ингредиентов. Важными показателями при оценке АОП являются общая антиоксидантная емкость (ОАЕ), описывающая общее количество СР, которые связывают АО образца, и антирадикальная активность (АРА), характеризующая способность исследуемого образца нейтрализовать СР [21]. Таким образом, целью данной работы являлось определение вклада ягод бузины черной в антиоксидантный потенциал разработанного овсяного напитка и установление целесообразности добавления *Sambucus nigra* в исследуемый продукт.

## 2. Объекты и методы

Для исследования были отобраны плоды бузины черной, выращенные в Московской области в сезон 2021 года. Плоды были высушены в бытовой сушильной камере «Белочка» (Россия) при температуре  $45 \pm 5^\circ\text{C}$  в течение 24 ч. Потеря массы плодов при высушивании составила 83%. Полученные сушеные плоды хранили при комнатной температуре в стеклянной таре с плотно закрытой крышкой без попадания прямых солнечных лучей. Помимо порошка бузины, в состав напитка были включены сушеные бананы и сушеные ягоды черники (*Vaccinium myrtillus*), которые были высушены в бытовой сушилке «Белочка» (Россия) при температуре  $45 \pm 5^\circ\text{C}$ . Время сушки бананов составило 10 ч, а черники — 24 ч.

С учетом сведений о биологической активности плодов бузины из литературных источников [17], а также исходя из актуальных рекомендаций по здоровому питанию [22,23] была разработана рецептура напитков на основе овсяных хлопьев и с добавлением порошка бузины черной. Состав сухой смеси для приготовления 1 л (5 порций) напитка включал 50 г хлопьев овсяных быстрого приготовления «Геркулес», 12 г порошка сушеных плодов бузины черной *Sambucus nigra*, 12 г сушеного банана, 8 г сахарного песка «Русский сахар» и 6 г порошка сушеных плодов черники.

Для приготовления разработанного напитка на роторной мельнице (ЛЗМ-1М, Россия) измельчали овсяные хлопья до размера частиц 1–1,5 мм, сушеные плоды бузины — до среднего размера частиц 0,5 мм и просеивали через сито для отделения остатков косточек и плодоножек. Сушеные бананы и плоды черники измельчали до среднего размера частиц 0,5 мм. Навески всех ингредиентов загружали в смеситель (СЛ-6, Россия) для получения однородной смеси, затем полученную смесь переносили в гомогенизатор (Romaco MaxxD700 Lab, Германия), добавляли кипящую воду и проводили гомогенизацию до достижения однородной

консистенции при поддержании постоянной температуры не менее  $75^\circ\text{C}$ . Контрольный образец был приготовлен согласно приведенной рецептуре без добавления порошка плодов бузины. Полученные напитки расфасовывали в пастеризованные стеклянные тары, закрывали герметичной крышкой и хранили в холодильнике при температуре  $6^\circ\text{C}$ .

Для определения вклада бузины в АОП разработанного овсяного напитка и установления целесообразности добавления *Sambucus nigra* в исследуемый продукт были определены общая антиоксидантная емкость методом FRAP и антирадикальная активность методом DPPH порошка бузины черной (1 образец) и овсяных напитков с добавлением (2 образец) и без добавления бузины (3 образец).

Для приготовления водного экстракта порошка бузины (образец 1) навеску смешивали с дистиллированной водой (при ее температуре  $85^\circ\text{C}$ ) в соотношении 12:1000, что соответствовало рецептуре готового продукта. Полученную смесь настаивали в течение 15 мин и фильтровали через фильтровальную бумагу для количественных анализов с массовой долей золы до 0,03% (ФБ-III, ГОСТ 12026–76). Водные экстракты продуктов (образцы 2 и 3) получали путем смешения навески с дистиллированной водой (при ее температуре  $85^\circ\text{C}$ ) в соотношении 1:1. Полученную смесь настаивали в течение 15 мин и центрифугировали в центрифуге 5427R (Eppendorf AG, Germany) при 10000 g и температуре  $15^\circ\text{C}$  в течение 10 мин. Полученные водные экстракты хранили при температуре минус  $18^\circ\text{C}$ .

