

Оптимизация технологических режимов экстрагирования растительных биоресурсов¹

Елена Черевач¹, Майя Разгонова^{1,2}, Мария Вдовченко¹,
Марина Палагина¹, Елена Тарашкевич¹, Варвара Стёпочкина¹

¹ Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия

² ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР),
г. Санкт-Петербург, Россия

Информация о статье

Поступила в редакцию:

31.05.2023

Принята

к опубликованию:

13.06.2023

УДК 663.88

JEL Q16

Ключевые слова:

растительные экстракты, антиоксидантное действие, технологические факторы, оптимальные параметры экстрагирования, биологические активные вещества, функциональные ингредиенты.

Keywords:

plant extracts, antioxidant effect, technological factors, optimal extraction parameters, biologically active substances, functional ingredients.

Аннотация

Статья посвящена оптимизации технологических режимов экстрагирования растительных биоресурсов, используемых в технологии функциональных пищевых продуктов. С помощью метода математического моделирования были изучены зависимости массовой доли растворимых сухих веществ и функциональных ингредиентов антиоксидантной направленности от определяющих технологических факторов. Получены полиномиальные уравнения второй степени, адекватно описывающие математическую зависимость. Экспериментально установлены оптимальные параметры экстрагирования для чая зелёного, эхинацеи пурпурной и мяты перечной. Исследована антиоксидантная активность полученных экстрактов.

Optimization of Technological Modes of Extraction of Plant Bioresources

Elena I. Cherevach, Maya P. Razgonova,
Maria E. Vdovchenko, Marina V. Palagina,
Elena Yu. Tarashkevich, Varvara D. Stepochkina

Abstract

The article is devoted to the optimization of technological regimes for the extraction of plant bioresources (tea raw materials and cultivated plants of the Far East). Using the method

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2023-1/92-100>.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1143 от 07 июля 2022 г.).

of mathematical modeling, the dependences of the mass fraction of soluble solids and functional ingredients of an antioxidant orientation (vitamin C and flavonoids) on the determining technological factors (hydraulic modulus, duration of exposure and temperature of the extractant) that affect the dynamics of the process of extraction of biologically active substances were studied.

*Based on the processing of the experimental results, polynomial equations of the second degree are obtained, which adequately describe the mathematical dependence. Optimal extraction parameters for green tea, purple echinacea *Echinacea purpurea* L. (herb) and peppermint *Menthae piperitae* L. (leaves) were experimentally established. The antioxidant activity of the obtained extracts was studied. A commodity assessment of the quality of extracts was carried out and compositions of plant extracts used in the technology of functional food products were developed.*

Введение

Современные рационы питания с учётом их особенностей (повышенная калорийность, избыточное потребление животных жиров, легкоусвояемых углеводов и др.), а также образ жизни человека представляют собой интегральный фактор риска для его здоровья. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется разработке и масштабированию продуктов функционального назначения [1], которые способны благоприятно воздействовать на физиологическую деятельность различных систем организма человека (пищеварительную, мочевыделительную, сердечно-сосудистую, иммунную и др.) за счёт содержания функциональных ингредиентов (ФИ) в физиологически необходимых концентрациях (ГОСТ 54059–2010; ГОСТ 55577–2013).

Классификация ФИ разнообразна, в зависимости от химического строения, механизма физиологического действия на организм человека и других факторов. Следует отметить одну из важнейших групп функциональных ингредиентов, являющихся антиоксидантами, т.е. веществами, способными блокировать вредное воздействие на организм свободных радикалов, тем самым снижать антиокислительный стресс и, следовательно, защищать человека от преждевременного старения и самых опасных заболеваний (сердечно-сосудистые, онкологические, диабет и др.). К ним относятся аскорбиновая кислота, β -каротин, полифенолы, витамин Е (токоферолы и токотриенолы), ретинол (провитамины и витамин А), сапонины и многие другие биологически активные вещества (БАВ) [1, 2].

