

## Пищевая биотехнология

## Food biotechnology

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-3-32-39>







Обзорная статья / Review article

УДК 640

Open Access

Available online at [vestnik-vsuet.ru](http://vestnik-vsuet.ru)

### Использование капсулированных ингредиентов в разработке пищевых продуктов с высокой биологической ценностью: систематический обзор







Анна Т. Васюкова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:vasyukova-at@ya.ru">vasyukova-at@ya.ru</a>	 0000-0002-7374-4145
Анатолий В. Вейберов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:veyberov2000@mail.ru">veyberov2000@mail.ru</a>	 0000-0002-4778-5592
Любовь С. Смирнова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:lubasmirnova98@mail.ru">lubasmirnova98@mail.ru</a>	 0000-0002-4733-7722
Ольга А. Суворов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:suvorovoa@mgupp.ru">suvorovoa@mgupp.ru</a>	 0000-0003-2100-0918
Владимир А. Бухтояров	<sup>2</sup>	<a href="mailto:buh@solid.nsc.ru">buh@solid.nsc.ru</a>	 0000-0003-4808-9692
Алексей Л. Бычков	<sup>1,2</sup>	<a href="mailto:bychkov.a.l@gmail.com">bychkov.a.l@gmail.com</a>	 0000-0002-8951-5005

<sup>1</sup> Московский государственный университет пищевых производств, 11, Волоколамское шоссе, Москва, 125080, Россия<sup>2</sup> Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, Россия

**Аннотация.** В статье изложены результаты систематического обзора литературы, представляющие актуальные сведения о функциональных свойствах капсулированных биологически активных добавок к пище. Капсулирование является физико-химическим или механическим процессом заключения мелких частиц вещества в оболочку из пленкообразующего материала. В пищевой промышленности и фармацевтике капсулирование биоактивных компонентов используется для регулирования окислительно-восстановительных реакций, корректирования вкуса, цвета и запаха, увеличения срока годности и т. д. Поступающие на рынок в настоящее время продукты, напитки и сырье для их производства должны отвечать требованиям безопасности, аутентичности и пищевой ценности. Как компоненты функциональных продуктов питания в настоящее время рассматриваются капсулированные формы пищевых добавок. С появлением «молекулярной гастрономии» технологические свойства малоизвестных гидроколлоидов стали более применимы производителями продукции общественного питания, что повлияло на расширение сферы их использования в разработке инновационных пищевых продуктов. Одним из приемов данного направления является капсулирование различных пищевых масс (соусы, соки, экстракты и др.). Данный способ является эффективным инструментом доставки биологически активных молекул (антиоксидантов, минералов, витаминов, фитостероидов, полиненасыщенных жирных кислот и т. д.) в продукты питания. Приведены данные по оптимизации использования капсулированных биологически активных добавок к пище. Данные этого обзора дадут представление о новых способах капсулирования, о способах повышения стабильности свойств и биодоступности функциональных продуктов питания. Капсулирование считается полезным инструментом для улучшения доставки активных соединений, нутриентов, а также живых клеток в пищевых продуктах для повышения иммунитета, улучшения самочувствия и для профилактики.

**Ключевые слова:** биологическая ценность, капсулирование, доставки биологически активных молекул.

### Using of encapsulated ingredients in design of food with high biological value: a systematic review

Anna T. Vasyukova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:vasyukova-at@ya.ru">vasyukova-at@ya.ru</a>	 0000-0002-7374-4145
Anatoly V. Veiberov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:veyberov2000@mail.ru">veyberov2000@mail.ru</a>	 0000-0002-4778-5592
Lyubov S. Smirnova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:lubasmirnova98@mail.ru">lubasmirnova98@mail.ru</a>	 0000-0002-4733-7722
Oleg A. Suvorov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:suvorovoa@mgupp.ru">suvorovoa@mgupp.ru</a>	 0000-0003-2100-0918
Vladimir A. Bukhtoyarov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:buh@solid.nsc.ru">buh@solid.nsc.ru</a>	 0000-0003-4808-9692
Alexey L. Bychkov	<sup>1,2</sup>	<a href="mailto:bychkov.a.l@gmail.com">bychkov.a.l@gmail.com</a>	 0000-0002-8951-5005

<sup>1</sup> Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russia<sup>2</sup> Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, 18 Kutateladze str., Novosibirsk, 630090, Russia