Для получения спиртового экстракта образца 1, навеску порошка бузины смешивали с концентрированным метанолом в соотношении 12:1000, что соответствовало рецептуре готового продукта, и настаивали в течение 2 ч с последующим фильтрованием экстракта с использованием бумажного складчатого фильтра. Спиртовые экстракты образцов 2 и 3 получали путем смешивания навесок образцов с концентрированным метанолом в соотношении 1:1. Полученные смеси настаивали в течение 19 ч при температуре  $4^\circ\text{C}$  с последующим фильтрованием через бумажный складчатый фильтр. Спиртовые экстракты хранили при температуре  $4^\circ\text{C}$ .

Общую антиоксидантную емкость всех образцов определяли методом FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ «Спектр», Россия) в соответствии с методикой [24]. Для приготовления реактива FRAP смешивали 0,3 М ацетатный буфер (pH 3,6), 10 мМ раствор фотометрического реагента TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine) (Sigma-aldrich, Switzerland), растворяя его в 40 мМ соляной кислоте (PanReac AppliChem, Spain), и 20 мМ водный раствор хлорида железа (III) (PanReac AppliChem, Spain) в соотношениях 10:1:1 соответственно. Для измерения ОАЕ экстрактов в стеклянную пробирку вносили 1,45 мл свежеприготовленного реактива FRAP и 50 мкл образца или дистиллированной воды для измерения контрольной пробы. Реакционную смесь инкубировали в течение 30 мин при температуре  $37^\circ\text{C}$  в темноте, затем регистрировали оптическую плотность при длине волны 594 нм в кварцевых спектрофотометрических кюветках с длиной оптического пути 10 мм. ОАЕ образцов считали по градуировочному графику ( $R^2=0,9988$ ), для построения которого использовали кверцетин (Sigma-aldrich, India) в диапазоне концентраций 1 мкМ — 250 мкМ. Полученные данные выражали в мкмоль-экв. кверцетина/л экстракта порошка бузины или готового напитка.

Антирадикальную активность образцов определяли в метанольных экстрактах, что обусловлено ограничениями метода DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Исследования проводили на спектрофотометре СФ-2000 в соответствии с методикой [25]. Для проведения анализа к 1,45 мл 75 мкМ метанольному раствору DPPH (ChemCruz, Santa Cruz

Biotechnology, USA) добавляли 50 мкл экстракта или метанола в качестве контрольной пробы. Реакционную смесь инкубировали в темноте в течение 30 мин при температуре  $22 \pm 2$  °C. Затем регистрировали оптическую плотность при длине волны 517 нм, используя в качестве холостой пробы метанол. Антирадикальную активность рассчитывали по формуле 1 и выражали в процентах активности улавливания радикалов DPPH (The DPPH radical scavenging activity (RSA%)).

$$RSA_{DPPH} (\%) = \frac{D_k - D_o}{D_k} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $D_k$  — оптическая плотность контрольной пробы;  
 $D_o$  — оптическая плотность образца.

Все измерения проводили не менее 4 повторов и выражали как среднее значение и стандартное отклонение ( $m \pm SD$ ).

### 3. Результаты и обсуждение

Полученные значения ОАЕ и АРА экстрактов порошка бузины черной и разработанных напитков с добавлением и без добавления порошка бузины представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Значения ОАЕ и АРА экстрактов бузины и разработанных напитков

Table 1. TAC and APA values of the elder extracts and developed drinks

№ образца	Наименование образца	ОАЕ, мкмоль-экв. кверцетина / л		RSA <sub>DPPH</sub> %
		Водный	Метанольный	
1	Порошок плодов бузины черной	490,4 ± 5,7	421,7 ± 25,6	32,66 ± 0,6
2	Овсяной напиток с порошком бузины	807,3 ± 18,0	948,7 ± 47,9	86,49 ± 2,01
3	Овсяной напиток без порошка бузины	330,7 ± 4,2	560,9 ± 24,0	45,44 ± 3,09