Источниками антиоксидантов являются, в первую очередь, растительные биоресурсы (овощи, ягоды, фрукты, чай, пищевые и лекарственные растения и др.). В Приморье произрастают уникальные виды дикорастущих растений – бархат амурский, аралия маньчжурская, элеутерококк, лимонник и многие другие, которые содержат в своём составе ценные биологически активные вещества направленного действия (алкалоиды, гликозиды, дубильные вещества, витамины) [3, 4]. Благоприятное географическое положение и почвенно-климатические условия Дальневосточного региона РФ способствуют возможности успешного культивирования многих дикорастущих растений, тем самым создавая дополнительные объёмы ценного сырья для пищевой промыш-

ленности [5]. Использование культивируемого растительного сырья позволяет сократить логистические затраты, обеспечить доступный уровень цен на выпускаемую продукцию и её соответствие потребительским предпочтениям населению Дальневосточного региона.

Комплекс БАВ чайного сырья (катехины, танины, дубильные вещества, алколоиды, витамины С, Р и др.) и продуктов его переработки также проявляют антиоксидантное действие. Особенно следует отметить зелёный чайный лист, содержание полифенольных соединений и катехинов в котором в 2 раза больше, чем в чёрном чае; а массовая доля аскорбиновой кислоты — превышает в 10 раз [6, 7].

За счёт широкого спектра действия биологически активных веществ различных вегетативных частей растительного сырья (корни и корневища, стебли, листья и др.) они выполняют в пищевых системах не только роль антиоксидантов, но и различные технологические функции, т.е. их экстракты могут быть использованы в технологии пищевых продуктов в качестве натуральных комплексных пищевых добавок — поверхностно-активных веществ (эмульгаторы, пенообразователи), стабилизаторов, красителей, ароматизаторов и др. [8, 9].

Для получения БАВ из растительного сырья используют различные методы экстрагирования, предусматривающие извлечение отдельных компонентов из твёрдого тела с помощью растворителей, обладающих избирательной растворимостью. Основным физико-химическим процессом, происходящим при экстрагировании, является протекающая через макропоры клеток диффузия, обусловленная различным содержанием растворимых веществ в двухфазной системе и заключающаяся в переходе веществ из твёрдой фазы в жидкую, называемую массообменом. Этот переход в изолированной замкнутой системе возникает самопроизвольно и протекает до тех пор, пока между фазами в данных условиях температуры и давления не установится подлинное динамическое фазовое равновесие концентраций растворенных веществ [10].

На процесс экстрагирования растительного материала оказывает влияние ряд факторов, которые необходимо учитывать при выборе условий экстрагирования — анатомическое (гистологическое) строение, степень и характер измельчения сырья, разность концентраций, температурный режим и длительность экстракции, природа и вязкость экстрагента и др. [11].

Поэтому **цель данного исследования** — экспериментальное обоснование оптимальных технологических параметров экстрагирования биологически активных веществ антиоксидантного действия из растительных биоресурсов (чайного сырья и культивируемых растений Дальнего Востока) в целях использования их в технологии функциональных безалкогольных напитков и кислородных коктейлей.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследований использовали культивируемое растительное сырьё Дальневосточного региона (ФГБНУ “Приморская плодово-ягодная станция Приморского НИИСХ”, г. Владивосток): эхи-

нацея пурпурная, трава (*Echinaceae purpurea* L.), семейство Астровых (*Asteraceae*) — по ФС.2.5.0055.15; мята перечная, лист (*Menthae piperitae* L.), семейство Яснотковых (*Lamiaceae* L.) — по ФС.2.5.0029.15; чай зелёный, крупно-листовой — по ГОСТ 32574–2013; водные экстракты на их основе и композиции экстрактов. Экстрагентом являлась питьевая вода. Используемое сырье по показателям безопасности соответствовало требованиям ТР ТС 021/2011 и СанПиН 2.1.4.1074—2001.

Массовую долю растворимых сухих веществ (РСВ) определяли рефрактометрическим методом при температуре 20 °С на рефрактометре ИРФ-454 Б2М — по ГОСТ ISO 2173–2013; массовую долю аскорбиновой кислоты (витамин С) — титриметрическим методом по ГОСТ 7047–55; массовую долю флавоноидов — спектрофотометрическим методом по МР 4.1.1672, стандарт-кверцитин. Антиоксидантную активность (АОА) экстрактов определяли по показателю суммарного содержания антиоксидантов (в пересчёте на галловую кислоту) амперометрическим методом на приборе “ЦветЯуза 01-АА” (Россия) [2].