## Для цитирования

Васюкова А.Т., Вейберов А.В., Смирнова Л.С., Суворов О.А., Бухтояров В.А., Бычков А.Л. Использование капсулированных ингредиентов в разработке пищевых продуктов с высокой биологической ценностью: систематический обзор // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 3. С. 32–39. doi:10.20914/2310-1202-2022-3-32-39

## For citation

Vasyukova A.T., Veiberov A.V., Smirnova L.S., Suvorov O.A., Bukhtoyarov V.A., Bychkov A.L. Using of encapsulated ingredients in design of food with high biological value: a systematic review. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 3. pp. 32–39. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-3-32-39

**Abstract.** The article presents the results of a systematic review of the literature, presenting relevant information about the functional properties of encapsulated dietary supplements. Encapsulation is a physico-chemical or mechanical process of encapsulating small particles of a substance in a shell of film-forming material. In the food industry and pharmaceutical industry encapsulation of bioactive components is used to regulate redox reactions, adjust taste, color and odor, increase shelf life, etc. The products, beverages and raw materials for their production entering the market nowadays must meet the requirements of safety, authenticity and nutritional value. Encapsulated forms of food additives are currently being considered as components of functional foods. With the advent of "molecular gastro-nomy" the technological properties of little-known hydrocolloids became more applicable by the producers of public catering products, which influenced the expansion of their use in the development of innovative food products. One of the methods of this direction is encapsulation of various food masses (sauces, juices, extracts, etc.). This method is an effective tool for the delivery of biologically active molecules (antioxidants, minerals, vitamins, phytosterols, polyunsaturated fatty acids, etc.) in foods. Data on the optimization of the use of encapsulated dietary supplements are provided. The data in this review will provide insight into new encapsulation methods, ways to improve the stability of properties and bioavailability of functional foods. Encapsulation is considered a useful tool to improve the delivery of active compounds, nutrients, and living cells in foods to enhance immunity, well-being, and prevention.

**Keywords:** biological value, encapsulation, delivery of biologically active molecules.

## Введение

Современное состояние науки и технологии в сфере материаловедения характеризуется активным поиском новых материалов и технологий их получения. Одним из конкурентоспособных и энергосберегающих направлений современного материаловедения является использование в качестве сырья возобновляемых природных материалов.

В частности, актуальным и всё более часто используемым является процесс капсулирования материалов – нанесение тонких полимерных оболочек на твердые дисперсные материалы с размером частиц от десятков микрометров до нескольких миллиметров. Число дисперсных продуктов, для которых требуется капсулированная форма, постоянно увеличивается, поэтому создание надежных методик управления этим технологическим процессом весьма актуально [1, 2].

В пищевой промышленности применение технологии капсулирования обусловлено множеством причин. Данный способ является эффективным инструментом доставки биологически активных молекул (антиоксидантов, минералов, витаминов, фитостерина, полиненасыщенных жирных кислот и т. д.) в продукты питания [11].

Вещество, которое капсулируют, называется активным веществом, или основным продуктом, или внутренней фазой. Материал, в который заключают основной продукт, называют оболочкой, мембраной, стенкой, внешней фазой или матрицей. Ферран Адриа, шеф-повар ресторана El Bulli, предложил использовать технологии капсулирования в общественном питании, базируясь на способности растворов альгинатов образовывать гели при добавлении к ним ионов  $\text{Ca}^{2+}$ . В гастрономических кругах данный метод получил термин «сферификация» [3]. В качестве источника ионов  $\text{Ca}^{2+}$  используют соли – хлорид, лактат, либо глюконолактат

кальция. Техника сферификации позволяет получать капсулированные продукты из текучих или вязких веществ, суспензий, дисперсий, эмульсий, обратных эмульсий, коллоидных растворов в виде бесшовных наполненных капсул диаметром от 1,0 до 10,0 мм, путем заключения жидкости в тонкую гелевую оболочку. Полученная таким способом продукция имеет текстуру и внешний вид натуральной икры рыб, и при этом обладает различными ароматом и вкусом. Введение капсулируемой смеси осуществляется путем осевой капельной подачи в раствор, содержащий ионы кальция, где происходит мгновенное образование сферической оболочки вокруг капли капсулируемого вещества. Основной проблемой этого метода является то, что, увеличение толщины стенки продолжается, даже после промывки капсул водой, благодаря ионам кальция оставшимся в материале стенки. Это означает, что продукт необходимо готовить непосредственно перед подачей к столу, поскольку со временем капсулы превращаются в компактный шарик геля без жидкости внутри.