Было установлено, что общая антиоксидантная емкость водного экстракта порошка плодов бузины черной незначительно превышала ОАЕ метанольного экстракта в 1,16 раз, что может быть обусловлено высоким содержанием антоцианов [26], растворимость которых в воде лучше, чем в спиртах [27]. Полученные данные свидетельствуют о том, что порошок бузины вносит одинаковый вклад как в водный экстракт разработанного напитка, так и в метанольный. В случае разработанных напитков было определено, что ОАЕ метанольных экстрактов значительно превышали показатели аналогичных водных экстрактов. Емкости спиртовых экстрактов напитка с бузиной и без ее добавления превышали показатели водных в 1,18 раз и в 1,70 раз, соответственно. Поскольку ОАЕ

экстрактов порошка бузины не имели значительных отличий, можно сделать вывод, что различия показателей экстрактов напитков обусловлены наличием других растительных компонентов, богатых антиоксидантами, которые лучше растворяются в спирте, чем в воде. Так, порошок банана, составляющий 15,4% в опытном овсяном напитке (образец 2) и 18,2% в контрольном продукте (образец 3), характеризуется высоким содержанием флавоноидов [28], которые не растворимы в воде, а также катехином — водорастворимым сильным антиоксидантом и его производными. Содержащаяся в напитках черника также богата фенолами, флавоноидами и антоцианами [29], растворимость которых в различных растворителях может оказывать влияние на полученные значения ОАЕ.

Анализ полученных данных определения антирадикальной активности исследуемых образцов показал, что экстракт порошка бузины обладал наименьшим значением, что составило 32,66%. При сравнении полученного значения для плодов бузины с литературными источниками было обнаружено расхождение в показателях до 20% [30,31], что может объясняться биологическими различиями исследуемых образцов, а также отличными условиями проведения экстракции и условиями проведения анализа DPPH. Наибольшей АРА в отношении DPPH обладал опытный образец разработанного напитка (с добавлением порошка бузины), что существенно превышало аналогичные значения экстрактов порошка бузины и контрольного напитка в 2,65 раз и в 1,9 раз соответственно.

Полученные данные продемонстрировали, что показатели антиоксидантного потенциала опытного напитка (с добавлением порошка бузины) существенно превышали аналогичные значения для контрольного образца. Так, общие антиоксидантные емкости водного и метанольного экстрактов опытного продукта были больше ОАЕ контрольного напитка в 2,44 раза и в 1,69 раз соответственно. Антирадикальная активность продукта с бузиной также превышала значения АРА напитка без добавления порошка плодов в 1,9 раз. Стоит отметить, что показатели экстрактов порошка ягод бузины черной существенно уступали значениям как опытного, так и контрольного образца. Анализируя данные, был сделан вывод что добавление порошка плодов бузины черной в выбранном соотношении существенно увеличивает биологические свойства овсяного напитка, делая его более богатым и перспективным источником природных антиоксидантов.

Оценку потери антиоксидантных свойств бузины при приготовлении напитков оценивали путем сложения ранее измеренных показателей ОАЕ и АРА экстрактов порошка и контрольного образца и сравнения полученных значений со значениями опытного образца (Рисунок 1).