Для построения математических моделей использовали методы статистической и графоаналитической обработки опытных данных. Оптимальные параметры экстрагирования устанавливали методом наименьших квадратов с помощью пакета прикладных программ Office Pro (Excel), MathCAD.15.0. Для этого проводили аппроксимацию полиномами второй степени функций содержания растворимых сухих веществ, витамина С и флавоноидов от переменных — гидромодуля, времени и температуры экстрагирования по формуле:

$$F(x, y) = \sum_{i+j=0}^2 \alpha_{ij} x^i y^j,$$

где F — функция содержания растворимых сухих веществ (витамина С, флавоноидов); α — коэффициент полинома; x — время экстрагирования; y — температура экстрагента (гидромодуль); i, j — показатели степени.

Результаты исследования и их обсуждение

Для производства некоторых групп функциональных безалкогольных напитков используют водные растительные экстракты или их концентраты, являющиеся источниками ценных микронутриентов, в том числе природных антиоксидантов. Основная цель экстрагирования заключается в максимальном извлечении биологически активных веществ растительного сырья и их сохранности в процессе технологической обработки. Известно, что на ход экстрагирования большое влияние оказывают различные факторы (гидромодуль, время и температура воздействия и др.); при этом для каждого вида растительного сырья экспериментально устанавливают свои параметры извлечения БАВ.

Поэтому на первом этапе исследований необходимо было установить оптимальные параметры экстрагирования (водная настойная экстракция) объектов исследования в зависимости от изменяющихся тех-

нологических параметров. Сухое культивируемое сырьё (стебли, листья) измельчали до рекомендуемого оптимального размера 3–5 мм; гидромодуль (сырьё : экстрагент) варьировал от 1:5 до 1:25; время экстракции — 5–30 мин (для зелёного чая) и 20–60 мин (для эхинацеи и мяты); температура – от 40 °С до 80 °С.

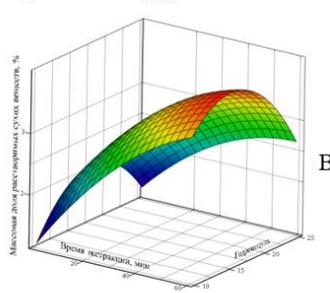
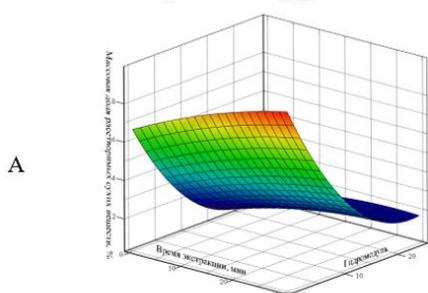
В целях оптимизации процесса экстрагирования была проведена аппроксимация полиномами второй степени функций массовой доли растворимых сухих веществ (РСВ) от независимых переменных (гидромодуля и времени экстракции); графические интерпретации представлены на рис. 1.

$$F(x, y) = -0.59976x + 0.14392y + 0.01476x^2 - 0.00142y^2 - 0.00291xy + 6.64553$$

Погрешность: $\Delta_{max} = 0.572\%$

$$F(x, y) = 0.07376x + 0.5132y + 0.00038x^2 - 0.0144y^2 - 0.00111xy - 2.5485$$

Погрешность: $\Delta_{max} = 0.44\%$



$$F(x, y) = 0.05679x - 0.45251y - 0.00042x^2 + 0.00928y^2 - 0.00068xy + 6.71969$$

Погрешность: $\Delta_{max} = 0.182\%$

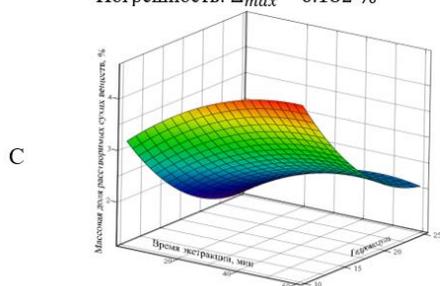


Рис. 1. Графическая интерпретация зависимости массовой доли растворимых сухих веществ экстрактов от гидромодуля и времени экстрагирования: А — чай зелёный, В — эхинацея пурпурная, С — мята перечная

