

Оригинальная статья / Original article

УДК 577.11:637.521

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-84-94>

Пути повышения сохранности природных антиоксидантов в мясных изделиях

© Б.А. Баженова*, С.Д. Жамсаранова**, Н.Д. Замбулаева***, Ю.Ю. Забалуева*, А.В. Герасимов*, Э.В. Сынгеева*

* Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

** Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

*** Институт общей экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

Резюме: В статье изложены результаты исследования способов повышения сохранности полифенольных соединений в составе мясного продукта в интересах расширения ассортимента и повышения эффективности функциональных продуктов питания. Изучены показатели качества экстракта сухого из выжимок ягод брусники (ЭСВБ), произрастающей в регионах Забайкалья. Установлено, что сухой экстракт, полученный из выжимок ягод, характеризовался массовой долей влаги 4,52 % и кислотностью 5,6 %, имел бордовый цвет, кисло-сладкий терпкий вкус и аромат, характерный для брусники, а также сыпучую консистенцию. Исследованиями установлено высокое суммарное содержание антиоксидантов в ЭСВБ – 382,5 мг/г. При введении 0,2 % ЭСВБ в рецептуру мясного бифштекса суммарное содержание антиоксидантов после термической обработки в готовом продукте снижалось на 18,7 %. Для повышения уровня сохранности и эффективности антиоксидантов в готовых к употреблению продуктах были использованы такие способы увеличения биодоступности, как сорбирование и капсулирование биологически активных веществ ЭСВБ. Для сорбирования полифенолов ЭСВБ была разработана субпродуктовая паста на основе говяжьих рубца, легких и диафрагмы. Матрицей служили коллагеновые белки соединительной ткани субпродуктов, имеющие высокую сорбционную способность, к тому же тонкое измельчение субпродуктов до гомогенной консистенции обеспечивало хорошие условия для иммобилизации полифенолов. Результаты показали, что данный способ позволил снизить потери антиоксидантов до 7,4 %. Далее была рассмотрена возможность использования инкапсулированной формы ЭСВБ. Были разработаны липосомальные формы экстракта, растворенного в буферном растворе и воде. В качестве липосомообразующего агента использовали соевый лецитин. Полученные данные показали, что введение липосомальной формы растительных полифенолов способствовало большей сохранности антиоксидантов. Так, при растворении экстракта сухого из выжимок ягод брусники в воде потери антиоксидантов составили 5,3 %, а при растворении в буферном растворе – всего 3,4 %.

Ключевые слова: экстракт сухой из выжимок брусники, сорбирование, липосомы, мясопродукт, степень сохранности

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания МОиН РФ № 19.5486.2017/БЧ, гранта «Молодые ученые ВСГУТУ-2019».

Информация о статье: Дата поступления 24 октября 2019 г.; дата принятия к печати 25 февраля 2020 г.; дата онлайн-размещения 31 марта 2020 г.

Для цитирования: Баженова Б.А., Жамсаранова С.Д., Замбулаева Н.Д., Забалуева Ю.Ю., Герасимов А.В., Сынгеева Э.В. Пути повышения сохранности природных антиоксидантов в мясных изделиях // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. N 1. С. 84–94. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-84-94>

Methods for improving the preservation of natural antioxidants in meat products

Bayana A. Bazhenova*, Sesegma D. Zhamsaranova**, Natalya D. Zambulaeva***, Yuliya Y. Zabalueva*, Aleksandr V. Gerasimov*, Erzhena V. Syngeeva*

* East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russian Federation

**Buryat State University, Ulan-Ude, Russian Federation

***Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation

Abstract: The article presents the results of a study into methods for increasing the preservation of polyphenolic compounds in the composition of meat products in terms of expanding product ranges and improving the functional effectiveness of foods. Various quality indicators of a dry extract of lingonberry (DLE) grown in Transbaikal regions were studied. The extract, obtained from lingonberry husks, was characterised by a mass fraction of moisture of 4.52 % and acidity of 5.6 %, having a burgundy colour, a sweet and sour taste and characteristic lingonberry aroma, as well as a free-flowing powder consistency. The DLE was established to have a high total antioxidant content of 382.5 mg / g. With the introduction of 0.2 % DLE into a meat steak recipe, the total content of antioxidants following thermal processing in the final product decreased by 18.7%. In order to increase the antioxidant activity and corresponding preservative effectiveness in the ready-to-serve products, various methods for increasing bioavailability, including sorption and encapsulation of biologically active substances of DLE were used. An offal paste based on beef honeycomb tripe, lung and diaphragm was developed for sorption of DLE polyphenols. The matrix consisted of collagen proteins of offal connective tissue having high sorption ability; moreover, fine grinding of by-products into a homogeneous consistency provided good conditions for the immobilisation of polyphenols. The results demonstrate that the use of this method reduced the loss of antioxidants to 7.4 %. Next, the possibility of using an encapsulated form of DLE was considered. Liposomal forms of an extract dissolved in a buffer solution and water were developed. Soy lecithin was used as a liposome forming agent. The obtained data indicated that the introduction of the liposomal form of plant polyphenols contributed to the greater preservation of antioxidants. Specifically, when dissolving the dry lingonberry husks extract in water, the loss of antioxidants was 5.3 %, and when dissolved in a buffer solution, only 3.4 %.

Keywords: dry lingonberry extract, sorption, liposomes, meat product, degree of preservation

Acknowledgments: This work was carried out as part of the government contract of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 19.5486.2017 / BCh, grant "Young Scientists of the ESSU-2019".

Information about the article: Received October 24 2019; accepted for publication February 25, 2020; available online March 31, 2020.