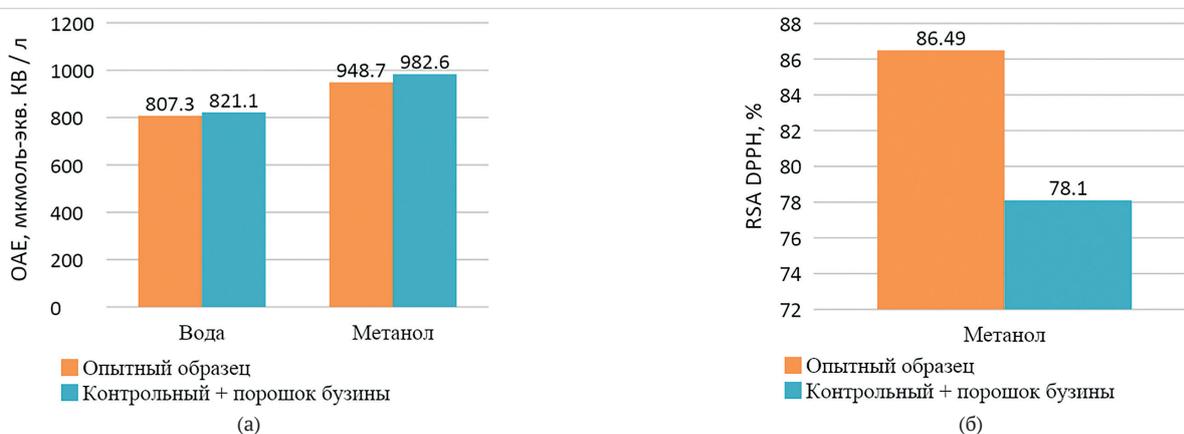


Рисунок 1. Оценка потери антиоксидантных свойств порошка бузины черной при приготовлении разработанного овсяного напитка: а — общая антиоксидантная емкость; б — антирадикальная активность

Figure 1. Assessment of losses of the antioxidant properties of the elder powder upon preparation of the developed oat-based drink: а — total antioxidant capacity; б — antiradical activity

Суммарная ОАЕ водных экстрактов порошка бузины и контрольного продукта составила 821,1 мкмоль-экв. кверцетина/л, а метанольных — 982,6 мкмоль-экв. кверцетина/л, что незначительно превышало аналогичные показатели экстрактов опытного напитка и входило в диапазон погрешности метода. На Рисунке 1(а) наглядно видно, что при приготовлении разработанного овсяного напитка плоды бузины черной не теряют ОАЕ, определенную методом FRAP, и сохраняют хелатирующую активность. Суммарная АРА метанольных экстрактов порошка бузины и контрольного продукта, выраженная в  $RSA_{DRPH}$  %, и представленная на Рисунке 1(б), составила 78,1%, что уступало значению АРА опытного напитка на 9,7%. Полученные результаты позволяют сделать предположение, что при приготовлении разработанного напитка с добавлением порошка плодов бузины теряется примерно 10% жирорастворимых антиоксидантов, действующих по механизму НАТ (hydrogen atom transfer), в то время как АО, действующие по механизму SET (single electron transfer), полностью сохраняются, о чем свидетельствует отсутствие разницы между суммарными ОАЕ порошка и контрольного образца со значениями ОАЕ опытного напитка. Однако для установления более точных потерь растительных антиоксидантов необходимо исследовать вклад в антиоксидантный потенциал разработанных напитков каждого компонента, так как ягоды черники, бананы и сами овсяные хлопья содержат фитохимические вещества, в том числе антиоксидантного действия.

