

Научная статья

УДК 579.083.13, 602.027.236, 637.146

<https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.1.11>

## Технология инкапсулирования *Lactiplantibacillus Plantarum* в оболочку альгината кальция для получения микрокапсул различных размеров

Роза Эмировна Григорян<sup>1</sup>, Владимир Петрович Курченко<sup>2</sup>, Наталья Алексеевна Головнева<sup>3</sup>,  
Вера Витальевна Денисенко<sup>4</sup>, Инна Александровна Найдено<sup>5</sup>, Динара Александровна  
Салманова<sup>6</sup>, Лиана Валериковна Гарибян<sup>7</sup>, Игорь Владимирович Ржепаковский<sup>8</sup>, Людмила  
Руслановна Алиева<sup>9</sup>, Алексей Дмитриевич Лодыгин<sup>10\*</sup>, Иван Алексеевич Евдокимов<sup>11</sup>,  
Мария Ивановна Шрамко<sup>12</sup>

<sup>1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12</sup> Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

<sup>3, 4, 5</sup> Институт микробиологии НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

<sup>1</sup> roza178225@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-6005-1814>

<sup>2</sup> Kurchenko@tut.by; <https://orcid.org/0000-0002-4859-2389>

<sup>3</sup> golovnyova@yandex.by; <https://orcid.org/0009-0007-6564-8544>

<sup>4</sup> biochem\_lab@mbio.bas-net.by; <https://orcid.org/0000-0003-4385-7250>

<sup>5</sup> biochem\_lab@mbio.bas-net.by; <https://orcid.org/0000-0001-9341-9617>

<sup>6</sup> salmanova.dinara@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0003-2240-0777>

<sup>7</sup> liana.garibian@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-5153-0373>

<sup>8</sup> irzhepakovskii@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2632-8923>

<sup>9</sup> ali-ludmila@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3706-1539>

<sup>10</sup> allodygin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8460-2954>

<sup>11</sup> ievdokimov@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3706-1539>

<sup>12</sup> marusyashramko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7100-1014>

\* Автор, ответственный за переписку: Алексей Дмитриевич Лодыгин, allodygin@yandex.ru

**Аннотация.** *Капсулирование Lactiplantibacillus plantarum в альгинат натрия проводилось методом экструзии с использованием установки ИИ 0.35-1.5 (ООО «МЗТА», г. Муром). Изменяя скорость привода диспергатора были получены микрокапсулы различных размеров: 805±410, 725±400, 547±300, 304±175 мкм, соответственно. Определена производительность технологии микрокапсулирования, средние размеры полученных гидратированных и сублимированных микрокапсул, их морфологические особенности. Исследовано содержание жизнеспособных клеток в микрокапсулах различного размера.*

**Ключевые слова:** инкапсулирование, *Lactiplantibacillus plantarum*, альгинат натрия, жизнеспособность лактобактерий, пробиотики, экструзия

**Для цитирования:** Григорян Р. Э., Курченко В. П., Головнева Н. А., Денисенко В. В., Найдено И. А., Салманова Д. А., Гарибян Л. В., Ржепаковский И. В., Алиева Л. Р., Лодыгин А. Д., Евдокимов И. А., Шрамко М. И. Технология инкапсулирования *Lactiplantibacillus Plantarum* в оболочку альгината кальция для получения микрокапсул различных размеров // Современная наука и инновации. 2025. № 1. С. 135-149. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.1.11>

© Григорян Р. Э., Курченко В. П., Головнева Н. А., Денисенко В. В., Найдено И. А., Салманова Д. А., Гарибян Л. В., Ржепаковский И. В., Алиева Л. Р., Лодыгин А. Д., Евдокимов И. А., Шрамко М. И., 2025

Research article

## The technology of encapsulation of *Lactiplantibacillus Plantarum* in a calcium alginate shell to produce microcapsules of various sizes

Roza E. Grigorian<sup>1</sup>, Vladimir P. Kurchenko<sup>2</sup>, Natalya A. Golovnyova<sup>3</sup>, Vera V. Denisenko<sup>4</sup>, Inna A. Naidenko<sup>5</sup>, Dinara A. Salmanova<sup>6</sup>, Liana V. Garibian<sup>7</sup>, Igor V. Rzhepakovsky<sup>8</sup>, Ludmila R. Alieva<sup>9</sup>, Aleksey D. Lodygin<sup>10\*</sup>, Ivan A. Evdokimov<sup>11</sup>, Maria Shramko<sup>12</sup>

<sup>1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12</sup> North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

<sup>2</sup> Belarusian State University, Minsk, Belarus

<sup>3, 4, 5</sup> Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,

<sup>1</sup> roza178225@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-6005-1814>

<sup>2</sup> Kurchenko@tut.by; <https://orcid.org/0000-0002-4859-2389>

<sup>3</sup> golovnyova@yandex.by; <https://orcid.org/0009-0007-6564-8544>

<sup>4</sup> biochem\_lab@mbio.bas-net.by; <https://orcid.org/0000-0003-4385-7250>

<sup>5</sup> biochem\_lab@mbio.bas-net.by; <https://orcid.org/0000-0001-9341-9617>

<sup>6</sup> salmanova.dinara@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0003-2240-0777>

<sup>7</sup> liana.garibian@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-5153-0373>

<sup>8</sup> irzhepakovskii@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2632-8923>

<sup>9</sup> ali-ludmila@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3706-1539>

<sup>10</sup> allodygin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8460-2954>

<sup>11</sup> ievdokimov@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3706-1539>

<sup>12</sup> marusyashramko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7100-1014>

\* **Corresponding author:** Aleksey D. Lodygin, allodygin@yandex.ru

**Abstract.** *The encapsulation of *Lactiplantibacillus plantarum* into sodium alginate was carried out by extrusion using the installation AI 0.35-1.5 (LLC "MZTA", Murom). By changing the speed of the dispersant drive microcapsules of various sizes are obtained: 805±410, 725±400, 547±300, 304±175 microns, respectively. The performance of the encapsulation technology, the average sizes of the hydrated and sublimated microcapsules obtained, and their morphological features are determined. The content of viable cells in microcapsules of various sizes has been studied.*

**Keywords:** encapsulation, *Lactiplantibacillus plantarum*, sodium alginate, viability of lactobacteria, probiotics, extrusion

**For citation:** Grigoryan RE, Kurchenko VP, Golovneva NA, Denisenko VV, Naidenko IA, Salmanova DA, Garibyan LV, Rzhepakovsky IV, Alieva LR, Lodygin AD, Evdokimov IA, Shramko MI. *The technology of encapsulation of *Lactiplantibacillus Plantarum* in a calcium alginate shell to produce microcapsules of various sizes. Modern Science and Innovations. 2025;(1):135-149. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.1.11>*

**Введение.** Молочнокислые бактерии являются наиболее часто используемыми пробиотическими микроорганизмами благодаря их благотворному воздействию на желудочно-кишечный тракт. [10]. Известно, что они предотвращают кишечные инфекции, регулируют уровень холестерина в сыворотке крови, стимулируют иммунную систему, улучшают усвоение лактозы и проявляют антиканцерогенную активность [13]. В связи с этим, они должны поступать в организм в соответствующем количестве и выдерживать неблагоприятные условия желудочно-кишечного тракта [5]. Необходимо отметить, что выживаемость пробиотических микроорганизмов резко снижается при переработке и хранении [14]. Для предотвращения этого процесса необходимо защитить лактобактерии от потери их жизнеспособности в неблагоприятных условиях. Для сохранения жизнеспособности и адресной доставки в достаточных количествах лактобактерии можно капсулировать в оболочку, которая защитит их от экстремальных воздействий [23, 24].