For citation: Bazhenova BA, Zhamsaranova SD, Zambulaeva ND, Zabalueva YuYu, Gerasimov AV, Syngeyeva EV. Methods for improving the preservation of natural antioxidants in meat products. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2020;10(1):84–94. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-84-94>

ВВЕДЕНИЕ

Действующим в растительных экстрактах является как правило, комплекс веществ одного или нескольких групп природных соединений, таких как терпеноиды, стероиды, алкалоиды, каротиноиды, флавоноиды. Флавоноиды являются частью более обширной группы соединений под названием «полифенолы». Большой интерес к полифенольным соединениям объясняется их антиоксидантной активностью и широким спектром биологического действия.

В силу своей химической структуры флавоноиды проявляют антиоксидантные свойства и вместе с другими природными восстанавливающими агентами, такими как витамин С и каротиноиды, способны предохранять организм человека от активных форм кислорода. По данным некоторых авторов, антиоксидантные свойства флавоноидов имеют более широкий спектр, чем у таких сильных антиоксидантов, как витамины С и Е, селен и цинк [1].

В клинической практике лекарственные

препараты с антиоксидантным действием используются довольно широко, чаще всего в комплексной терапии острых и хронических патологических процессов. Однако большой практический интерес представляет использование природных соединений с антиоксидантным действием в нутритивной коррекции прооксидантно-антиоксидантного статуса организма. Так, в работах А.А. Басова и др. на экспериментальном уровне продемонстрирована достаточно высокая эффективность коррекции дисбаланса прооксидантно-антиоксидантного статуса с помощью обогащения рациона пищевыми продуктами, содержащими антиоксиданты [2, 3]. Авторы предлагают использовать пищевые продукты с высокой антиоксидантной активностью в качестве потенциальных средств коррекции оксидантно-антиоксидантного баланса организма человека. О возможности повышения антиоксидантного потенциала рациона человека сообщают и другие авторы. Так, из проведенных исследований антиоксидантной активности и ряда других показателей качества

различных видов чая, а также других видов рецептурных компонентов чайных напитков, натуральных и восстановленных соков и плодово-ягодных сиропов следует, что для повышения антиоксидантного потенциала рациона целесообразно включение в него зеленого чая. При этом высокой антиоксидантной активностью обладают как рассыпчатые зеленые чаи, так и пакетированные. По мнению авторов работы [4], необходимо пересмотреть рецептуры и способы приготовления плодово-ягодных сиропов с целью повышения их антиоксидантной активности, поскольку их популярность и роль в приготовлении блюд и напитков на предприятиях общественного питания чрезвычайно велика.

В настоящее время, по мнению Н.В. Макаровой и других исследователей, качество плодово-ягодной продукции уже оценивается не только по объему урожая, но и по содержанию в плодах и ягодах основных соединений, определяющих питательные и технологические качества продукта [5]. Если ранее при оценке качества плодов в первую очередь учитывались такие показатели, как содержание сухих веществ, сахаров, органических кислот, витаминов и др., то сейчас, с увеличением роли фенольных соединений в профилактике окислительного стресса организма человека, ставятся задачи выведения сортов фруктов и овощей с высокими показателями антиоксидантной активности.

При производстве соковой продукции в качестве отходов остаются выжимки, которые направляются на кормовые цели или утилизируются. Однако исследования показали, что выжимки являются ценным продуктом, содержащим гораздо больше антиоксидантов, чем исходное сырье. Так, по результатам сравнительного анализа антиоксидантных свойств и химического состава яблок и винограда, и получаемых при их переработке сока и выжимок, проведенного авторами работы [6], установлено, что лидирующее положение по исследуемым показателям занимают выжимки, а соки существенно уступают ягодам.

Эффективность полифенольных комплексов зависит от их биодоступности. Повышение биодоступности – одно из важнейших направлений, определяющих действенность функциональных ингредиентов пищевых продуктов. На биодоступность оказывает влияние ряд факторов: технологические параметры процесса получения продуктов, полнота и скорость всасывания в желудочно-кишечном тракте и др. В последние десятилетия успешно применяются различные технологии повышения эффективности антиоксидантных свойств полифенольных комплексов растительного происхождения.

Одним из способов эффективного использования минорных биологически активных веществ (БАВ) при создании специализированных продуктов может стать их иммобилизация на

матрицах. Так, авторами работы [7] использована сорбция полифенольного экстракта листьев черники на белковой матрице. Данный технологический подход позволяет не только защитить биологически активные вещества от деградации в желудочно-кишечном тракте, но и повысить их концентрирование в пищевом продукте и стабильность при хранении. Экспериментальная оценка *in vivo* гипогликемических свойств сухого экстракта листьев черники, иммобилизованного на белковой матрице, показала их более высокую эффективность.

В последние годы внимание исследователей направлено на развитие технологий с использованием наносистем, которые могут способствовать повышению биодоступности природных соединений. Размеры частиц биологически активных веществ могут влиять на скорость их растворения и, следовательно, на биодоступность [1].

В статье [8] приведены данные о том, что нетрудно получить частицы размером менее 100 нм для твердых материалов, таких как кремний, оксиды металлов и другие с температурой плавления более 1000 °С. Однако большинство БАВ имеют температуру плавления/разложения менее 300 °С, поэтому для них получение частиц размером от 1 до 100 нм достаточно затруднительно. В связи с этим предложено для них наночастицами считать частицы размером менее 300 нм.

А.Н. Шиковым с соавторами приведены экспериментальные данные по получению твердо-дисперсных и самомикрoэмульгирующихся наносистем со средним размером частиц: 157–234 нм для таксифолина и около 176 нм для бетулина – в твердодисперсной системе, 10–20 нм для таксифолина, кверцетина и рутина – в самомикрoэмульгирующихся системах [9]. Показано, что введение таких флавоноидов, как таксифолин, кверцетин, рутин и бетулин, в состав наносистем позволяет увеличить скорость их растворения в биологических жидкостях и обеспечивает их равномерное высвобождение в условиях моделирования перорального введения флавоноидов в составе самомикрoэмульгирующихся систем.