#### 4. Выводы

Был разработан функциональный овсяной напиток, обогащенный растительными компонентами, в том числе порошком плодов бузины черной (*Sambucus nigra*). Исследование антиоксидантного потенциала экстрактов порошка ягод бузины, контрольного (без ягод бузины) и опытного (с ягодами бузины) образцов разработанного напитка включало определение общей антиоксидантной емкости методом FRAP и антирадикальной активности методом DRPH. Было установлено, что показатели опытного образца существенно превышали аналогичные значения контрольного образца, а именно ОАЕ водного и метанольного экстрактов, в 2,44 раза и в 1,69 раз, соответственно, а значения АРА метанольного экстракта были выше в 1,9 раз. При оценке потери антиоксидантных свойств плодов бузины при приготовлении напитков было установлено, что теряется примерно 10% жирорастворимых антиоксидантов, действующих по механизму НАТ, в то время как АО, действующие по механизму SET, полностью сохраняются. Было определено, что добавление порошка плодов бузины черной в выбранном соотношении в функциональные напитки на основе овсяных хлопьев существенно увеличивает биологические свойства продукта, делая его более богатым и перспективным источником природных антиоксидантов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Phaniendra, A., Jestadi, D.B., Periyasamy, L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 11–26. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>
- El-Bahr, S.M. (2013). Biochemistry of free radicals and oxidative stress. *Science International*, 1(5), 111–117. <https://doi.org/10.5567/sciintl.2013.111.117>
- Lushchak, V.I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. *Chemico-Biological Interactions*, 224, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.10.016>
- Баджиян, С.А. (2016). Влияние оксидативного стресса на организм человека. *Медицинская наука Армении*, 56(2), 12–20.
- Jomova, K., Valko, M. (2011). Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*, 283(2–3), 65–87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.03.001>
- Alkadi, H. (2020). A review on free radicals and antioxidants. *Infectious Disorders-Drug Targets*, 20(1), 16–26. <https://doi.org/10.2174/1871526518666180628124323>
- Sulaiman, M., Tijani, H.I., Abubakar, B.M., Haruna, S., Hindatu, Y., Mohammed, J. N. et al. (2013). An overview of natural plant antioxidants: analysis and evaluation. *Advances in Biochemistry*, 1(4), 64–72. <https://doi.org/10.11648/j.ab.20130104.12>
- Lourenço, S.C., Moldão-Martins, M., Alves, V.D. (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, 24(22), Article 4132. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
- Дыдыкин, А.С., Асланова, М.А. (2016). Функциональное питание — новая концепция здорового образа жизни. *Агротехника и технологии*, 55(3). Электронный ресурс: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/23406-funktionalnoe-pitanie/> Дата обращения 25.04.2022
- Пастушкова, Е.В., Тихонов, С.Л., Чугунова, О.В. (2017). Использование чайных напитков антиоксидантной направленности для предупреждения развития стрессовых реакций. *Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: пищевые и биотехнологии* 5(4), 93–103. <https://doi.org/10.14529/food170412>
- Pepe, G., Somella, E., Cianciarulo, D., Ostacolo, C., Manfra, M., Di Sarro, V., et al. (2018). Polyphenolic extract from tarocco (*Citrus sinensis* L. osbeck) clone “lemppo” exerts anti-inflammatory and antioxidant effects via NF- $\kappa$ B and Nrf-2 activation in murine macrophages. *Nutrients*, 10(12), Article 1961. <https://doi.org/10.3390/nu10121961>
- Чернуха, И. М. Котенкова, Е.А., Василевская, Е.Р., Иванкин, А.Н., Лисцын, А.Б., Федулова Л. В. (2020). Изучение биологических эффектов ягод годжи различного географического происхождения на крысах с моделью алиментарной гиперлипидемии. *Вопросы питания*, 89(1), 37–45. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10004>
- Скурихин, И. М., Тутельян, В. А. (2007). Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. Москва: ДеЛи принт, 2007.
- Jayachandran, M., Chen, J., Chung, S., Xu, B. (2018). A critical review on the impacts of  $\beta$ -glucans on gut microbiota and human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 61, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.06.010>
- Domínguez, R., Zhang, L., Rocchetti, G., Lucini, L., Pateiro, M., Munekata, P.E.S. et al. (2020). Elderberry (*Sambucus nigra* L.) as potential source of antioxidants. Characterization, optimization of extraction parameters and bioactive properties. *Food Chemistry*, 330, Article 127266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127266>
- Скрыпник, Л.Н., Курашова, А.А. (2019). Сравнительное исследование антиоксидантных свойств некоторых видов рода *Sambucus* L. *Химия растительного сырья*, 1, 127–137. <https://doi.org/32036258/lerito0223;236259>
- Młynarczyk, K., Walkowiak-Tomczak, D., Łysiak, G.P. (2018). Bioactive properties of *Sambucus nigra* L. as a functional ingredient for food and pharmaceutical industry. *Journal of Functional Foods*, 40, 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.025>
- Christensen, L.P., Kaack, K., Fretté, X.C. (2008). Selection of elderberry (*Sambucus nigra* L.) genotypes best suited for the preparation of elderflower extracts rich in flavonoids and phenolic acids. *European Food Research and Technology*, 227(1), 293–305. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0723-8>
- Sidor, A., Gramza-Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food — a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 941–958. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>
- Маланкина, Е.Л., Цицилин, А.Н. (2016). Лекарственные и эфирномасличные растения. Москва: ИНФРА-М, 2016.
- Vladimirov, G.K., Sergunova, E.V., Izmaylov, D. Yu., Vladimirov, Yu.A. (2016). Chemiluminescent determination of total antioxidant capacity in medicinal plant material. *Bulletin of Russian State Medical University*, 2, 62–68.
- Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Электронный ресурс: [https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=18979](https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979) Дата обращения 25.04.2022
- Приказ Министерства Здравоохранения № 614 от 16.08.2016 с изменениями от 1.12.2020 г. «Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания». Электронный ресурс: <https://base.garant.ru/71485784/> Дата обращения 07.03.2022
- Chernukha, I., Fedulova, L., Vasilevskaya, E., Kulikovskii, A., Kupaeva, N., Kotenkova, E. (2021). Antioxidant effect of ethanolic onion (*Allium cepa*) husk extract in ageing rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2877–2885. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.020>