Капсулирование пробиотиков является эффективной технологией для повышения выживаемости и сохранения метаболической активности в желудочно-кишечном тракте, а также для обеспечения жизнеспособности при длительном хранении [16]. При инкапсуляции полимер образует капсулу, оболочка которой изолирует лактобактерии и защищает их от неблагоприятных воздействий [26]. Для капсулирования молочнокислых бактерий используются различные пищевые углеводные полимеры: крахмал, альгинат, хитозан, желатин, пектин, целлюлоза, каррагинан и ксантановая камедь [2, 19, 25].

Альгинат натрия является наиболее часто используемым материалом, пригодным практически для всех методов инкапсуляции [12]. Это линейный неразветвленный аморфный сополимер, состоящий из  $\beta$ -D-манурановой кислоты (M) и  $\alpha$ -L-гулурановой кислоты (G), соединенных 1-4 связями. Альгинат натрия широко используется в качестве желирующего агента, благодаря его способности образовывать гидрогели с двухвалентными катионами. Гидрогель образуется благодаря тому, что мономеры гулурановой кислоты альгината натрия связываются с катионами. В результате образуется водонерастворимая трехмерная сеть альгинатных нитей, которые удерживаются вместе за счет ионных взаимодействий [7]. Одним из широко используемых методов инкапсуляции является экструзия. Методом экструзии получают гидроколлоидные капсулы, используя дешевую и простую процедуру, которая сводит к минимуму повреждение пробиотиков, сохраняя при этом более высокую выживаемость клеток [3]. Этот метод заключается в приготовлении раствора альгината натрия, добавлении в него микроорганизмов и формировании капель путем выдавливания суспензии через экструдер для свободного падения. Полученные гидратированные сферы обрабатываются хлоридом кальция, что приводит к образованию водонерастворимых стенок капсул, внутренняя фаза которых содержит лактобактерии [22]. Дисперсная система, состоящая из дисперсной фазы – лактобактерий и дисперсной среды - альгината натрия поступает на диспергатор. Размеры образовавшихся микрокапсул зависят от скорости привода диспергатора, подающего гидратированные сферы для обработки хлористым кальцием.

Технологии инкапсуляции используются для сохранения жизнеспособности пробиотических клеток во время хранения, коммерциализации и использования в пищевых продуктах [17]. Сообщается, что инкапсулированные пробиотики содержатся в соках: яблочный сок (*Lactocaseibacillus rhamnosus*), морковный сок (*Lactobacillus acidophilus*), фруктовый сок (*Lactocaseibacillus rhamnosus* и *Bifidobacterium longum*), сок манго (*Lactiplantibacillus plantarum*), томатный сок (*Lactobacillus acidophilus*) и молочных продуктах: сыр чеддер (*Bifidobacterium longum*), сыр Моцарелла (*Lactocaseibacillus paracasei*), кефир (*Bifidobacterium animalis*) и йогурт (*Lactobacillus acidophilus*) [6, 8, 11].

Для поддержания жизнеспособности пробиотиков, а именно пробиотических бактерий *Limosilactobacillus reuteri* SW-23 и *Ligilactobacillus salivarius* RBL-50, они были успешно инкапсулированы в альгинатно-инулиновую матрицу, покрытую хитозаном [27]. Инкапсуляция *Lactiplantibacillus plantarum* и *Lactocaseibacillus rhamnosus* в альгинат с последующим покрытием хитозаном позволила сохранить высокую жизнеспособность лактобактерий в желудочно-кишечном тракте [1, 20].

Среди лактобактерий широкое практическое применение находят бактерии вида *Lpb. plantarum*. Его различные штаммы используются при производстве кисломолочных продуктов, ферментированных мясных продуктов, хлебобулочных изделий, молочной кислоты, фруктовых соков и др. [23]. Важной задачей для сохранения жизнеспособности лактобактерий этого вида является разработка технологий получения микрокапсул различного размера. В зависимости от размера микрокапсул внутренняя фаза может содержать разное количество жизнеспособных лактобактерий. Кроме этого, их водонерастворимая оболочка может содержать различное количество альгината и связанных с ним ионов кальция. Их соотношение будет определять физико-химические

свойства капсул: устойчивость к термическому разложению и перевариванию в желудочно-кишечном тракте, а также сохранению жизнеспособности *Lpb. plantarum* в процессе длительного хранения.

В связи с этим представлялось целесообразным разработать технологию инкапсулирования бактерий *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 [18], используемых в составе пробиотических препаратов, в альгинат натрия методом экструзии, исследовать физико-химические свойства микрокапсул и жизнеспособность лактобактерий в зависимости от их размера.

#### **Материалы и методы исследований.**

##### *Культивирование *Lpb. plantarum* БИМ-В 492*

В качестве объекта исследований был выбран штамм *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 (Белорусская коллекция непатогенных микроорганизмов Института микробиологии НАН Беларуси). Бактерии *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 поддерживались в жидкой питательной среде MRS [15] путем субкультивирования. Для длительного хранения бактерии лиофилизировали с использованием криозащитной среды, включающей обезжиренное сухое молоко и сахарозу. Для восстановления лиофильно высушенной культуры *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 использовали пермеат, полученный путем ультрафильтрации подсырной молочной сыворотки (установка мембранной фильтрации TestUnit M20, Alfa Laval, Швеция) на молочном комбинате «Ставропольский», Россия. Активизацию проводили путем добавления к 1,0 г лиофилизированных бактерий 20 мл пастеризованного пермеата, термостатировали 30 мин при оптимальной температуре (30°C). Затем восстановленную культуру вносили в пастеризованный пермеат, тщательно перемешивали и инкубировали при 30°C в течение 24 ч для накопления биомассы.

##### *Инкапсуляция *Lpb. plantarum* БИМ-В 492*

Инкапсулирование *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 проводили на экспериментальной установке ИИ 0.35-1.5 (ООО «МЗТА», г. Муром). Установка предназначена для микрогранулирования лактобактерий и других объектов. Для капсулирования готовили смесь: 200 мл культуральной жидкости *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 с добавлением 1800 мл 2 % раствора альгината натрия. Соотношение культуры лактобактерий и альгината натрия составляло 1:9 W/W. Полученную смесь помещали в емкость капсулятора для подачи на диспергатор. Для получения микрокапсул различных размеров при постоянной паспортной частоте насоса подачи смеси альгината и *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 изменяли скорость привода диспергатора, которая составляла 15,0; 20,0; 27,0; 33,0 об/сек, соответственно. Капсулы получали путем формирования из полученной смеси капель гелеподобной формы при центробежном разбрызгивании на стенках гранулятора и последующей их обработкой 4 % раствором хлористого кальция. Гидратированные микрогранулы промывали дистиллированной водой. Капсулы фильтровались через лавсановый фильтр до постоянной массы. Выход готовых гидратированных микрокапсул определяли гравиметрическим методом на весах (технические лабораторные весы ВЛТЭ-1100, ГОСМЕТР, Россия).