Другие авторы предлагают технологии капсулирования БАВ, при этом эссенциальные вещества сохраняются в практически неизменном виде. Капсулой, как считают авторы статьи [10], может служить альгинат натрия, поскольку альгинаты являются нетоксичным, универсальным и экономичным материалом для создания гидрогелей. Технология основана на свойстве альгинатов образовывать сферы в присутствии солей двухосновных металлов.

Авторами публикации [11] разработаны технологии получения альгинатных капсул, содержащих БАВ, обладающих антиоксидантными свойствами, из ботвы свеклы *Beta Vulgariscv*.

Проведенные исследования указывают на перспективность данного подхода в решении

проблем сохранности, функциональной активности биологически активных микронутриентов.

Система носителей на основе липидов является одной из наиболее перспективных технологий инкапсулирования, используемых в пищевой и фармацевтической областях. Они включают липидные наноземульсии, липосомы, наноллипосомы, липидные носители [12]. По сравнению с другими технологиями инкапсулирования, такими как полимеры, носители на основе альгината, хитозана, системы на основе липидов могут создаваться с использованием натуральных ингредиентов в промышленных масштабах и транспортировать соединения с различной растворимостью. Они могут защитить инкапсулируемый материал от свободных радикалов, ионов металлов, изменения pH, ферментов, а также могут обеспечить синергический эффект компонентов и их адресность [13]. К слову, липосомы присутствуют в самой первой человеческой пище – грудном молоке [14].

Целью настоящих исследований явилась разработка оптимальных способов повышения сохранности полифенольных комплексов из выжимок ягод брусники в мясных фаршевых системах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эксперименты проведены в лабораториях кафедр «Биотехнология», «Технология мясных и консервированных продуктов» и Биотехнологического центра Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Объектами исследования служили отходы сокового производства – выжимки ягод брусники, экстракт сухой, полученный из выжимок брусники (ЭСВБ), а также субпродуктовая паста, липосомы, мясной фарш, готовые бифштексы.

Экстракт сухой из выжимок брусники получали способом, представленным патентом [15]. Радикал-удерживающую способность экстракта определяли спектрофотометрически с участием 2,2-дифенил-1-пикрил-гидразил хромоген-радикала (DPPH). Метод основан на реакции реактива DPPH, растворенного в этаноле, с образцом антиоксиданта. Радикал-удерживающая способность рассчитана как E_{c50} – концентрация исходного экстракта, необходимая для поглощения 50 % радикалов DPPH [16]. Содержание бензойной кислоты исследовали методом ВЭЖХ.

Для приготовления субпродуктовой пасты и гранул субпродукты были предварительно подготовлены путем размораживания, чистки и мойки. Затем их подвергали тонкому измельчению до получения пастообразной консистенции. Для определения оптимального соотношения субпродуктов в составе пасты была проведена оптимизация ее рецептурного состава с помощью инструмента «Поиск решения» приложения Microsoft Excel, которая показала следующее соотношение, %: диафрагма – 40, рубец – 30, лег-

кие – 30 [17].

Получение липосомальной формы сухого экстракта из выжимок ягод брусники осуществляли путем гомогенизации двух предварительно подготовленных фаз: раствора фосфолипидов в хлороформе и экстракта в буферном (0,25 М сахароза, 0,01 М трис-буфер, 0,001 М этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА), pH = 7,4) либо водном растворе [18].

В качестве липосомообразующего агента использовали соевый лецитин (ООО «Балатон», Санкт-Петербург), характеристика которого представлена в табл. 1.

Таблица 1
Характеристика соевого лецитина

Table 1
Characteristics of soy lecithin

Показатель	Значение
Вид продукта, цвет	Гранулы желтого цвета
Вкус, запах	Вкус, свойственный лецитину, без запаха
Фосфолипиды, %	99,6
Свинец, мг/кг	менее 0,1
Кадмий, мг/кг	менее 0,02
Мышьяк, мкг/кг	менее 0,1
Ртуть, мкг/кг	менее 0,005
Перекисное число, 1/2 О ммоль/кг	3,9±0,2
Дрожжи плесени (сумма), КОЕ/г (см ³)	10

Липосомы получали конвекционным методом путем гидратации тонкой липидной пленки. Навеску фосфолипидов 0,5 г растворяли в 5 мл хлороформа и переносили в 200 мл круглодонную колбу роторного испарителя. Раствор упаривали на роторном испарителе IKA RV-10 digital с вакуумным насосом Diaphragm Vacuum Pump при температуре водяной бани 25±2 °C и 70 об./мин в течение 3–4 мин. После удаления хлороформа на стенках колбы образовывалась липидная пленка. Затем в колбу добавляли экстракт, растворенный в 100 мл буферного либо водного раствора, и встряхивали в течение 30±10 мин до получения однородности, при этом образовывалась взвесь липосом. Затем проводили 3-х кратный цикл замораживания–оттаивания. Полученную взвесь липосом пропускали через мини-экструдер Liposomal Fast-Basic (AVESTIN, Канада) с поликарбонатными мембранами с $d_{пор} = 100$ нм.