Из полученных данных следует, что оптимальным гидромодулем для зелёного чая является 1:5, при котором в течение 20 мин массовая доля РСВ составила 6,53%; для эхинацеи пурпурной — 1:15 (в этом случае в течение 40 мин выход РСВ составил 4,02%), а для мяты перечной — 1:10, при котором количество РСВ составило 4,42% после 30 мин экстрагирования. Было установлено, что при дальнейшем увеличении времени экстрагирования при оптимальных гидромодулях количество РСВ повышалось незначительно, поэтому продолжать процесс экстрагирования было экономически нецелесообразно. Увеличение количества экстрагента, свыше оптимально установленного нами, экспериментально приводило к снижению количества РСВ.

Далее предварительными экспериментами исследовали зависимость количества РСВ растительных экстрактов от двух переменных

технологических параметров: температуры и времени экстрагирования при установленных ранее гидромодулях.

Показано, что оптимальными параметрами экстракции для зелёного чая являлись — время 20 мин, температура 80 °С, при которых массовая доля сухих веществ составила 8,23%; для эхинацеи пурпурной эти параметры составили время 40 мин, температура 80 °С, количество РСВ при этом достигло 6,13%, а для мяты перечной максимальное количество сухих веществ 5,53% было получено при температуре 70 °С в течение 40 мин.

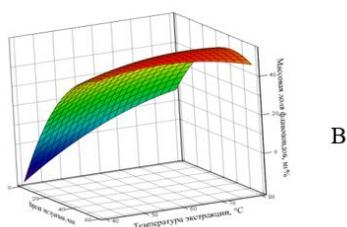
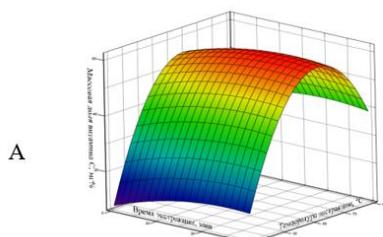
Однако известно, что об окончании процесса извлечения необходимо судить не по сумме экстрактивных, а по количеству биологически активных веществ и функциональных ингредиентов, так как многие из них являются термолабильными и частично разрушаются при температурах свыше 70–80 °С (Сорокопуд и др., 2012). Поэтому на следующем этапе работы необходимо было установить зависимость выхода витамина С и флавоноидов из сырья от времени и температуры экстрагирования; графические интерпретации представлены на рис. 2.

$$F(x, y) = 0.79829x + 10.29152y - 0.01325x^2 - 0.08019y^2 - 0.0032xy - 275.64762$$

Погрешность: $\Delta_{max} = 15.71 \frac{\text{мг}}{100 \text{ г}}$

$$F(x, y) = 2.78189x + 2.42869y - 0.01643x^2 - 0.01289y^2 - 0.01626xy - 96.39543$$

Погрешность: $\Delta_{max} = 6,797 \text{ мг} \cdot \%$



$$F(x, y) = 0.43711x + 1.03088y - 0.00117x^2 - 0.00599y^2 - 0.00585xy - 24.97143$$

Погрешность: $\Delta_{max} = 2.117 \text{ мг} \cdot \%$

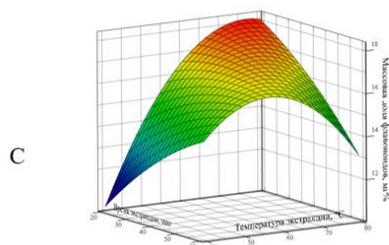


Рис. 2. Графическая интерпретация зависимости массовой доли биологически активных веществ от времени и температуры экстрагирования: А — чай зелёный, В — эхинацея пурпурная, С — мята перечная

Анализ экспериментальных данных показал, что максимальное количество витамина С в экстракте зелёного чая наблюдалось при следующих параметрах экстрагирования: температура 60 °С, время 15 мин, при этом в экстракт из сырья переходит почти 55% витамина С. Оптимальными параметрами экстрагирования флавоноидов из эхинацеи пурпурной и мяты перечной явились температура 60 и 70 °С, продолжительность 40 и 20 мин, соответственно, при которых в экстракты из сырья перешло примерно 80,1 и 54,5% биологически активных веществ.