##### *Сублимационная сушка микрокапсул*

Полученные гидратированные капсулы замораживали при температуре минус 39,0–40,0°C в течение 72 ч (TEFCOLD, Выборг, Дания). Последующую сушку проводили в течение 27-30 ч в защищенной от света камере сублимационной сушилки BK-FD10PT (Biobase, Китай) при среднем рабочем давлении в сушильной камере 80,0–90,0 Па, температуре в конденсаторе – 48,0–49,0°C [21]. Выход сублимированных микрокапсул определяли гравиметрическим методом на весах (технические лабораторные весы ВЛТЭ-1100, ГОСМЕТР, Россия). Готовые капсулы хранили при температуре + 5 °С.

##### *Морфология и размер частиц*

Морфологические особенности и размеры гидратированных и сублимированных микрокапсул, полученных при скоростях привода диспергатора 15,0; 20,0; 27,0; 33,0 об/сек анализировали с использованием светового микроскопа Axio Imager 2 (A2) (Carl Zeiss Microscopy, Oberkochen, Germany) с увеличением 50. Результаты документировали

микроснимками, полученными с помощью специализированной фотокамеры AxioCam MRc5 и программного обеспечения Zen 2 Pro (Carl Zeiss Microscopy, Германия) [7].

*Определение количества микрокапсул*

Для определения количества сублимированных микрокапсул в 1 грамме готовили точную навеску микрокапсул 10 мг каждого размера. Проводили количественный учёт с использованием увеличительного стекла (x2,5). Пересчитывали количество микрокапсул на 1 грамм сублимата и выражали в шт/г. Опыт проводили в трёх повторностях.

*Количество жизнеспособных клеток *Lpb. plantarum* БИМ-В 492*

Количество жизнеспособных клеток бактерий *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 в 1 мл суспензии (число колониеобразующих единиц – КОЕ) определяли по ГОСТ 10444.11-2013 «Методы определения молочнокислых микроорганизмов» методом предельных разведений при высеве на модифицированную среду MRS: дрожжевой экстракт – 0,5 %; пептон – 1 %; мясо-пептонный бульон – 10 %; лактоза – 1 %; аммоний лимоннокислый – 0,5 %; натрий уксуснокислый – 0,2 %; калий фосфорнокислый 2-зам. – 0,4 %; магний сернокислый – 0,02 %; марганец сернокислый – 0,005 %; цистеин – 0,5 %; агар-агар – 0,1 %; pH – 6,5-6,8 [4]. Готовили ряд последовательных разведений образцов микрокапсул от  $10^{-1}$  до  $10^{-10}$ . Из каждого разведения в три пробирки со стерилизованной питательной средой параллельно вносили по 1 мл суспензий. После инкубирования в течение 48 ч при 30 °С проводили визуальный подсчет выросших колоний.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием общепринятых методов вариационной статистики пакета «Анализ данных» программы «Microsoft Office Excel 2016» (Microsoft Corporation).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Капсулирование *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 проводили на экспериментальной установке ИИ 0.35-1.5 (ООО «МЗТА», г. Муром). Установка предназначена для микрогранулирования лактобактерий и других объектов методом экструзии. На рисунке 1 представлена установка ИИ 0.35-1.5 (ООО «МЗТА», г. Муром).



**Рисунок 1 – Установка ИИ 0.35-1.5 (ООО «МЗТА», г. Муром) / Figure 1 – Installation of AI 0.35-1.5 (LLC «MZTA», Murom)**

**Источник: составлено авторами  
Source: compiled by authors**

Для получения микрокапсул различного размера готовили дисперсную систему, состоящую из дисперсной фазы – *Lpb. plantarum* БИМ-В 492, и дисперсной среды – 2 % раствора альгината натрия в соотношении 1:9. Полученную смесь объемом 2 литра

помещали в емкость подачи капсулятора. При изготовлении микрокапсул максимального размера устанавливалась паспортная частота насоса подачи смеси альгината и культуральной жидкости *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 и скорость привода диспергатора 15,0 об/сек. После обработки полученных гидратированных сфер 20 л 4% хлористого кальция они промывались 20 л дистиллированной воды и собирались в емкость. Капсулы фильтровались через лавсановый фильтр до постоянной массы. Время получения гидратированных микрокапсул максимального размера составило 100 мин, масса – 553,56 г.

Для получения капсул меньших размеров проводили аналогичные операции, при этом скорость привода диспергатора составляла 20,0; 27,0; 33,0 об/сек, частота насоса подачи дисперсной системы оставалась постоянной и составляла 24,5 Гц. Полученные гидратированные микрокапсулы с лактобактериями сублимировали. Сублимированные капсулы хранили при 4 °С.

Проводился анализ гидратированных и сублимированных микрокапсул. Исследовали морфологию, размеры, количество капсул и содержание в них жизнеспособных клеток.

В таблице 1 представлены технологические параметры процесса получения микрокапсул, их морфология, размеры и показатели жизнеспособности исследуемых бактерий.

**Таблица 1 – Параметры капсул, полученных при различной скорости привода диспергатора и постоянной частоте насоса подачи смеси / Table 1 – Parameters of capsules obtained at different speeds of the dispersant drive and a constant frequency of the mixture pump**

Параметры капсул	Скорость привода диспергатора, об/сек			
	15,0	20,0	27,0	33,0
Время получения микрокапсул, мин	100	125	130	180
Вес полученных гидратированных микрокапсул, г	553,6	573,8	455,9	423,0
Потери дисперсной системы, мл	280	350	475	550
Масса сублимированных микрокапсул, г	31,0	33,7	27,6	28,0
Количество сублимированных микрокапсул на грамм, шт	18 000	488 000	922 000	1 356 000
Количество жизнеспособных клеток, КОЕ/г	$2,4 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^6$
Количество жизнеспособных клеток, КОЕ/1 капсула	$1,3 \cdot 10^4$	$8,2 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^2$	5,9

Источник: составлено авторами  
Source: compiled by authors

Анализ результатов, представленных в таблице 1, показывает, что с увеличением скорости привода диспергатора с 15,0 до 33,0 об/сек продолжительность технологического процесса микрокапсулирования дисперсной системы объемом 2 л увеличивается в 1,8 раз. Масса полученных гидратированных микрокапсул с увеличением скорости привода диспергатора уменьшается в 1,3 раза. Как видно из таблицы 1, с повышением скорости привода диспергатора часть дисперсной системы остается в контуре капсулятора и не используется в технологическом процессе получения микрокапсул. Это связано с особенностями конструкции экспериментальной установки ИИ 0.35-1.5. На рисунке 2 представлена зависимость производительности используемого капсулятора от скорости привода диспергатора при получении гидратированных микрокапсул.