Далее была определена степень включения ЭСВБ в липосомы. Для этой цели на колонку с 15 мл сефадекса G-50, уравновешенную в 0,9 % NaCl, наносили 10 мл липосомальной дисперсии, элюировали 0,9%-м раствором NaCl со скоростью 2 мл/мин. Затем отбирали аликвоты по

1 мл и разрушали липосомы 10-кратным избытком $C_2H_5OH^1$. Эффективность включения фенольных соединений (ФС) сухого экстракта из выжимок ягод брусники в липосомы оценивали с помощью реактива Фолина – Чиокалтеу в пересчете на кофейную кислоту [19] и определяли как отношение концентрации ФС липосомальной дисперсии после их разрушения к концентрации вносимых ФС в липосомальные структуры, выраженное в процентах:

$$CB (\%) = \frac{\text{ФС разрушенных липосом}}{\text{ФС, вносимые в липосомальные структуры}} \cdot 100\%.$$

В ходе проведения эксперимента изготавливали: мясной фарш (контроль); фарш с введением 0,2 % ЭСВБ (опыт 1); фарш с гранулами, содержащими 0,2 % сорбированного ЭСВБ (опыт 2). Опыт 3 служил фарш с введением липосомальной формы ЭСВБ в водном растворе, опытом 4 – фарш с введением липосомальной формы ЭСВБ в буферном растворе. Готовый к употреблению продукт получали после тепловой обработки мясного бифштекса при температуре 80–85 °С на пару в течение 20 мин.

Антиоксидантную активность исследуемых образцов оценивали на хроматографе Цвет Яуза-01-АА (НПО «Химавтоматика») путем амперометрического измерения суммарного содержания антиоксидантов (ССА) [20]. Пробо-подготовка при определении ССА заключалась в предварительном водном экстрагировании бидистиллированной водой исследуемых образцов с целью выделения водорастворимых соединений с антиоксидантным эффектом. Для построения градуировочных графиков использовали кверцетин (Acros Organics, 95 %).

Эксперименты проводили в трехкратной повторности, статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили с помощью ПО Microsoft Excel.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных исследований выявлено, что выжимки ягод брусники содержат различные полезные вещества, главными из которых являются группа фенольных соединений, проявляющих антиоксидантную активность, и бензойная кислота, обладающая антимикробным действием [21].

В табл. 2 приведено процентное содержание полифенолов и бензойной кислоты в исследуемых образцах.

Как видно из данных, представленных в

Таблица 2
 Содержание полифенолов и бензойной кислоты в исследуемых образцах

Table 2
 Content of polyphenols and benzoic acid in the studied samples

Объект исследования	Содержание, % на сухое вещество	
	полифенолов	бензойной кислоты
Экстракт сухой из выжимок ягод брусники	6,63±0,05	1,33±0,01
Выжимки ягод брусники	1,34±0,02	0,55±0,02

табл. 2, в сухих экстрактах концентрация фенольных соединений составляет 6,63 %, что в 5 раз превышает их содержание в выжимках ягод брусники. Содержание бензойной кислоты в ЭСВБ составляет 1,33 %, а в выжимках – лишь 0,55 %, что в 2,5 раза ниже результата ЭСВБ.

Качественные характеристики сухого экстракта, полученного из выжимок ягод брусники, произрастающей в Забайкалье, представлены в табл. 3.

Как свидетельствуют полученные данные, сухой экстракт характеризовался массовой долей влаги 4,52 % и кислотностью 5,6 %. Он имел бордовый цвет, кисло-сладкий вкус и терпкий запах с ароматом брусники, а также сыпучую консистенцию.

В состав экстракта входит группа полифенольных соединений, концентрация которых достигала 6,63 %. Содержание в растительном сырье фенольных соединений является одним из важнейших показателей их биологической ценности, определяющим его антиоксидантную активность.

Система антирадикальной и антиперекисной защиты представляет собой многоуровневую и многофункциональную систему, поддерживающую физиологический уровень активных форм кислорода и свободных радикалов и защищающую биологические системы по механизмам: 1) прямое взаимодействие оксидантов с клеточными антиоксидантами; 2) улавливание свободного радикала и синглетного кислорода; 3) восстановление, связывание и удаление гидропероксидов; 4) защитное действие «структурных» антиоксидантов, предотвращающих контакт активных форм кислорода с функциональными компонентами биомембраны [22].

¹ Фосфолипиды. Методы их выделения, обнаружения и изучения физико-химических свойств липидных дисперсий в воде / Г.М. Сорокоумова, А.А. Селищева, А.П. Каплун [и др.]: учеб.-метод. пособие по орган. химии. М.: Изд-во МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2000. 68 с.

Таблица 3
Показатели качества экстракта сухого
из выжимок ягод брусники

Table 3
Quality indicators of dry extract
from lingonberry

Показатель	Значение
Органолептические показатели	
Внешний вид	сыпучая масса
Цвет	бордовый
Вкус, запах	кисло-сладкий, терпкий с ароматом брусники
Физико-химические показатели	
Массовая доля влаги, %	4,52±0,08
Кислотность, %	3,24±0,08
Титруемая кислотность (по лимонной кислоте), %	5,6±1,2

В табл. 4 приведены данные, полученные при изучении антиоксидантной активности экстракта сухого из выжимок ягод брусники.

Таблица 4
Антиоксидантная активность экстракта
сухого из выжимок ягод брусники

Table 4
Antioxidant activity of dry extract from
ingonberry

Показатель	Значение
Суммарное содержание антиоксидантов, мг/г	382,5±8,6
Радикал-удерживающая способность, E_{C50} , мкг/мл	50,4±6,2

Исследованиями были установлены высокие суммарное содержание антиоксидантов в экстракте из выжимок ягод брусники (382,5 мг/г) и радикал-связывающая активность соединений экстракта. Введение веществ-антиоксидантов даже в малых концентрациях замедляет или предотвращает окислительные процессы. Например, добавление в растительное масло всего 0,001–0,01 % антиоксидантов надолго приостанавливает процесс его окисления [23].

Таким образом, экстракт сухой, выработанный на основе выжимок ягод брусники, произрастающей в Забайкалье, имеет высокие качественные характеристики, обладает высокой антиоксидантной активностью и может использоваться как пищевая добавка функциональной направленности.