Модификацией метода сферификации является «обратная сферификация» когда ионы кальция находятся в инкапсулируемой жидкости. Раствор, содержащий наполнитель и ионы кальция, вводят каплями в раствор альгината натрия. Как и в методе с сферификации, альгинат натрия взаимодействует с ионами кальция, однако диффузии ионов внутрь капсулируемого раствора не происходит, что позволяет капсулы с жидким содержимым [3, 4].

В настоящее время для описания процесса капсулирования используют как эмпирические, так и феноменологические математические модели. Эмпирические модели могут включать до 15 параметров, при этом математический аппарат часто рассматривается как «черный ящик». Среди феноменологических моделей можно выделить модели, прогнозирующие

возникновение агломерации, распределение частиц по массе нанесенного покрытия, рассматривающие закономерности движения частиц в аппарате, сушку защитного покрытия. Ведется создание математических моделей и методик расчета процесса капсулирования в аппаратах с псевдооживленным слоем, а также гранулированию и модифицированию минеральных удобрений (В.Н. Кисельников, Л.Н. Овчинников, В.А. Круглов, А.Г. Липин, А.Г. Бердников, В.О. Небукин, 2019) [1]. Однако исследования в этом направлении не завершены.

В настоящее время важным является включение капсулированных биологически активных веществ для использования в виде пищевых добавок в рецептуры в процессе изготовления пищевых продуктов с высокой биологической ценностью. Вопросы, поднимаемые в ходе проведения данного систематического обзора, являются важными для пищевой промышленности. Основной акцент сделан на представленные в литературе возможные пути получения капсулированных БАВ, снижения затрат на производство, концепцию контролируемого высвобождения биоактивного соединения в пищу, широкое внедрение новых методов капсулирования, поиск новых продуктов, которые можно будет использовать в капсулировании и вопросы, связанные со стандартизацией свойств капсулированных продуктов.

### Материалы и методы

На первом этапе проведенного систематического исследования в базе данных Web of Science Core Collection, были отобраны статьи, по ключевым словам: *capsulation*, «*encapsulation*», «*vitamins*», *technology*, *molecular gastronomy*, *food product*.

На втором этапе были проанализированы аннотации статей на предмет наличия информации о применении капсулирования в пищевой промышленности, влиянии получаемых продуктов на организм животных и человека в частности, о различных способах капсуляции.

На третьем этапе, проанализировав тексты отобранных статей, был проведен отбор статей, несущих информацию о капсуляции различных биологически значимых элементов из продуктов растительного и животного происхождения и статей с новыми методами капсулирования.

Поиск был ограничен временным периодом с 2010 до 2022 года, также был задан минимальный порог цитирования – 5. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, для обеспечения объективности данных [6].

### Результаты и обсуждение

В результате обзора показано, что в настоящее время о получении и использовании капсулированных ингредиентов в пищевых продуктах имеется достаточно много сообщений [7, 8, 14]. Это микрокапсулы жиров, душистых и ароматических веществ, имитирующих запах лимона, масла перечной мяты, ментола, компонентов плодов, пряностей, приправ, пищевых добавок, экстракта черносмородинового сока, усваиваемое железо, эфирное масло, кондитерские добавки [10–13]. Известно применение микрокапсулированных добавок в хлебобулочных и кондитерских изделиях (данные British Nutrition Foundation) [2]. Несколько коммерческих продуктов на основе инкапсулированных пробиотиков и ароматических веществ предлагает японская компания Jintan Capsule Technology [2]. Используется ряд добавок фирмой Ud-chemie [2]. Среди них лимонная кислота в микрокапсулированном виде, используемая в качестве усилителя цвета мяса и колбас, а также подкислителя при производстве мороженого. Капсулированная яблочная кислота на жевательном мармеладе удерживает кислый вкус. Капсулированные формы куркумы и антоцианов обозначены в разделе инноваций фирмы WILD Flavors Inc (США) [1, 2, 3]. Имеются сведения о выпуске продуктов детского питания, содержащих витамины и микроэлементы (Galam Packaging Ltd), микрокапсулированных пробиотиков (бифидо и лактобактерий) и солей минералов (ООО «Арт-лайф») [1 – 4].