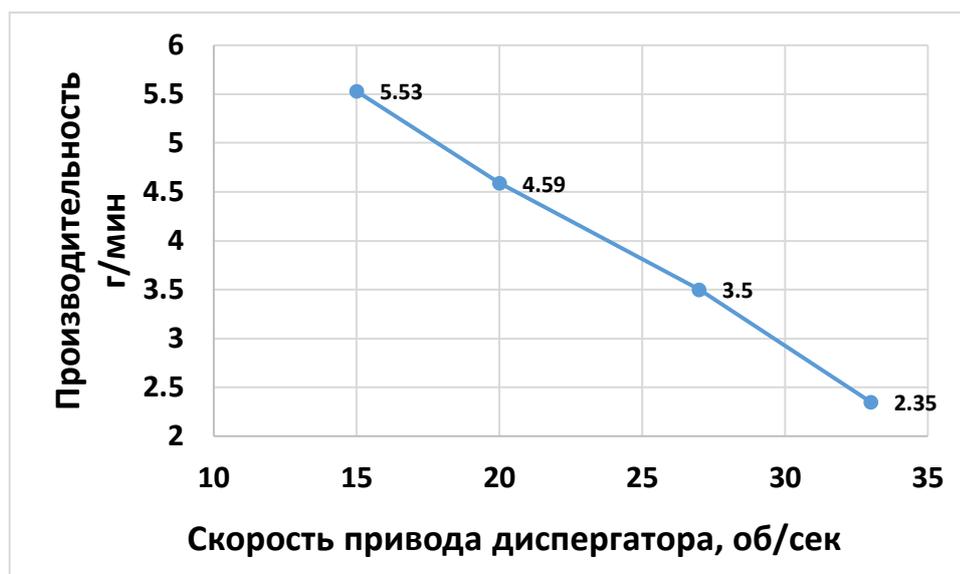


Рисунок 2 – Зависимость производительности капсулятора от скорости привода диспергатора / Figure 2 – Dependence of the performance of the capsulator on the speed of the dispersant drive

Источник: составлено авторами  
Source: compiled by authors

Полученные результаты свидетельствуют о том, что скорость подачи дисперсной смеси для обработки хлоридом кальция снижает производительность технологического процесса микрокапсулирования *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 в альгинат натрия в 2,4 раза.

При постоянной частоте насоса подачи дисперсной смеси 24,5 Гц скорость привода диспергатора играет определяющую роль в получении микрокапсул различного размера. Как следует из результатов, представленных на рисунке 3, средний размер гидратированных капсул в зависимости от скорости привода диспергатора уменьшается на 37,8 %.

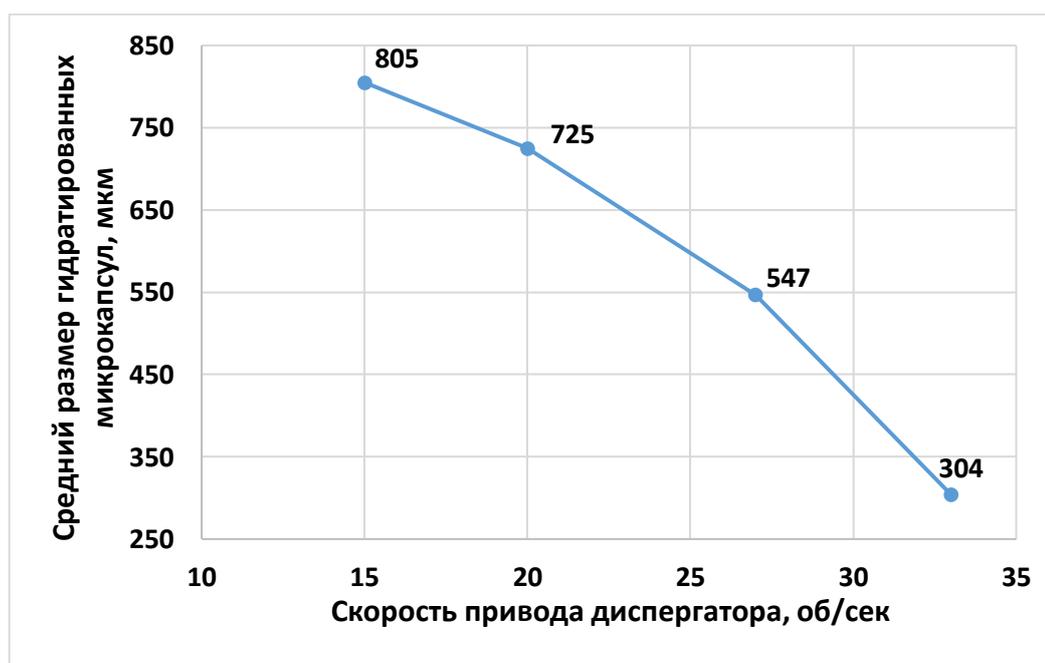


Рисунок 3 – Зависимость среднего размера гидратированных капсул от скорости привода диспергатора. Figure 3 – Dependence of the average size of hydrated capsules on the speed of the dispersant drive

**Источник: составлено авторами**  
**Source: compiled by authors**

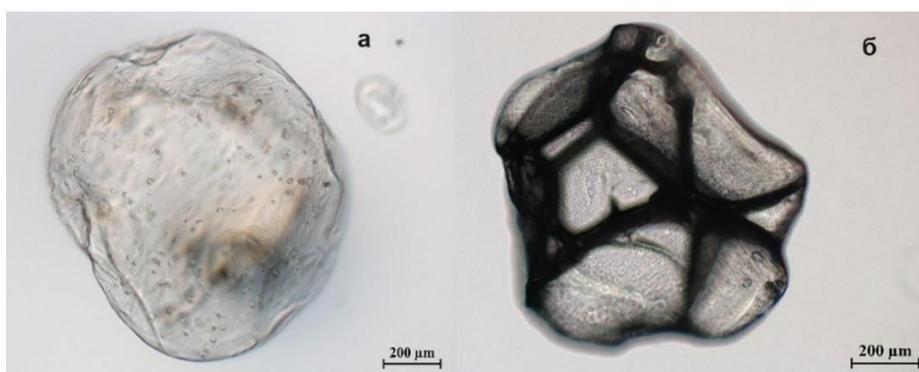
Как видно из рисунка 3, при скоростях привода диспергатора 15,0; 20,0; 27,0; 33,0 об/сек отклонение размеров микрокапсул от среднего значения колеблется от 51 до 58 % соответственно.

На рисунке 4 а представлены морфологические особенности гидратированных микрокапсул среднего размера  $805 \pm 410$  мкм, исследованные с использованием световой микроскопии. Они имеют округлую или овальную форму, а на их поверхности имеются неровности и вмятины. Аналогичные морфологические особенности наблюдались и для гидратированных микрокапсул других полученных размеров, представленных в таблице 1.

В результате сублимационной сушки масса высушенных микрокапсул составила 5,6; 5,9; 6,1 и 6,6 % от исходной массы гидратированных капсул, полученных при различных скоростях привода диспергатора, как видно из таблицы 1.