На следующем этапе были проведены исследования по обогащению пищевых систем эссенциальными микронутриентами с антиоксидантными свойствами путем введения ЭСВБ в рецептуру мясного продукта, а именно, мясной

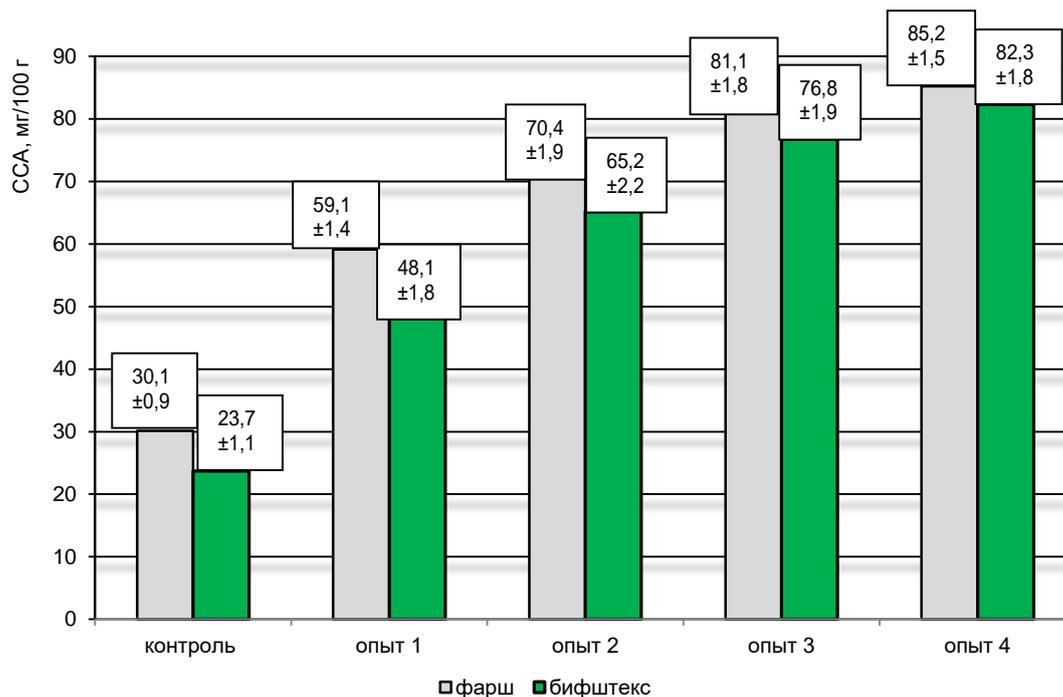
бифштекс. Выбор в пользу мясного продукта обоснован тем, что мясо и мясные продукты в сырых условиях Забайкалья являются традиционными продуктами – источниками животного белка и жира, поэтому расширение ассортимента функциональных мясopодуKтов является актуальным.

Для получения мясного бифштекса с антиоксидантным действием в его рецептуру был введен экстракт сухой из выжимок ягод брусники в количестве 0,2 %. Выбранная доза обеспечивала высокие органолептические характеристики готового продукта, превышение данного количества экстракта негативно сказывалось на традиционной окраске продукта [24]. Полученные на основе экспериментальных исследований результаты показали, что при изготовлении бифштекса наблюдалось снижение суммарного содержания антиоксидантов после термической обработки на 21,3 %. Обнаруженное количество ССА в готовом изделии не позволило отнести данный продукт к категории функциональных. В связи с этим возникли вопросы, связанные с повышением сохранности и биодоступности полифенолов ЭСВБ для организма человека. В работе были изучены такие возможности повышения сохранности биологически активных соединений экстракта, как сорбирование и инкапсулирование.

Для сорбирования полифенолов ЭСВБ была разработана субпродуктовая паста на основе говяжьих рубца, легких и диафрагмы [17], в которую вводили экстракт сухой из выжимок брусники. Матрицей служили коллагеновые белки соединительной ткани субпродуктов, имеющие высокую сорбционную способность, к тому же тонкое измельчение субпродуктов до однородной консистенции обеспечивало благоприятные условия для сорбирования полифенолов.

Для сохранения высоких функционально-технологических показателей готового продукта в субпродуктовую пасту вводили 0,2 % ЭСВБ, альгинатсодержащую добавку, тщательно перемешивали, выдерживали 12 ч и затем измельчали, получая гранулы, которые использовали в рецептуре мясных бифштексов. Ранее проведенными исследованиями была определена оптимальная доза гранул – 15 %, для введения в состав фарша, обеспечивающая высокие функционально-технологические характеристики и пищевую ценность готового продукта [24].

На рисунке представлено суммарное содержание антиоксидантов: в мясном фарше (контроль); фарше с введением 0,2 % ЭСВБ (опыт 1); фарше с гранулами, содержащими 0,2 % сорбированного ЭСВБ (опыт 2); фарше с внесением липосомальной формы ЭСВБ в водной среде (опыт 3); фарше с внесением липосомальной формы ЭСВБ в буферной среде (опыт 4).



Суммарное содержание антиоксидантов в фарше рубленых полуфабрикатов:
контроль – мясной фарш; опыт 1 – мясной фарш с внесением 0,2 % ЭСВБ;
опыт 2 – мясной фарш с гранулами, содержащими 0,2 % сорбированного ЭСВБ;
опыт 3 – мясной фарш с внесением липосомальной формы ЭСВБ в водной среде;
опыт 4 – мясной фарш с внесением липосомальной формы ЭСВБ в буферной среде

Total content of antioxidants in minced semi-finished products:
control – minced meat; experiment 1 – minced meat with the addition of 0.2 % DLE;
experiment 2 – minced meat with granules containing 0.2 % sorbed DLE;
experiment 3 – minced meat with 0.2 % liposomal form of DLE in the aqueous medium;
experiment 4 – minced meat with the addition of 0.2 % liposomal form of DLE in a buffer medium

Данные, представленные на рисунке, свидетельствуют о том, что в мясном фарше ССА составило 30,14 мг на 100 г образца. Введение 0,2 % ЭСВБ способствовало повышению уровня ССА до 59,15 мг %, что выше по сравнению с контролем почти в 2 раза. В опыте 2 уровень ССА увеличился до 70,4 мг %, что выше по сравнению с контрольным уровнем уже в 2,3 раза. Полученные данные указывают на факт сорбирования полифенолов ЭСВБ на компонентах субпродуктовой пасты, так как полифенолы – это основные соединения ЭСВБ, обладающие высокими антиоксидантными свойствами.