В промышленном масштабе внедрение капсулированных компонентов весьма ограничено, а успехи в создании промышленных технологий невелики [9]. Однако, полученные результаты оправдывают затраты. Так, введение в смеси детского питания капсулированных форм йода, железа, витаминов А и С, позволило улучшить биологические свойства готовой продукции. Увеличить биодоступность (по железу с 4 до 70%), уменьшить потери при хранении (по витамину А с 50 до 15%) и, соответственно, повысить эффективность продукции [2].

Капсуляция является распространенным подходом к улучшению бактериальной выживаемости пробиотиков. В исследовании [15] два новых низкометоксильных пектина использовались в качестве материалов для покрытия для получения микрокапсул для инкапсуляции *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* и *Lactobacillus rhamnosus*. Показано, что капсуляция не влияет на способность лактобацилл к ферментации.

По сравнению с контрольными образцами, микрокапсулы на основе пектина продемонстрировали значительную защиту капсулированных лактобацилл от теплового шока и имитации пищеварения в желудке [14, 15].

В работе [16] изучались характеристики, техно-функциональные свойства и эффективность капсуляции самособирающихся наноструктур бета-лактоглобулина. Молочная сыворотка является побочным продуктом сыроделия с высоким содержанием белка, используемым в пищевой промышленности благодаря своим техно-функциональным свойствам и пищевой ценности. Была подтверждена большая способность наноструктуры бета-лактоглобулина инкапсулировать гидрофобные молекулы.

Работу с морскими водорослями также проводили Kaushalya и Gunathilake [17]. Была рассмотрена капсуляция флоротанинов из съедобных бурых водорослей в хитозан, а также: биологическая активность и стабильность функциональных пищевых продуктов. Флоротаннины представляют собой семейство проверенных терапевтических средств, однако низкая стабильность препятствует полноценному проявлению их биологической активности в организме человека. Показано, что хранение при температурах -18 °C и 4 °C сохраняло в три раза больше как инкапсулированных, так и неинкапсулированных флоротаннинов, чем хранение при условиях окружающей среды.

Новые подходы к совместной инкапсуляции пробиотических бактерий с биоактивными соединениями, их польза для здоровья и разработка продуктов функционального питания рассмотрели Misra, Pandey и Hari и Mishra [18]. Показано, что совместное капсулирование биоактивных соединений и пробиотических бактерий в одном продукте обеспечивает синергетическую пользу для здоровья и повышает биологическую активность отдельных компонентов, тем самым улучшая взаимодействие пробиотических бактерий со стенкой кишечника во время пищеварения. Этот процесс имеет преимущества по удобству и стоимости по сравнению с капсулированием отдельных ингредиентов. Процесс совместной капсуляции также улучшает срок хранения пищевых продуктов с долгосрочной стабилизацией пробиотических бактерий и биоактивных соединений. В будущем необходимо исследовать механизм высвобождения этих ингредиентов в модельной системе животных, а также включить микрокапсулы в состав экономичных функциональных пищевых продуктов.

Растет интерес к капсуляции в полимерные композиции нескольких макромолекул для

использования потенциальной синергии между ними, повышения стабильности и эффективности использования продукта. В работе [19] рассмотрено капсулирование витамина D<sub>3</sub> и рутина внутри микрочастиц из хитозана и зеина. Были получены сыпучие порошки сферических микрочастиц с изогнутой поверхностью и размером частиц < менее 10 мкм. Эффективность капсуляции составила 75% для витамина D<sub>3</sub> и 44% для рутина, что может быть связано с их разным размером молекул и сродством к водной фазе. Полученные микрочастицы подходят для использования в качестве пищевого ингредиента для обогащения витамином D<sub>3</sub>, при этом соинкапсулированный рутин действует как усилитель стабильности и активности.

Изготовление pH-чувствительных частиц для капсуляции и высвобождения фукоксантина в толстой кишке разработали в работе [20]. Повышение стабильности фукоксантина в желудочно-кишечном тракте является важным подходом к повышению его пероральной биодоступности. Предложено новое устройство, позволяющее получать частицы с одинаковым размером, продемонстрирована перспективность использования микрофлюидного подхода для изготовления системы.