На основании полученных данных была разработана технологическая схема получения экстрактов из исследуемого растительного сырья, которая заключалась в следующем: измельчение сырья; экстрагирование водой при оптимальных параметрах; фильтрация; пастеризация при температуре 60 °С в течение 15 с и охлаждение до температуры 23–25 °С.

Результаты органолептической оценки показали, что все экстракты были прозрачными; имели выраженный цвет — янтарный (для чайного листа), светло-жёлтый (для листьев мяты) и коричневый (для эхинацеи); вкус и запах были приятными, гармоничными и соответствовали используемому сырью; для экстрактов чая и эхинацеи характерна незначительная терпкость, для эхинацеи — ещё и горьковатый привкус; для экстрактов эхинацеи и мяты — лекарственный, приятно-травяной аромат.

Антиоксидантную активность растительных экстрактов определяли по показателю суммарного содержания антиоксидантов (в пересчёте на галловую кислоту); результаты представлены в таблице

Антиоксидантная активность растительных экстрактов

Наименование экстракта	Антиоксидантная активность, мг/дм ³
Чая зелёного	406,7±17,6
Эхинацеи пурпурной (травы)	316,7±14,0
Мяты перечной (листья)	125,2±5,3

Сравнительная характеристика АОА свидетельствует о том, что наибольшей активностью обладают экстракты чая зелёного и эхинацеи, что связано, вероятно, с высоким содержанием в них природных антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, фенольных веществ).

Таким образом, можно сделать вывод, что водные экстракты из зелёного чая, эхинацеи пурпурной и мяты перечной, полученные с учётом экспериментально обоснованных, оптимальных технологических параметров, могут быть использованы в технологии функциональных пищевых продуктов в качестве источников биологически активных веществ антиоксидантного действия.

На основе полученных растительных экстрактов нами разработаны композиции, которые были использованы в технологии безалкогольных напитков на ароматизаторах “Чайный букет” (СТО 9198-02-68551160–2015) и кислородного коктейля “Витаминный” (СТО 9226-01-77415036–2015), обладающих функциональной направленностью.

Выводы и заключение

Таким образом, в результате проведённых исследований, с использованием методов математического моделирования, был оптимизирован процесс экстрагирования биологически активных веществ растительного сырья (чай зелёный, эхинацея пурпурная, мята перечная). Графические зависимости выражены в виде полиномиальных уравнений второй степени. Представленные математические модели позволяют выбрать

рациональные режимы экстрагирования сырья в пределах границ применимости при изменении технологических параметров. Экспериментально установлены режимы экстракции, при которых наблюдается максимальный выход в экстракты функциональных ингредиентов (до 55% — для витамина С; от 54,5% до 80,1% — для флавоноидов). Определена высокая антиоксидантная активность полученных экстрактов (до 406,7 мг/дм³), что свидетельствует о перспективности их использования в технологии инновационных пищевых продуктов в качестве источников ценных биологически активных веществ. Разработаны композиции растительных экстрактов, которые были использованы в технологии функциональных пищевых продуктов (безалкогольные напитки на ароматизаторах “Чайный букет” и кислородный коктейль “Витаминный”).