Было изучено ССА в исследуемых образцах после термической обработки в готовых бифштексах. Экспериментальные исследования показали, что термическая обработка вызывала потерю ССА, так как продукт не имеет оболочки и вместе с потерями жидкой фазы происходит потеря экстрактивных веществ и других соединений компонентов фарша, в том числе полифенолов ЭСВБ. Необходимо отметить, что если в контроле потери составили 21,3 %, то в опытных образцах этот показатель вили 5,3 %, а при растворении в буферном растворе – всего 3,4 % (см. рисунок).

был ниже. Так, в опыте 1 потери ССА составили 18,7 %, в опыте 2 – всего 7,4 %. Данный факт указывает на возможность иммобилизации полифенолов ЭСВБ на белковых компонентах субпродуктовой пасты с целью увеличения их содержания в готовом продукте.

Был исследован показатель степени включения инкапсулированной формы ЭСВБ в везикулы для повышения биодоступности антиоксидантов. Для включения полифенольных комплексов ЭСВБ в структуру липосом также использовали 0,2 % ЭСВБ, растворенный в воде (опыт 3) и в буфере (опыт 4). Исследования показали, что степень включения соединений в везикулы составила $73,4 \pm 5,5$ и $64,2 \pm 3,7$ % в буферной и водной среде соответственно.

Добавление липосомальной формы ЭСВБ в фарш и оценка ССА до и после термической обработки мясного фарша показала, что введение липосомальной формы растительных полифенолов способствовало большей сохранности антиоксидантов в готовом продукте. Так, если экстракт сухой из выжимок ягод брусники при инкапсулировании растворен в воде, то потери антиоксидантной активности составили 5,3 %.

Таким образом, при использовании таких приемов, как сорбирование, капсулирование

полифенолов повышается сохранность антиоксидантов и появляется возможность получения функциональных ингредиентов для создания продуктов функционального назначения с антиоксидантным действием.

ВЫВОДЫ

Введение 0,2 % ЭСВБ в рецептуру мясного фарша приводит к снижению ССА в бифштексах, готовых к употреблению, на 18,7 %. Для повышения сохранности полифенольных комплексов предложены такие способы повышения

биодоступности биологически активных веществ из экстрактов выжимок ягод брусники, как сорбирование на основе субпродуктовой пасты, которое позволило снизить потери до 7,4 % в готовом к употреблению продукте, и капсулирование в липосомальные структуры, при котором потери составили 3,4 и 5,3 % при растворении ЭСВБ в буфере и воде соответственно. Данные методы позволят обеспечить сохранность биологически активных веществ и их функциональность в готовых к употреблению продуктах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М.: Наука, 1994. 240 с.
2. Басов А.А., Быков И.М. Изменение антиоксидантного потенциала крови экспериментальных животных при нутрициологической коррекции окислительного стресса // Вопросы питания. 2013. Т. 82. № 6. С. 75–81.
3. Быков И.М., Басов А.А., Басов М.И., Ханферьян Р.А. Сравнительная оценка антиоксидантной активности и содержания прооксидантных факторов у различных групп пищевых продуктов // Вопросы питания. 2014. Т. 83. № 4. С. 75–81.
4. Вяткин А.В., Чугунова О.В. Напитки антиоксидантной направленности как метод борьбы с окислительным стрессом // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. Т. 6. № 4. С. 119–126. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-4-119-126>
5. Макарова Н.В., Валиулина Д.Ф., Азаров О.И., Кузнецов А.А. Сравнительное исследование содержания фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантной активности яблок разных сортов // Химия растительного сырья. 2018. № 2. С. 115–122. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018022205>
6. Быкова Т.О., Макарова Н.В., Шевченко А.Ф. Химический состав и антиоксидантные свойства продуктов переработки яблок и винограда – сока и выжимок // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 11. С. 20–22.
7. Сидорова Ю.С., Шипелин В.А., Петров Н.А., Фролова Ю.В., Кочеткова А.А., Мазо В.К. Экспериментальная оценка *in vivo* гипогликемических свойств функционального пищевого ингредиента – полифенольной пищевой матрицы // Вопросы питания. 2018. Т. 87. № 4. С. 5–13. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10036>
8. Gupta R.B., Kompella U.B. Nanoparticle technology for drug delivery. New York, London: Taylor & Francis, 2006. 416 p. <https://doi.org/10.1201/9780849374555>
9. Шиков А.Н., Пожарицкая О.Н., Мирошник И., Мирза С., Карлина М.В., Хирсъярви С. [и др.]. Наносистемы как способ улучшения биодоступности природных соединений // Фармация. 2008. № 7. С. 53–57.
10. Горбунова Н.В., Банникова А.В. Совершенствование получения биополимерных матриц адресной доставки инкапсулированных форм биологически активных веществ // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. Т. 6. № 2. С. 65–70. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-2-65-70>
11. Горбунова Н.В., Евтеев А.В., Банникова А.В. Разработка технологии получения инкапсулированных форм биологически ценных растительных экстрактов из ботвы свеклы *Beta Vulgariscv* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. № 2. С. 270–276. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-2-270-276>
12. Shukla S., Haldorai Y., Hwang S.K., Bajpai V.K., Huh Y.S., Han Y.-K. Current demand for food-approved liposome nanoparticles in food and safety sector // Frontiers in Microbiology. 2017. № 8. P. 2398. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02398>
13. Mozafari M.R., Johnson C., Hatziantoniou S., Demetzos C. Nanoliposomes and their applications in food nanotechnology // Journal of Liposome Research. 2008. Vol. 18. Issue 4. P. 309–327. <https://doi.org/10.1080/08982100802465941>
14. Keller B.C. Liposomes in Nutrition // Trends in Food Science and Technology. 2001. Vol. 12. Issue 1. P. 25–31. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00044-9)
15. Пат. № 2626565 С1, Российская Федерация, МПК А23L 19/00. Способ получения сухого экстракта из выжимок ягод брусники или клюквы / Н.Д. Замбулаева, С.Д. Жамсаранова; патентообладатель ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»; заявл. 24.10.2016; опубл. 28.07.2017.
16. Majewska M., Skrzycki M., Podsiad M., Czczot H. Evaluation of antioxidant potential of flavonoids: an *in vitro* study // Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research. 2011. Vol. 68. Issue 4. P. 611–615.
17. Герасимов А.В., Данилов А.М., Баженова Б.А., Забалуева Ю.Ю. Обоснование и выбор рецептуры мясных гранул на основе субпродуктовой пасты // Инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности – тенденции, стратегии, вызовы: материалы XXI Между-