Затронута важная тема превращения отходов окары в богатые питательными веществами полисахаридные / белковые экстракты для совместной капсуляции бета-каротина и сульфата железа. Окара – побочный продукт переработки соевых бобов, подходящий для вторичной переработки в сырье для капсулирования микроэлементов. Недостаточность питательных микроэлементов, особенно в развивающихся странах, является серьезной проблемой общественного здравоохранения. Экстракты окары были получены с помощью процесса экстракции и впоследствии были использованы в качестве инкапсулирующего материала для микронутриентов бета-каротина и капсуляции сульфата железа с использованием зеина в качестве наполнителя. Распылительная сушка использовалась для производства частиц с различным составом, которые оценивались по профилям высвобождения, сроку годности, антиоксидантной активности бета-каротина и клеточной цитотоксичности. Продукт с оптимизированным составом продемонстрировал последовательное высвобождение сульфата железа бета-каротина в моделируемой желудочной жидкости. Профиль последовательного высвобождения способствует усвоению обоих питательных микроэлементов и потенциально может повысить их биодоступность [21].

Ресвератрол, хорошо известное биологически активное соединение, капсулировали для применения в майонезе [22]. Оценивали физико-химические показатели, микроструктуру, физическую стабильность, антиоксидантную активность, эффективность капсуляции. Результаты показали, что капсулированная форма ресвератрола способна поддерживать антиоксидантные свойства в майонезе в течение срока годности и может использоваться в продуктах с высоким содержанием жира для снижения окисления и улучшения их питательных свойств.

Обогащение альгинатной матрицы, используемой для капсулирования пробиотиков концентратом сывороточного белка или его гидролизатом, полученным из трипсина и влияние на антиоксидантную способность и стабильность ферментированных напитков на основе сыворотки рассмотрели сербские ученые Kruni и Rakin [10], занимающиеся созданием функционального питания на основе молочной сыворотки. Белки и пептиды в матрице для капсуляции способствуют механическим свойствам гранул, ферментативной активности, толерантности к кислотам и желчи, а также выживанию пробиотиков во время имитации желудочно-кишечного тракта. Используя технологию капсулирования создан натуральный и неотличимый по вкусу аналог красной икры. В спецкапсулу поместили рыбий жир, извлекаемые из морских водорослей полисахариды и бета-каротин. В итоге получившийся продукт максимально приближен к натуральному аналогу не только по вкусу, но и по составу.

Также, капсулированные соки и джемы были добавлены в творожки. Разработанные капсулы при употреблении лопаются во рту, создавая оригинальный вкусовой эффект. Утверждается, что значительный научный и практический интерес представляет создание аналогов деликатесных продуктов, которые по своей структуре имеет форму капсулы с термостойкой оболочкой. В этих условиях перспективным является использование в качестве капсулообразователя альгината натрия, способного к ионотропному гелеобразованию.

### Заключение

В результате проведенных исследований по анализу публикаций, представленных в базе данных Web of Science Core Collection и посвященных капсулированию биологически активных веществ для использования их в пищевых технологиях, можно свидетельствовать об актуальности и перспективе развития науки и технологий в области капсулирования.

Капсулированные продукты нашли применение в фармацевтической и косметической промышленности, и на сегодняшний день капсулирование набирает популярность в развитии пищевой промышленности. И несмотря на то, что по этой теме были проведены многочисленные исследования, по-прежнему множество вопросов, касающихся прежде всего физико-химических основ гетерогенного формирования микрокапсул, остаются не закрытыми и требуется дальнейшие исследования остаются не закрытыми и требуется дальнейшие исследования.