25. Kennas, A., Amellal-Chibane, H., Kessal, F., Halladj, F. (2020). Effect of pomegranate peel and honey fortification on physicochemical, physical, microbiological and antioxidant properties of yoghurt powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(1), 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.07.001>
26. Ozgen, M., Scheerens, J.C., Reese, R.N., Miller, R.A. (2010). Total phenolic, anthocyanin contents and antioxidant capacity of selected elderberry (*Sambucus canadensis* L.) accessions. *Pharmacognosy Magazine*, 6(23), 198–203. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.66936>
27. Hatier, J.H.B., Gould, K.S. (2009). Anthocyanin function in vegetative organs. Chapter in a book: *Anthocyanins: biosynthesis, functions, and applications*. Springer, New York, NY, 2009.
28. Vijayakumar, S., Presannakumar, G., Vijayalakshmi, N.R. (2008). Antioxidant activity of banana flavonoids. *Fitoterapia*, 79(4), 279–282. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2008.01.007>

## REFERENCES

1. Phaniendra, A., Jestadi, D.B., Periyasamy, L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 11–26. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>
2. El-Bahr, S.M. (2013). Biochemistry of free radicals and oxidative stress. *Science International*, 1(5), 111–117. <https://doi.org/10.5567/sci-intl.2013.111.117>
3. Lushchak, V.I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. *Chemico-Biological Interactions*, 224, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.10.016>
4. Badzhinyan, S.A. (2016). Effect of oxidative stress on the human body. *Medical Science of Armenia*, 56(2), 12–20. (In Russian)
5. Jomova, K., Valko, M. (2011). Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*, 283(2–3), 65–87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.03.001>
6. Alkadi, H. (2020). A review on free radicals and antioxidants. *Infectious Disorders-Drug Targets*, 20(1), 16–26. <https://doi.org/10.2174/1871526518666180628124323>
7. Sulaiman, M., Tijani, H.I., Abubakar, B.M., Haruna, S., Hindatu, Y., Mohammed, J. N. et al. (2013). An overview of natural plant antioxidants: analysis and evaluation. *Advances in Biochemistry*, 1(4), 64–72. <https://doi.org/10.11648/j.ab.20130104.12>
8. Lourenço, S.C., Moldão-Martins, M., Alves, V.D. (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, 24(22), Article 4132. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
9. Dydykin, A.N., Aslanova, M.A. (2016). Functional nutrition is a new concept of a healthy lifestyle. *Agrotechnics and technologies*, 55(3). Retrieved from <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/23406-funktionalnoe-pitanie/> Accessed April 25, 2022 (In Russian)
10. Pastushkova, E.V., Tikhonov, S.L., Chugunova V. O. (2017). The use of antioxidant tea beverages to prevent development of stress reactions. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 4(5), 93–103. <https://doi.org/10.14529/food170412> (In Russian)
11. Pepe, G., Sommella, E., Cianciarulo, D., Ostacolo, C., Manfra, M., Di Sarro, V., et al. (2018). Polyphenolic extract from tarocco (*Citrus sinensis* L. osbeck) clone “lempso” exerts anti-inflammatory and antioxidant effects via NF- $\kappa$ B and Nrf-2 activation in murine macrophages. *Nutrients*, 10(12), Article 1961. <https://doi.org/10.3390/nu10121961>
12. Chernukha I. M., Kotenkova E. A., Vasilevskaya E. R., Ivankin A. N., Lisitsyn A. B., Fedulova L. V. (2020). The study of biological effects of different geographical origin goji berries in rats with alimentary hypercholesterolemia. *Voprosy Pitaniia*, 89(1), 37–45. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10004> (In Russian)