нар. науч.-практ. конф., посвященной памяти Василия Матвеевича Горбатова (Москва, 06 декабря 2018 г.). М.: Изд-во ФНЦ пищевых систем им. В.М Горбатова, 2018. С. 57–59.

18. Шаззо Ф.Р., Бутина Е.А., Корнена Е.П. Обеспечение заданной физиологической ценности продуктов питания путем инкапсуляции обогащающих микронутриентов // Новые технологии. 2009. N 4. С. 67–72.

19. Olenikov D.N., Chekhirova G.V. 6"-Galloyl-picein and other phenolic compounds from *Arctostaphylosuva-ursi* // *Chemistry of Natural Compounds*. 2013. Vol. 49. Issue 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1007/s10600-013-0491-6>

20. Яшин А.Я. Инжекционно-проточная система с амперометрическим детектором для селективного определения антиоксидантов в пищевых продуктах и напитках // *Российский химический журнал*. 2008. Т. 52. N 2. С. 130–135.

21. Замбулаева Н.Д., Жамсаранова С.Д. Исследование антиоксидантных и антимикробных свойств биопротекторов из отходов соковых производств как ингредиентов для обогащения продуктов питания // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2018. Т. 8. N 1. С. 51–58. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-51-58>

22. Шабров А.В., Дадали В.А., Макаров В.Г. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи. М.: Авваллон, 2003. 166 с.

23. Яшин Я.И., Рыжнев В.Ю., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и влияние их на здоровье и старение человека. М.: Транслит, 2009. 212 с.

24. Баженова Б.А., Забалуева Ю.Ю., Герасимов А.В. Рациональное использование субпродуктов яков // *Все о мясе*. 2018. N 1. С. 22–25. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-1-22-25>

REFERENCES

1. Zaprometov MN. *Phenolic compounds: Distribution, metabolism and function in plants*. Moscow: Nauka; 1994. 240 p. (In Russian)

2. Basov AA., Bykov IM. Change of blood antioxidant capacity of experimental animals during nutritional correction under oxidative stress. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2013; 82(6):75–81. (In Russian)

3. Bykov IM., Basov AA, Bykov MI, Khanferyan RA. Comparative evaluation of antioxidant activity and content of prooxidant factors in different classes of foods. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2014;83(4):75–81. (In Russian)

4. Vyatkin AV, Chugunova OV. Antioxidant beverages as a method of the fight against oxidative stress. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2016;6(4): 119–126. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-4-119-126>

5. Makarova NV, Valiulina DF, Azarov OI, Kuznetsov AA. Comparative studies of the content of phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity of apples of different varieties. *Khimiya rastitel'nogo sur'ya*. 2018;2:115–122. (In Russian) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018022205>

6. Bykova IM., Makarova NV, Shevchenko AF. Chemical composition and antioxidant properties of apple and grape processed products – juice and husks. *Khraneniye i pererabotka sel'khoz syr'ya = Storage and Processing of Farm Products*. 2015;11:20–22. (In Russian)

7. Sidorova YuS, Shipelin VA, Petrov NA, Frolova YuV, Kochetkova AA, Mazo VK. The experimental evaluation in vivo of hypoglycemic properties of functional food ingredient – polyphenolic food matrix. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2018;87(4):5–13. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10036>

8. Gupta RB, Kompella UB. *Nanoparticle tech-*

nology for drug delivery. New York, London: Taylor & Francis, 2006. 416 p. <https://doi.org/10.1201/9780849374555>

9. Shikov AN, Pozharitskaya ON, Miroshnyk I, Mirza S, Karlina MV, Hirsjärvi S, et al. Nanosystems as a way of improving the bioavailability of natural compounds. *Farmatsiya = Pharmacy*. 2008;7:53–57. (In Russian)

10. Gorbunova NV, Bannikova AV. Development and improvement of biopolymer matrices for the controlled delivery of encapsulated biologically active substances. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2016;6(2):65–70. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-2-65-70>

11. Gorbunova NV, Evteev AV, Bannikova A.V. Development of a technology for obtaining encapsulated forms of biologically valuable plant extracts from beet leaves (*Beta Vulgaris cv*). *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(2):270–276. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-2-270-276>

12. Shukla S, Haldorai Y, Hwang SK, Bajpai VK, Huh YS, Han Y-K. Current demand for food-approved liposome nanoparticles in food and safety sector. *Frontiers in Microbiology*. 2017;8:2398. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02398>

13. Mozafari MR, Johnson C, Hatziantoniou S, Demetzos C. Nanoliposomes and their applications in food nanotechnology. *Journal of Liposome Research*. 2008;18(4):309–327. <https://doi.org/10.1080/08982100802465941>

14. Keller BC. Liposomes in Nutrition. *Trends in Food Science and Technology*. 2001;12(1):25–31. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00044-9)

15. Zambulaeva N.D., Zhamsaranova S.D. *Method for producing dry extract from red bilberry and cranberry berry refuses*. Patent RF, no. 2626565,

2016. (In Russian)

16. Majewska M, Skrzycki M, Podsiad M, Czezcot H. Evaluation of antioxidant potential of flavonoids: an *in vitro* study. *Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research*. 2011;68(4):611–615.