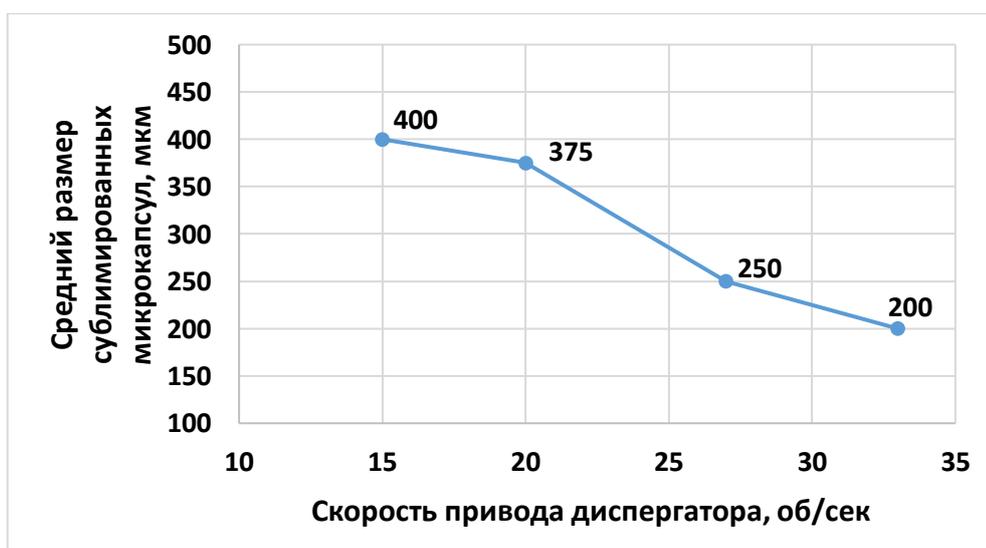
На рисунке 5 представлена зависимость среднего размера сублимированных микрокапсул от скорости привода диспергатора. Измерение средних размеров сублимированных микрокапсул проводили с использованием световой микроскопии. Показано, что их размер уменьшился более чем в 2 раза по сравнению с гидратированными.

Форма и морфологические особенности полученных сублимированных микрокапсул среднего размера  $805 \pm 410$  мкм с использованием светового микроскопа Axio Imager 2 (A2) с увеличением 50, представлены на рисунке 4 б.



**Рисунок 4 – Гидратированная (а) и сублимированная (б) капсула, средний размер  $805 \pm 410$  мкм / Figure 4 – Hydrated (a) and freeze-dried (b) capsule, average diameter  $805 \pm 410$  microns**

**Источник: составлено авторами**  
**Source: compiled by authors**



**Рисунок 5 – Зависимость среднего размера сублимированных капсул от скорости привода диспергатора / Figure 5 – Dependence of the average size of freeze-dried**

## capsules on the speed of the dispersant drive

Источник: составлено авторами

Source: compiled by authors

Анализ показывает, что они потеряли овальную форму. На их поверхности имеются светлые области и ребристая сетчатая структура темного цвета. Эти неровности поверхности микрокапсул вероятно связаны с уменьшением оболочки капсул в результате сублимирования и уплотнения альгината кальция на их поверхности. Размер частиц и их количество являются важными свойствами, которые непосредственно влияют на использование микрокапсул в пищевых продуктах [19]. Совместный анализ данных таблицы 1 и рисунка 5 показывает, что с уменьшением размера сублимированных микрокапсул, их количество в пересчете на 1 грамм возрастает в 75 раз.

Количество жизнеспособных клеток *Lpb. plantarum* БИМ-В 492, входящих в микрокапсулы, является ключевым показателем, который определяет возможность их практического использования. Объем внутренней фазы микрокапсул, содержащей лактобактерии, уменьшается с уменьшением их размера. Это может приводить к значительным изменениям содержания в них жизнеспособных клеток. Количество жизнеспособных клеток в полученных микрокапсулах различного размера представлено в таблице 1. Анализ результатов показывает, что наибольшее количество жизнеспособных клеток содержится в сублимированных микрокапсулах большего размера. Уменьшение размера микрокапсул ведёт к снижению содержания жизнеспособных клеток *Lpb. Plantarum* БИМ-В 492 в 30 раз. Рисунок 6 иллюстрирует зависимость количества жизнеспособных клеток от среднего размера сублимированных капсул.

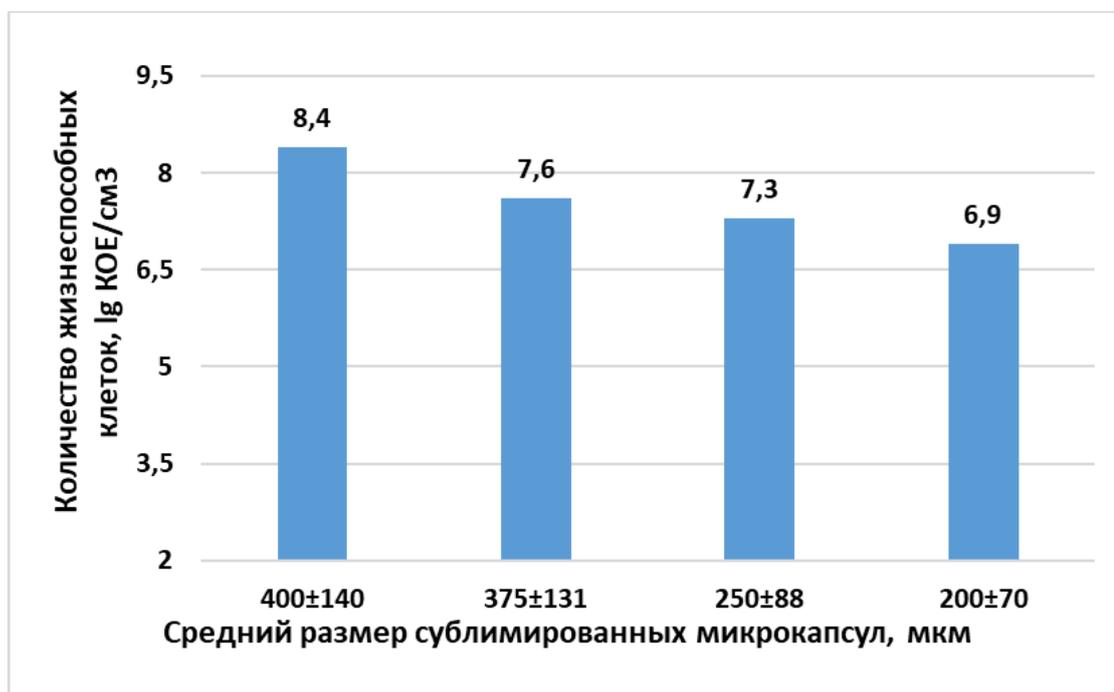


Рисунок 6 – Зависимость количества жизнеспособных клеток от среднего размера сублимированных микрокапсул / Figure 6 – Dependence of the number of viable cells on the average size of sublimated microcapsules

Источник: составлено авторами

Source: compiled by authors

Наибольшие различия в количестве жизнеспособных клеток наблюдаются при расчёте на 1 среднюю капсулу каждого из полученных размеров. Из таблицы 1 видно, что

с уменьшением размера частиц, жизнеспособность лактобактерий значительно снижается от  $1,3 \cdot 10^4$  до 5,9 в капсуле.

**Закключение.** Предложена технология получения микрокапсул с *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 с использованием экспериментальной установки ИИ 0.35-1.5. Для получения микрокапсул различного размера были оптимизированы параметры экструзии: частота насоса подачи смеси альгината и *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 24,5 Гц и скорость привода диспергатора от 15,0 об/сек до 33,0 об/сек. Микрокапсулы получали, используя дисперсную систему, состоящую из дисперсной фазы – культуральной жидкости *Lpb. plantarum* БИМ-В 492 и дисперсной среды – 2 % раствора альгината натрия. Смесь при различной скорости привода диспергатора распылялась с образованием гелеподобных сфер, обработка которых хлористым кальцием, приводила к формированию гидратированных микрокапсул различного размера.