### Литература

- 1 Небукин В.О. Капсулирование дисперсных материалов в аппаратах с псевдоожиженным слоем. Иваново, 2019. 132 с.
- 2 Литвишко В.С. Микрокапсулированные ингредиенты для функциональных продуктов питания // Инновации в науке, 2012. С. 188–193.
- 3 Винницкая В.Ф., Данилин С.И., Перфилова О.В. Перспективы развития производства основных видов плодоовощной продукции для полноценного и здорового питания // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности. 2014. № 2. С. 45–51.
- 4 Еремеева Н.Б., Макарова Н.В., Быков Д.Е., Бахарев В.В. и др. Съедобные пленки на основе яблочного пюре с добавлением пектина, клетчатки, карбоксиметилцеллюлозы // Пищевая промышленность. 2016. № 11. С. 32–34.
- 5 Бычков А.Л., Решетникова П.А., Трофимова Е.Г., Бычкова Е.С. и др. Механохимическое получение пищевой добавки, содержащей витамин D и хелатированные формы кремния // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 190–196. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-190-196
- 6 Плотнокова Т.В., Тяпкина Е.В., Табала Е.Б. Насыщение продовольственного рынка за счет местного плодово-ягодного сырья // Медицина и образование в Сибири. 2009. № 6. С. 124–128.
- 7 Белкин Ю.Д., Литвишко В.С. Микрокапсулирование ферментов и продуктов микробного происхождения // Биохимическая физика: материалы VIII Международной конференции ИБХФ РАН. Москва, 2008. С. 87.
- 8 Белкин Ю.Д., Литвишко В.С., Москалев Е.В. Микрокапсулирование в пищевой промышленности // Сборник трудов РЭУ им. Г.В. Плеханова. Москва, 2009. С. 135.
- 9 Белкин Ю.Д., Литвишко В.С., Москалев Е.В., Микрокапсулирование ингредиентов для функциональных продуктов питания // Технологии и продукты здорового питания: материалы VII Международной научно-практической конференции. М., 2009. С. 66.
- 10 Типсина Н.Н. Место пектина в функциональном питании // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2009. № 3. С. 213–216.

- 11 Васюкова А.Т., Першакова Т.В., Фалин Д.Н., Яковлева Т.В. и др. Влияние обогащающих добавок на пищевую ценность мясных и рыбных продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. № 2–3 (320–321). С. 11–13;
- 12 Драчева Л.В., Зайцев Н.К., Жарикова О.А., Васюкова А.Т. Суммарная антиоксидантная активность растительных экстрактов // Пищевая промышленность. 2011. № 9. С. 44–45.
- 13 Першакова Т.В., Васюкова А.Т., Жилина Т.С., Яковлева Т.В. и др. Применение нетрадиционного сырья в рецептурах кулинарных изделий // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. № 1 (319). С. 36–37.
- 14 Васюкова А.Т., Богонослова И.А., Баженов Н.С. Рациональное питание организованных коллективов // Прикладные исследования и технологии: Сборник трудов. М.: МТИ, 2019. С. 28–31.
- 15 He C., Sampers I., Van de Walle D., Dewettinck K., Raes K. Encapsulation of Lactobacillus in Low-Methoxyl Pectin-Based Microcapsules Stimulates Biofilm Formation: Enhanced Resistances to Heat Shock and Simulated Gastrointestinal Digestion // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2021. V. 69. № 22. P. 6281–6290. doi: 10.1021/acs.jafc.1c00719
- 16 D'Onofre Couto B., Novaes da Costa R., Castro Laurindo W., Moraes da Silva H. et al. Characterization, techno-functional properties, and encapsulation efficiency of self-assembled  $\beta$ -lactoglobulin nanostructures // Food Chemistry. 2021. V. 356. P. 129719. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129719
- 17 Kaushalya K.G.D., Gunathilake K.D.P.P. Encapsulation of phlorotannins from edible brown seaweed in chitosan: Effect of fortification on bioactivity and stability in functional foods // Food Chemistry. 2022. V. 377. P. 132012. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.132012
- 18 Misra S., Pandey P., Mishra H.N. Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their health benefits and functional food product development: A review // Trends in Food Science & Technology. 2021. V. 109. P. 340–351. doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.039
- 19 Tchienbou-Magaia F.L., Tolve R., Anyadike U., Giarola M. et al. Co-encapsulation of vitamin D and rutin in chitosan-zein microparticles // Journal of Food Measurement and Characterization. 2022. doi: 10.1007/s11694-022-01340-2
- 20 Liang D., Su W., Zhao X., Li J. et al. Microfluidic Fabrication of pH-Responsive Nanoparticles for Encapsulation and Colon-Target Release of Fucoxanthin // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2021. V. 70. № 1. P. 124–135. doi: 10.1021/acs.jafc.1c05580
- 21 Kharel S., Gautam A., Mahotra M., Theniko N.M. et al. Valorizing okara waste into nutritionally rich polysaccharide/protein-extracts for co-encapsulation of  $\beta$ -carotene and ferrous sulphate as a potential approach to tackle micronutrient malnutrition // Journal of Functional Foods. 2021. V. 87. P. 104749. doi: 10.1016/j.jff.2021.104749
- 22 Camelo-Silva C., Ribeiro Sanches M.A., Brito R.M., Devilla I.A. et al. Influence of buriti pulp (*Mauritia Flexuosa* L.) concentration on thermophysical properties and antioxidant capacity // LWT. 2021. V. 151. P. 112098. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112098