17. Gerasimov AV, Danilov A, Bazhenov BA, Zabalueva YuYu. Substantiation and choice of the meat granule recipe based on the byproduct paste. In: *Innovative and technological development of the food industry – trends, strategies, challenges: Proceedings of XXI International Scientific and Practical Conference*. 06 December 2018, Moscow. Moscow: Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov; 2018. p. 57–59. (In Russian)

18. Shazzo FR, Butina YeA, Kornena YeP. Ensuring a given physiological value of food products by encapsulating enriching micronutrients. *Novye tekhnologii = New Technologies*. 2009; 4:67–72. (In Russian)

19. Olennikov DN, Chekhirova GV. 6"-Galloyl-picein and other phenolic compounds from *Arctostaphylosuva-ursi*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2013;49(1):1–7. <https://doi.org/10.1007/s10600-013-0491-6>

20. Yashin AYa. Injection-flow system with an amperometric detector for the selective determination of antioxidants in food and beverages. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal = Russian Journal of General Chemistry*. 2008;52(2):130–135. (In Russian)

21. Zambulaeva ND, Zhamsaranova SD. Investigation of the antioxidant and antimicrobial properties of juice processing by-products for use as ingredients for the enrichment of food products. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2018;8(1):51–58. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-51-58>

22. Shabrov AV, Dadali VA, Makarov VG. *Biochemical principles of the food microcomponents action*. Moscow: Avvallon; 2003. 166 p. (In Russian)

23. Yashin YaI, Ryzhnev VYu, Yashin AYa, Cheronousova N. *Natural antioxidants. Content in food and their impact on human health and aging*. Moscow: Translit; 2009. 212 p. (In Russian)

24. Bazhenova BA, Zabalueva YuYu, Gerasimov AV. Rational use of by-products of yaks. *Vse o myase = All about meat*. 2018;1:22–25. (In Russian) <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-1-22-25>

Критерии авторства

Баженова Б.А., Жамсаранова С.Д., Замбулаева М.Д., Герасимов А.В., Сынгеева Э.В. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Баженова Б.А., Жамсаранова С.Д., Замбулаева М.Д., Герасимов А.В., Сынгеева Э.В. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Баженова Баяна Анатольевна,
д.т.н., профессор,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ,
ул. Ключевская, 40в, стр. 1,
Российская Федерация,
✉ e-mail: bayanab@mail.ru

Contribution

Bayana A. Bazhenova, Sesegma D. Zhamsaranova, Natalya D. Zambulaeva, Yuliya Y. Zabalueva, Aleksandr V. Gerasimov, Erzhen V. Syngееva carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Bayana A. Bazhenova, Sesegma D. Zhamsaranova, Natalya D. Zambulaeva, Yuliya Y. Zabalueva, Aleksandr V. Gerasimov, Erzhen V. Syngееva, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bayana A. Bazhenova,
Dr. Sci. (Engineering), Professor,
East Siberia State University
of Technology and Management,
40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Russian Federation,
✉ e-mail: bayanab@mail.ru

Жамсаранова Сэсэгма Дашиевна,
д.б.н., профессор,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ,
ул. Ключевская, 40в, стр. 1,
Российская Федерация;
профессор,
Бурятский государственный университет,
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а,
Российская Федерация;
e-mail: zhamsarans@mail.ru

Замбулаева Наталья Даниловна,
инженер,
Институт общей и экспериментальной
биологии СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация;
e-mail: nzambulaeva@mail.ru

Забалуева Юлия Юрьевна,
к.т.н., доцент,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ,
ул. Ключевская, 40в, стр. 1,
Российская Федерация,
e-mail: aprilpolina@mail.ru

Герасимов Александр Викторович,
аспирант,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ,
ул. Ключевская, 40в, стр. 1,
Российская Федерация,
e-mail: dimova_natalia1959@mail.ru

Сынгеева Эржена Владимировна,
к.т.н., научный сотрудник,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ,
ул. Ключевская, 40в, стр. 1,
Российская Федерация,
e-mail: syngeeva@mail.ru

Sesegma D. Zhamsaranova,
Dr. Sci. (Biology), Professor,
East Siberia State University of Technology
and Management,
40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Russian Federation;
Professor,
Buryat State University,
24a, Smolin St., Ulan-Ude 670000,
Russian Federation,
e-mail: zhamsarans@mail.ru

Natalya D. Zambulaeva,
Engineer,
Institute of General and Experimental Biology
SB RAS,
6 Sakhyanova St., Ulan-Ude 670047,
Russian Federation,
e-mail: nzambulaeva@mail.ru

Yuliya Y. Zabalueva,
Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor,
East Siberia State University
of Technology and Management,
40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Russian Federation,
e-mail: aprilpolina@mail.ru

Aleksandr V. Gerasimov,
Postgraduate Student,
East Siberia State University
of Technology and Management
40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Russian Federation,
e-mail: dimova_natalia1959@mail.ru

Erzhena V. Syngeeva,
Cand. Sci., Researcher,
East Siberia State University
of Technology and Management,
40v Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Russian Federation,
e-mail: syngeeva@mail.ru