Данная технология позволяет производить микрокапсулы с лактобактериями на основе альгината натрия различных размеров. Изменение скорости привода диспергатора оказывает влияние на такие параметры, как количество, средний размер гидратированных и сублимированных частиц, морфологические особенности микрокапсул и количество жизнеспособных клеток в них. Эти характеристики являются определяющими для дальнейшего применения технологии при производстве пробиотиков с продленными сроками хранения, а также при производстве пищевых продуктов функционального назначения.

Исследования проведены в рамках реализации гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Изучение механизмов взаимодействия молочнокислых микроорганизмов, лактозосбраживающих дрожжей и биологически активных веществ при микроинкапсулировании различных фракций микробиоты», Соглашение № 075-15-2022-1129 от 01.07.2022 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ali U., Saeed M., Ahmad Z., Shah F.-u.-H., Rehman M. A., Mehmood T., Rahman A. Stability and survivability of alginate gum-coated lactobacillus rhamnosus GG in simulated gastrointestinal conditions and probiotic juice development // Journal of Food Quality. 2023.
2. Ballesteros L. F., Ramirez M. J., Orrego C. E., Teixeira J. A., Mussatto S. I. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials // Food Chem. 2017. Vol. 237. P. 623–631.
3. Barajas-Alvarez P., Gonzalez-Avila M., Espinosa-Andrews H. Recent advances in probiotic encapsulation to improve viability under storage and gastrointestinal conditions and their impact on functional food formulation // Food Reviews International. 2023. Vol. 39. No. 2. P. 992–1013.
4. De man J. C., Sharpe M., Rogosa E. A medium for the cultivation of lactobacilli // Journal of appl. bacteriology. 1960. Vol. 23. No. 1. P. 130–135.
5. Ding W. K., Shah N. P. An improved method of microencapsulation of probiotic bacteria for their stability in acidic and bile conditions during storage // J. Food Sci. 2009. Vol. 74. P. M53–M61. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.01030.x>
6. Espitia P. J. P., Batista R. A., Azeredo H. M. C., Otoni C. G.. Probiotics and their potential 298 applications in active edible films and coatings, 299 // Int. Food Res. J. 2016. Vol. 90. P. 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.026>
7. Fu S., Thacker A., Sperger D. M., Boni R. L., Buckner I. S., Velankar S., Munson E. J., Block L. H. Relevance of Rheological Properties of Sodium Alginate in Solution to Calcium Alginate Gel Properties // AAPS Pharm. Sci. Tech. 2011. Vol. 12. No. 2. P. 453–460.
8. Gbassi G. K., Vandamme T. Probiotic encapsulation technology: from microencapsulation to release into the gut // Pharmaceutics. 2012. Vol. 4. P. 49–163. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics4010149>
9. Goula A. M., Adamopoulos K. G. A new technique for spray-dried encapsulation of Lycopene // Drying Technology. 2012. Vol. 30. No. 6. P. 641–652.
10. Huang G., Chen S., Dai C., Sun L., Sun W., Tang Y., Ma H. Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity // Ultrasonics Sonochemistry. 2017. Vol. 37. P. 144–149.

11. Kailasapathy K. Encapsulation technologies for functional foods and nutraceutical product development // *Cab. Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.* 2009. Vol. 4. No. 7. P. 1–13. <https://doi.org/10.1079/PAVSNRR20094033>
12. Karimi M., Sekhavatizadeh S. S., Hosseinzadeh S. Milk dessert containing *Lactobacillus reuteri* (ATCC 23272) encapsulated with sodium alginate, *Ferula assa-foetida* and Zedo (*Amygdalus scoparia*) gum as three layers of wall materials // *Food and Bioproducts Processing.* 2021. Vol. 127. P. 244–254.
13. Krasaekoopt W., Bhandari B., Deeth H. C. Survival of probiotics encapsulated in chitosan-coated alginate beads in yoghurt from UHT-and conventionally treated milk during storage // *LWT.* 2006. Vol. 39. P. 177–183, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.12.006>
14. Lu S., Li Z., Li D.-T., Xu M., Huai-Yu C., Zhi-Liang Z., Zhen-Xing T. Encapsulation of probiotic *L. bulgaricus* in alginate-milk microspheres and evaluation of the survival in simulated gastrointestinal conditions // *J. Food Eng.* 2013. Vol. 11. P. 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.02.012>
15. Man de J. C., Rogosa M., Sharpe M. E. A medium for the cultivation of lactobacilli // *Journal of Appl. Bacteriology.* 1960. Vol. 23. No. 1. P. 130–135.
16. Yao M., Xie J., Du H., McClements D. J., Xiao H., Li L. Progress in microencapsulation of probiotics: a review // *CRFSFS.* 2020. Vol. 19. No. 2. P. 857–874. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12532>
17. Ganje M., Sekhavatizadeh S. S., Hejazi S. J., Mehrpooya R. Effect of encapsulation of *Lactobacillus reuteri* (ATCC 23272) in sodium alginate and tomato seed mucilage on properties of ketchup sauce. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications.* 2024. Vol. 7. P. 100486. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100486>
18. Найденко И. А., Денисенко В. В. Патент РБ на изобретение № 15103. Штамм бактерий *Lactobacillus plantarum* БИМ В-492 Д для получения пробиотического препарата для животных. – заявка № а20091261 от 2009.08.26 – Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы». 2011. № 6. С. 124.
19. Oro C. E. D., Mignoni M. L., Zobot G. L., Backes G. T., Dallago R. M., Tres M. V. Technical characteristics for encapsulation in the food industry. *Novel and Alternative Methods in Food Processing: Biotechnological, Physicochemical, and Mathematical Approaches.* 2023. Vol. 303.
20. Padhmavathi V., Shruthy R., Preetha R. Chitosan coated skim milk-alginate microspheres for better survival of probiotics during gastrointestinal transit. *J. Food Sci. Technol.* 2023. Vol. 60. No. 3. P. 889–895. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05179-1>
21. Piskov S., Timchenko L., Avanesyan S., Siddiqui S. A., Sizonenko M., Kurchenko V., Rzhepakovsky I., Blinov A., Nagdalian A., Shariati M. A., Ibrahim S. A. Comparative Study on the Structural Properties and Lipid Profile of Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Powder Obtained by Different Drying Methods. *Agriculture.* 2022. Vol. 12. P. 1590. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101590>
22. Pourakbar N., Ganje M., Shekarfroush S. S., Hosseinzadeh S. Physicochemical and sensory properties of probiotic yogurt containing *Lactobacillus plantarum* ATCC 10241 microencapsulated with okra (*Abelmoschus esculentus*) mucilage and sodium alginate. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre.* 2023. Vol. 30. P. 100364.
23. Praveen K., Suman D. Chitosan encapsulation of *Pediococcus acidilactici* NCDC 252 improved its survival in simulated gastro-intestinal conditions. *Process Biochemistry.* 2024. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.01.013>
24. Penalva R., Martínez-Lopez A.L., Gamazo C., Gonzalez-Navarro C. J., Gonzalez-Ferrero C., Virto-Resano R., Brotons-Canto A. Encapsulation of *Lactobacillus plantarum* in casein-chitosan microparticles facilitates the arrival to the colon and develops an immunomodulatory effect. *Food Hydrocoll.* 2023. Vol. 136. P. 108213, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108213>
25. Shori A. B. Microencapsulation improved probiotics survival during gastric transit. 2017. *HAYATI J. Biosci.* Vol. 24. P. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2016.12.008>
26. Silva P. T. D., Fries L. L. M., Menezes C. R. D., Holkem A. T., Schwan C. L., Wigmann E. F., Silva C. D. B. D. Microencapsulation: Concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology // *Cianda Rura.* 2014. Vol. 44. P. 1304–1311.
27. Yash P., Manish Y., Sachin K. Microencapsulation in the chitosan-coated alginate-inulin matrix of *Limosilactobacillus reuteri* SW23 and *Lactobacillus salivarius* RBL50 and their characterization. *Carbohydr. Polym.* 2023. Vol. 5. P. 100285. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100285>