## References

- 1 Nebukin V.O. Capsulation of dispersed materials in devices with a fluidized bed. Ivanovo, 2019. 132 p. (in Russian).
- 2 Litvishko V.S. Microencapsulated ingredients for functional foods. Innovations in science, 2012. pp. 188–193. (in Russian).
- 3 Vinnitskaya V.F., Danilin S.I., Perfilova O. Prospects for the development of production of the main types of fruit and vegetable products for full and healthy diet. Technologies of food and processing industry. 2014. no. 2. pp. 45–51. (in Russian).
- 4 Eremeyeva N.B., Makarova N.V., Bykov D.E., Bakharev V.V. et al. Edible films based on apple puree with the addition of pectin, fiber, carboxymethylcellulose. Food Industry. 2016. no. 11. pp. 32–34. (in Russian).
- 5 Bychkov A.L., Reshetnikova P.A., Trofimova E.G., Bychkova E.S. et al. Mechanochemical production of a food additive containing vitamin D and chelated forms of silicon. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 190–196. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-190-196 (in Russian).
- 6 Plotnikova T.V., Tyapkina E.V., Tabala E.B. Saturation of the food market at the expense of local fruit and berry raw materials. Medicine and education in Siberia. 2009. no. 6. pp. 124–128. (in Russian).
- 7 Belkin Y.D., Litvishko V.S. Microencapsulation of enzymes and products of microbial origin. Biochemical Physics: Proceedings of the VIII International Conference of the IBHP RAS. Moscow, 2008. pp. 87. (in Russian).
- 8 Belkin Yu. D., Litvishko V.S., Moskalev E.V., Microencapsulation in the food industry. Proceedings of Plekhanov Russian University of Economics. Moscow, 2009. pp. 135. (in Russian).
- 9 Belkin Yu. D., Litvishko V.S., Moskalev E.V., Microencapsulation of ingredients for functional foods. Technologies and products of healthy food: Materials of VII International Scientific and Practical Conference. Moscow, 2009. pp. 66. (in Russian).
- 10 Tipsina N.N. The place of pectin in functional food. Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2009. no. 3. pp. 213–216. (in Russian).
- 11 Vasyukova A.T., Pershakova T.V., Falin D.N., Yakovleva T.V. et al. Effect of enriching additives on the food value of meat and fish products. Proceedings of Higher Education Institutions. Food Technology. 2011. no. 2–3 (320–321). pp. 11–13. (in Russian).
- 12 Dracheva LV, Zaitsev NK, Zharikov OA, Vasyukova AT The total antioxidant activity of rasic extracts. Food Industry. 2011. no. 9. pp. 44–45. (in Russian).
- 13 Pershakova T.V., Vasyukova A.T., Zhilina T.S., Yakovlev T.V. et al. The use of untraditional raw materials in the formulation of culinary products. Proceedings of Higher Education Institutions. Food Technology. 2011. no. 1 (319). pp. 36–37. (in Russian).