13. Skurihin, I. M., Tutel'yan, V. A. 2007. Tables of chemical composition and caloric content of Russian food products. Moscow, DeLi Print, 2007. (In Russian)
14. Jayachandran, M., Chen, J., Chung, S., Xu, B. (2018). A critical review on the impacts of  $\beta$ -glucans on gut microbiota and human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 61, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.06.010>
15. Domínguez, R., Zhang, L., Rocchetti, G., Lucini, L., Pateiro, M., Munekata, P.E.S. et al. (2020). Elderberry (*Sambucus nigra* L.) as potential source of antioxidants. Characterization, optimization of extraction parameters and bioactive properties. *Food Chemistry*, 330, Article 127266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127266>
16. Skrypnik, L.N., Kurashova, A.A. (2019). Comparative study of the antioxidant properties of some species of the genus *Sambucus* L. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 1, 127–137. <https://doi.org/32036258/ler-to0223;236259> (In Russian)
17. Młynarczyk, K., Walkowiak-Tomczak, D., Łysiak, G.P. (2018). Bioactive properties of *Sambucus nigra* L. as a functional ingredient for food and pharmaceutical industry. *Journal of Functional Foods*, 40, 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.025>
18. Christensen, L.P., Kaack, K., Fretté, X.C. (2008). Selection of elderberry (*Sambucus nigra* L.) genotypes best suited for the preparation of elderflower extracts rich in flavonoids and phenolic acids. *European Food Research and Technology*, 227(1), 293–305. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0723-8>
19. Sidor, A., Gramza-Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food—a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 941–958. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>
20. Malankina, E.L., Cicillin, A.N. (2016). Medicinal and essential oil plants. Moscow: INFRA-M, 2016. (In Russian)
21. Vladimirov, G.K., Sergunova, E.V., Izmaylov, D. Yu., Vladimirov, Yu.A. (2016). Chemiluminescent determination of total antioxidant capacity in medicinal plant material. *Bulletin of Russian State Medical University*, 2, 62–68.
22. Guidelines MP 2.3.1.0253–21 Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Retrieved from [https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=18979](https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979) Accessed April 25, 2022 (In Russian)
23. Order of the Ministry of Health No. 614 of August 16, 2016, as amended on December 1, 2020, “Recommendations on rational norms for the consumption of food products that meet modern requirements for a healthy diet.” Retrieved from <https://base.garant.ru/71485784/> Accessed March 07, 2022 (In Russian)
24. Chernukha, I., Fedulova, L., Vasilevskaya, E., Kulikovskii, A., Kupaeva, N., Kotenkova, E. (2021). Antioxidant effect of ethanolic onion (*Allium cepa*) husk extract in ageing rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2877–2885. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.020>
25. Kennas, A., Amellal-Chibane, H., Kessal, F., Halladj, F. (2020). Effect of pomegranate peel and honey fortification on physicochemical, physical, microbiological and antioxidant properties of yoghurt powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(1), 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.07.001>
26. Ozgen, M., Scheerens, J.C., Reese, R.N., Miller, R.A. (2010). Total phenolic, anthocyanin contents and antioxidant capacity of selected elderberry (*Sambucus canadensis* L.) accessions. *Pharmacognosy Magazine*, 6(23), 198–203. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.66936>
27. Hatier, J.H.B., Gould, K.S. (2009). Anthocyanin function in vegetative organs. Chapter in a book: *Anthocyanins: biosynthesis, functions, and applications*. Springer, New York, NY, 2009.