## REFERENCES

1. Ali U, Saeed M, Ahmad Z, Shah F-u-H, Rehman MA, Mehmood T, Rahman A. Stability and survivability of alginate gum-coated lactobacillus rhamnosus GG in simulated gastrointestinal conditions and probiotic juice development. *Journal of Food Quality*. 2023.
2. Ballesteros, LF, Ramirez MJ, Orrego CE, Teixeira JA, Mussatto SI. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chem*. 2017;237:623-631.
3. Barajas-Alvarez P., Gonzalez-Avila M., Espinosa-Andrews H. Recent advances in probiotic encapsulation to improve viability under storage and gastrointestinal conditions and their impact on functional food formulation. *Food Reviews International*. 2023;39(2):992-1013.
4. De man JC, Sharpe M., Rogosa E. A medium for the cultivation of lactobacilli. *Journal of Appl. Bacteriology*. 1960;23(1):130-135.
5. Ding WK, Shah NP. An improved method of microencapsulation of probiotic bacteria for their stability in acidic and bile conditions during storage. *Journal Food Sci*. 2009;74:M53-M61. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.01030.x>
6. Espitia PJP, Batista RA, Azeredo HMC, Otoni CG. Probiotics and their potential 298 applications in active edible films and coatings, 299. *Int. Food Res. J*. 2016;90:42-52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.026>
7. Fu S, Thacker A, Sperger DM, Boni RL, Buckner IS, Velankar S, Munson EJ, Block LH Relevance of Rheological Properties of Sodium Alginate in Solution to Calcium Alginate Gel Properties. *AAPS Pharm. Sci. Tech*. 2011;12(2):453-460.
8. Gbassi GK, Vandamme T. Probiotic encapsulation technology: from 301 microencapsulation to release into the gut, 302. *Pharmaceutics*. 2012;4:49-163. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics4010149>
9. Goula AM, Adamopoulos KG. A new technique for spray-dried encapsulation of Lycopene. *Drying Technology*. 2012;30(6):641-652.
10. Huang G, Chen S, Dai C, Sun L, Sun W, Tang Y, Ma H. Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017;37:144-149.
11. Kailasapathy K. Encapsulation technologies for functional foods and nutraceutical product development. *Cab. Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour*. 2009;4(7):1–13. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094033>
12. Karimi M, Sekhavatizadeh SS, Hosseinzadeh S. Milk dessert containing *Lactobacillus reuteri* (ATCC 23272) encapsulated with sodium alginate, *Ferula assa-foetida* and *Zedo* (*Amygdalus scoparia*) gum as three layers of wall materials. *Food and Bioproducts Processing*. 2021;127:244-254.
13. Krasaekoopt W, Bhandari B, Deeth HC. Survival of probiotics encapsulated in chitosan-coated alginate beads in yoghurt from UHT-and conventionally treated milk during storage. *LWT*. 2006;39:177-183. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.12.006>
14. Lu S, Zhen-Hua Li, Dan-Ting Li, Min Xu, Huai-Yu C, Zhi-Liang Z, Zhen-Xing T. Encapsulation of probiotic *L. bulgaricus* in alginate-milk microspheres and evaluation of the survival in simulated gastrointestinal conditions. *J. Food Eng*. 2013;11:99-104. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.02.012>
15. Man de JC, Rogosa M, Sharpe ME. A medium for the cultivation of lactobacilli. *J. of Appl. Bacteriology*. 1960;23(1):130-135.
16. Yao M., Xie J., Du H., McClements D. J., Xiao H., Li L. Progress in microencapsulation of probiotics: a review. *CRFSFS*. 2020;19(2):857-874. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12532>
17. Ganje M., Sekhavatizadeh S. S., Hejazi S. J., Mehrpooya R. Effect of encapsulation of *Lactobacillus reuteri* (ATCC 23272) in sodium alginate and tomato seed mucilage on properties of ketchup sauce. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 2024;7:100486. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100486>
18. Naidenko IA, Denisenko VV. Patent of the Republic of Belarus for invention No. 15103. Strain of bacteria *Lactobacillus plantarum* BIM B-492 D for obtaining a probiotic preparation for animals. – application No. a20091261 dated 2009.08.26 – Official Bulletin “Inventions. Utility Models. Industrial Designs”. No. 6, 2011. P. 124. (In Russ).
19. Oro CED, Mignoni ML, Zobot GL, Backes GT, Dallago RM, Tres MV. Technical characteristics for encapsulation in the food industry. *Novel and Alternative Methods in Food Processing: Biotechnological, Physicochemical, and Mathematical Approaches*. 2023;303.

20. Padhmavathi V, Shruthy R, Preetha R. Chitosan coated skim milk-alginate microspheres for better survival of probiotics during gastrointestinal transit. *J. Food Sci. Technol.* 2023;60(3):889-895. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05179-1>
22. Piskov S, Timchenko L, Avanesyan S, Siddiqui SA, Sizonenko M., Kurchenko V, Rzhepakovsky I, Blinov A, Nagdalian A, Shariati MA, Salam A. Ibrahim A. Comparative Study on the Structural Properties and Lipid Profile of Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Powder Obtained by Different Drying Methods. *Agriculture.* 2022;12:1590. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101590>
23. Pourakbar N, Ganje M, Shekarfroush SS, Hosseinzadeh S. Physicochemical and sensory properties of probiotic yogurt containing *Lactobacillus plantarum* ATCC 10241 microencapsulated with okra (*Abelmoschus esculentus*) mucilage and sodium alginate. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre.* 2023;30:100364.
24. Praveen K, Suman D. Chitosan encapsulation of *Pediococcus acidilactici* NCDC 252 improved its survival in simulated gastro-intestinal conditions. *Process Biochemistry.* 2024. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.01.013>.
25. Penalva R, Martínez-Lopez AL, Gamazo C, Gonzalez-Navarro CJ, Gonzalez-Ferrero C, Virto-Resano R, Brotons-Canto A. Encapsulation of *Lactobacillus plantarum* in casein-chitosan microparticles facilitates the arrival to the colon and develops an immunomodulatory effect. *Food Hydrocoll.* 2023;136:108213. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108213>
26. Shori AB. Microencapsulation improved probiotics survival during gastric transit. *HAYATI J. Biosci.* Vol. 2017;24:1-5. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2016.12.008>.
27. Silva PTD, Fries LLM, Menezes CRD, Holkem AT, Schwan CL, Wigmann EF, Silva CDBD. Microencapsulation: Concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Cianda Rural.* 2014;44:1304-1311.
28. Yash P., Manish Ya., Sachin K. Microencapsulation in the chitosan-coated alginate-inulin matrix of *Limosilactobacillus reuteri* SW23 and *Lactobacillus salivarius* RBL50 and their characterization. *Carbohydr. Polym.* 2023;5:100285. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100285>