- 14 Vasyukova A.T., Bogonosova I.A., Bazhenov N.S. Rational nutrition of organized groups. Applied research and technology: Collection of works. M., MTI, 2019. pp. 28–31. (in Russian).
- 15 He C., Sampers I., Van de Walle D., Dewettinck K., Raes K. Encapsulation of Lactobacillus in Low-Methoxyl Pectin-Based Microcapsules Stimulates Biofilm Formation: Enhanced Resistances to Heat Shock and Simulated Gastrointestinal Digestion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2021. vol. 69. no. 22. pp. 6281–6290. doi: 10.1021/acs.jafc.1c00719
- 16 D'Onofre Couto B., Novaes da Costa R., Castro Laurindo W., Moraes da Silva H. et al. Characterization, technological properties, and encapsulation efficiency of self-assembled  $\beta$ -lactoglobulin nanostructures. *Food Chemistry*. 2021. vol. 356. pp. 129719. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129719
- 17 Kaushalya K.G.D., Gunathilake K.D.P.P. Encapsulation of phlorotannins from edible brown seaweed in chitosan: Effect of fortification on bioactivity and stability in functional foods. *Food Chemistry*. 2022. vol. 377. pp. 132012. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.132012
- 18 Misra S., Pandey P., Mishra H.N. Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their health benefits and functional food product development: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. vol. 109. pp. 340–351. doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.039
- 19 Tchienbou-Magaia F.L., Tolve R., Anyadike U., Giarola M. et al. Co-encapsulation of vitamin D and rutin in chitosan-zein microparticles. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2022. doi: 10.1007/s11694-022-01340-2
- 20 Liang D., Su W., Zhao X., Li J. et al. Microfluidic Fabrication of pH-Responsive Nanoparticles for Encapsulation and Colon-Target Release of Fucoxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2021. vol. 70. no. 1. pp. 124–135. doi: 10.1021/acs.jafc.1c05580
- 21 Kharel S., Gautam A., Mahotra M., Theniko N.M. et al. Valorizing okara waste into nutritionally rich polysaccharide/protein-extracts for co-encapsulation of  $\beta$ -carotene and ferrous sulphate as a potential approach to tackle micronutrient malnutrition. *Journal of Functional Foods*. 2021. vol. 87. pp. 104749. doi: 10.1016/j.jff.2021.104749
- 22 Camelo-Silva C., Ribeiro Sanches M.A., Brito R.M., Devilla I.A. et al. Influence of buriti pulp (*Mauritia Flexuosa* L.) concentration on thermophysical properties and antioxidant capacity. *LWT*. 2021. vol. 151. pp. 112098. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112098

#### Сведения об авторах


**Анна Т. Васюкова** д.т.н., профессор, профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, vasyukova-at@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>


**Анатолий В. Вейберов** магистрант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, veyberov2000@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4778-5592>


**Любовь С. Смирнова** магистрант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, lubasmirnova98@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4733-7722>


**Ольга А. Суворов** д.т.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, suvorovoa@mgup.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

**Владимир А. Бухтояров** ведущий инженер, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, лаборатория механохимии, ул. Мичурина, 15, г. Новосибирск, 630091, Россия, buh@solid.nsc.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-4808-9692>

**Алексей Л. Бычков** д.т.н., профессор, начальник, научная часть, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, bychkov.a.l@gmail.com


 <https://orcid.org/0000-0002-8951-5005>

#### Information about authors


**Anna T. Vasyukova** Dr. Sci. (engine.), professor, Department of Food Industry, Hotel Business and Service, V Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, vasyukova-at@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>


**Anatoly V. Veiberov** master student, Department of Food Industry, Hotel Business and Service, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, veyberov2000@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4778-5592>


**Lyubov S. Smirnova** master student, Department of Food Industry, Hotel Business and Service, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, lubasmirnova98@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4733-7722>


**Oleg A. Suvorov** Dr. Sci. (engine.), professor, Department of Food Industry, Hotel Business and Service, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, suvorovoa@mgup.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

**Vladimir A. Bukhtoyarov** Leading Engineer of the Laboratory, Mechanochemistry Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, mechanochemistry laboratory, Michurina str., 15, Novosibirsk, 630091, Russia, buh@solid.nsc.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4808-9692>

**Alexey L. Bychkov** Dr. Sci. (engine.), professor, Chief, Head of the Scientific department, Moscow State University of Food Production, scientific department, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, bychkov.a.l@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8951-5005>



**Вклад авторов**

**Анна Т. Васюкова** предложила методику проведения эксперимента

**Анатолий В. Вейберов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Любовь С. Смирнова** консультация в ходе исследования

**Ольга А. Суворов** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Владимир А. Бухтояров** предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

**Алексей Л. Бычков** выполнил патентный поиск, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution**

**Anna T. Vasyukova** proposed a methodology for conducting an experiment

**Anatoly V. Veiberov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Lyubov S. Smirnova** consultation during the study

**Oleg A. Suvorov** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Vladimir A. Bukhtoyarov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Alexey L. Bychkov** performed a patent search, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 20/05/2022	<b>После редакции</b> 12/06/2022	<b>Принята в печать</b> 22/07/2022
<b>Received</b> 20/05/2022	<b>Accepted in revised</b> 12/06/2022	<b>Accepted</b> 22/07/2022