28. Vijayakumar, S., Presannakumar, G., Vijayalakshmi, N.R. (2008). Antioxidant activity of banana flavonoids. *Fitoterapia*, 79(4), 279–282. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2008.01.007>
29. Faria, A., Oliveira, J., Neves, P., Gameiro, P., Santos-Buelga, C., de Freitas, V. et al. (2005). Antioxidant properties of prepared blueberry (*Vaccinium myrtillus*) extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6896–6902. <https://doi.org/10.1021/jf05113100>
30. Dawidowicz, A.L., Wianowska, D., Baraniak, B. (2006). The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts). *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.01.005>
31. Sidor, A., Gramza-Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food—a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 941–958. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
<b>Принадлежность к организации</b>	<b>Affiliation</b>
<p><b>Купаева Надежда Владимировна</b> — младший научный сотрудник, Экспериментальная клиника-лаборатория биологически активных веществ животного происхождения, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 (доб. 209) E-mail: NVkupaeva@yandex.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-1066-5589">http://orcid.org/0000-0002-1066-5589</a> * автор для контактов</p>	<p><b>Nadezhda V. Kupaeva</b>, Junior Researcher, Experimental Clinic-Laboratory of Biologically Active Substances of an Animal Origin, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (209) E-mail: NVkupaeva@yandex.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-1066-5589">http://orcid.org/0000-0002-1066-5589</a> * corresponding author</p>
<p><b>Ильина Мария Александровна</b> — магистрант, Высшая школа биотехнологий и пищевых производств, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29 Тел.: +7-812-550-07-17 E-mail: maria.nutritionista@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-0581-6001">https://orcid.org/0000-0003-0581-6001</a></p>	<p><b>Maria A. Iliina</b>, Master's Student, Higher School of Biotechnology and Food Industry, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29, Polytechnicheskaya str., 195251, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-812-550-07-17 E-mail: maria.nutritionista@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-0581-6001">https://orcid.org/0000-0003-0581-6001</a></p>
<p><b>Светличная Мария Вячеславовна</b> — студент, факультет естественных наук, Российский Химико-Технологический Университет им. Д. И. Менделеева 125047, Москва, Миусская пл., 9 Тел.: +7-985-476-47-51 E-mail: sv.mariya.vy@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5235-9355">https://orcid.org/0000-0001-5235-9355</a></p>	<p><b>Mariya V. Svetlichnaya</b>, Student, Faculty of Natural Sciences, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia 9, Miusskaya sqr., 125047, Moscow, Russia Tel.: +7-985-476-47-51 E-mail: sv.mariya.vy@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5235-9355">https://orcid.org/0000-0001-5235-9355</a></p>
<p><b>Зубарев Юрий Николаевич</b> — заместитель директора, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 (доб. 110) E-mail: yu.zubarev@fncps.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6519-4553">https://orcid.org/0000-0001-6519-4553</a></p>	<p><b>Yuri N. Zubarev</b>, Deputy Director, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (110) E-mail: yu.zubarev@fncps.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6519-4553">https://orcid.org/0000-0001-6519-4553</a></p>
<b>Критерии авторства</b>	<b>Contribution</b>
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.</p>
<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interest</b>
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>