Список источников

1. Бобренева И.В. Функциональные продукты питания и их разработка: монография. — СПб.: Лань, 2019. — 368 с.
2. Яшин Я.И., Рьжнев В.Ю., Яшин А.Я. [и др.]. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и их влияние на здоровье и старение человека. — М.: ТрансЛит, 2009. — 234 с.
3. Шретер А.И. Целебные растения Дальнего Востока и их применение. — Владивосток: ИПК “Дальпресс”, 2000. — 143 с.
4. Палагина М.В., Дубняк Я.В., Голов В.И. Ресурсы пищевого сырья Дальневосточного региона: учеб. пособие. — Владивосток: ИД ДВФУ, 2012. — 156 с.
5. Cherevach E.I., Shehekaleva R.K. Justification of *Saponaria officinalis* (*S. officinalis*) cultivation period in soil and climatic conditions for Primorsky region (Russia) and analysis of saponin-containing root extracts // Journal of Central European Agriculture (JCEA). 2020. No. 21 (2). P. 420–430.
6. Афонина С.Н., Лебедева Е.Н. Химические компоненты чая и их влияние на организм // Успехи современного естествознания. 2016. № 6. С. 59–63.
7. Петрухин Д.А., Киселева Е.Э., Землякова Е.С. Исследование биологически активных веществ зелёного чая // Вестник молодёжной науки. 2021. № 4 (31). — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48706742>.
8. Логвинчук Т.М. Выбор растительного сырья для создания многокомпонентных растворимых чайных напитков // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 83-2. С. 83–86.
9. Черевач Е.И., Вдовченко М.Е., Палагина М.В. Технология и товароведная оценка безалкогольных ароматизированных напитков с растительными экстрактами // Пищевая промышленность, 2016. № 11. С. 26–29.
10. Митропов В.В., Цветков О.Б. Основы теории массообмена. — СПб: Университет ИтМО, 2019. — 126 с.
11. Быков И.И., Компанцев Д.В., Привалов И.М. Экстрагирование биологически активных веществ из *Zingiber officinale roscoe* в технологии фитопрепаратов (обзор) // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2017. Т. 16. № 2. С. 170–180.

Сведения об авторах / About authors

Черевач Елена Игоревна, доктор технических наук, доцент, профессор базовой кафедры “Биоэкономики и продовольственной безопасности”, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. ORCID: 0000-0003-4958-8928. E-mail: elena_cherevach@mail.ru.

Elena I. Cherevach, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. ORCID: 0000-0003-4958-8928. E-mail: elena_cherevach@mail.ru.

Разгонова Майя Петровна, кандидат технических наук, директор Дальневосточной опытной станции, Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). 190031, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42. ORCID: 0000-0002-9732-1649. E-mail: m.razgonova@vir.nw.ru.

Maya P. Razgonova, Ph. D. in Technical Sciences, Head of Far East OS Branch of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. N.I. Vavilov (VIR). Bld. 42, str. Bolshaya Morskaya, St. Petersburg, Russia, 190031. ORCID: 0000-0002-9732-1649. E-mail: m.razgonova@vir.nw.ru.

Вдовченко Мария Евгеньевна, кандидат технических наук, ассистент Департамента биомедицинской химии Института наук о жизни и биомедицины, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. E-mail: vdovchenko.me@dvfu.ru.

Maria E. Vdovchenko, Ph. D. in Technical Sciences, Assistan of Department of Biomedical Chemistry, Institute of Life Sciences and Biomedicine Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. E-mail: vdovchenko.me@dvfu.ru.

Палагина Марина Всеволодовна, доктор технических наук, профессор, профессор базовой кафедры “Биоэкономики и продовольственной безопасности”, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. ORCID: 0000-0002-1926-0617. E-mail: palagina.mv@dvfu.ru.

Marina V. Palagina, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. ORCID: 0000-0002-1926-0617. E-mail: palagina.mv@dvfu.ru.

Тарашкевич Елена Юрьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель Департамента маркетинга и развития рынков Школы экономики и менеджмента; младший научный сотрудник Передовой инженерной школы “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. ORCID: 0000-0002-0359-3134. E-mail: tarahkevich.yu@dvfu.ru.

Elena Yu. Tarashkevich, Ph. D. in Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Marketing and Market Development of School of Economics and Management; Junior Research Fellow of Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. ORCID: 0000-0002-0359-3134. E-mail: tarahkevich.yu@dvfu.ru.

Стёпочкина Варвара Дмитриевна, аспирант Передовой инженерной школы “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. ORCID: 0000-0002-4124-6002. E-mail: stepochkina.vd@dvfu.ru.

Varvara D. Stepochkina, Post-graduate student of Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. ORCID: 0000-0002-4124-6002. E-mail: stepochkina.vd@dvfu.ru.

© Черевач Е.И., Разгонова М.П., Вдовченко М.Е.,
Палагина М.В., Тарашкевич Е.Ю., Стёпочкина В.Д., 2023
© Cherevach E.I., Razgonova M.P., Vdovchenko M.E.,
Palagina M.V., Tarashkevich E.Yu., Stepochkina V.D., 2023

Адрес сайта в сети Интернет: <http://jem.dvfu.ru>