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Роза Эмировна Григорян** – аспирант кафедры прикладной биотехнологии, инженер научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии, факультет пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмцова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79283058584, [roza178225@mail.ru](mailto:roza178225@mail.ru)

**Владимир Петрович Курченко** – кандидат биологических наук, доцент, заведующий НИЛ прикладных проблем биологии, биологический факультет Белорусского государственного университета, +375296630347, [Kurchenko@tut.by](mailto:Kurchenko@tut.by)

**Наталья Алексеевна Головнева** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молочнокислых и бифидобактерий Института микробиологии НАН Беларуси, +375173991222, [golovnyova@yandex.by](mailto:golovnyova@yandex.by)

**Вера Витальевна Денисенко** – научный сотрудник лаборатории молочнокислых и бифидобактерий Института микробиологии НАН Беларуси, +375172431142, [biochem\\_lab@mbio.bas-net.by](mailto:biochem_lab@mbio.bas-net.by)

**Инна Александровна Найдено** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молочнокислых и бифидобактерий Института микробиологии НАН Беларуси, +375172431142, [biochem\\_lab@mbio.bas-net.by](mailto:biochem_lab@mbio.bas-net.by)

**Динара Александровна Салманова** – кандидат технических наук, ассистент кафедры прикладной биотехнологии, инженер научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии, факультет пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмцова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79064624914, [salmanova.dinara@yandex.ru](mailto:salmanova.dinara@yandex.ru)

**Лиана Валериковна Гарибян** – аспирант кафедры прикладной биотехнологии, инженер научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии, факультет пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмцова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79881172345, [liana.garibian@gmail.com](mailto:liana.garibian@gmail.com)

**Игорь Владимирович Ржепаковский** – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник МНОЛ экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии, медико-биологический факультет, Северо-Кавказский федеральный университет, +79054164981, [irzhepakovskii@ncfu.ru](mailto:irzhepakovskii@ncfu.ru)

**Людмила Руслановна Алиева** – доктор технических наук, доцент, заместитель декана по международной и инновационной деятельности, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии, факультет пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79624016644, [ali-ludmila@yandex.ru](mailto:ali-ludmila@yandex.ru)

**Алексей Дмитриевич Лодыгин** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной биотехнологии, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии, факультет пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79288263918, [allodygin@yandex.ru](mailto:allodygin@yandex.ru)

**Иван Алексеевич Евдокимов** – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий базовой кафедрой технологии молока и молочных продуктов, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии, факультет пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79624030847, [ievdokimov@ncfu.ru](mailto:ievdokimov@ncfu.ru)

**Мария Ивановна Шрамко** – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник НИЛ пищевой и промышленной биотехнологии, доцент кафедры прикладной биотехнологии, факультет пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79054149526, [marusyashramko@yandex.ru](mailto:marusyashramko@yandex.ru)

**Вклад авторов:** все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов:** доктор технических наук, доцент А. Д. Лодыгин является членом редакционной коллегии журнала «Современная наука и инновации». Доктор технических наук, профессор И. А. Евдокимов является членом редакционного совета и редакционной коллегии журнала «Современная наука и инновации». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью.

Статья поступила в редакцию: 18.01.2025;  
одобрена после рецензирования: 23.03.2025;  
принята к публикации: 11.04.2025.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Roza E. Grigorian** – PHD student, Engineer of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khrantsov, North-Caucasus Federal University, +79283058584, [roza178225@mail.ru](mailto:roza178225@mail.ru)

**Vladimir P. Kurchenko** – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head of the Research Laboratory of Applied Problems of Biology, the Department of Biology, Belarusian State University, +375296630347, [Kurchenko@tut.by](mailto:Kurchenko@tut.by)

**Natalya A. Golovnyova** – Cand. Sci. (Biol.), Head of the Laboratory of Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, +375173991222, [golovnyova@yandex.by](mailto:golovnyova@yandex.by)

**Vera V. Denisenko** – Researcher of the Laboratory of Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, +375172431142, [biochem\\_lab@mbio.bas-net.by](mailto:biochem_lab@mbio.bas-net.by)

**Inna A. Naidenko** – Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher of the Laboratory of Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, +375172431142, [biochem\\_lab@mbio.bas-net.by](mailto:biochem_lab@mbio.bas-net.by)

**Dinara A. Salmanova** – Cand. Sci. (Techn.), Assistant at the Department of Applied Biotechnology, Engineer of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khrantsov, North-Caucasus Federal University, +79064624914, [salmanova.dinara@yandex.ru](mailto:salmanova.dinara@yandex.ru)

**Liana V. Garibian** – PHD student, Engineer of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khramtsov, North-Caucasus Federal University, +79881172345, [liana.garibian@gmail.com](mailto:liana.garibian@gmail.com)

**Igor V. Rzhepakovsky** – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Leading Researcher of the Interdepartmental Scientific and Educational Laboratory of Experimental Immunomorphology, Immunopathology and Immunobiotechnology, Faculty of Medicine and Biology, North-Caucasus Federal University, +79054164981, [irzhepakovskii@ncfu.ru](mailto:irzhepakovskii@ncfu.ru)

**Ludmila R. Alieva** – Dr. Sci. (Techn.), Associate Professor, Deputy Dean for International and Innovation Activities, Leading Researcher at the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khramtsov, North-Caucasus Federal University, +79624016644, [ali-ludmila@yandex.ru](mailto:ali-ludmila@yandex.ru)

**Aleksey D. Lodygin** – Dr. Sci. (Techn.), Associate Professor, Head of the Department of Applied Biotechnology, Chief Researcher of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khramtsov North-Caucasus Federal University, +79288263918, [allodygin@yandex.ru](mailto:allodygin@yandex.ru)

**Ivan A. Evdokimov** – Dr. Sci. (Techn.), Professor, Head of the Basic Department of Milk and Dairy Products Technology, Chief Researcher of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khramtsov, North-Caucasus Federal University, +79624030847, [ievdokimov@ncfu.ru](mailto:ievdokimov@ncfu.ru)

**Maria I. Shramko** – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Senior Researcher of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, Associate Professor of Applied Biotechnology Department, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khramtsov, North-Caucasus Federal University, +79054149526, [marusyashramko@yandex.ru](mailto:marusyashramko@yandex.ru)

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Conflict of interest:** the author AD Lodygin, Dr. Sci. (Techn.), Associate Professor, is a member of the Editorial Board of the journal "Modern Science and Innovations". The author IA Evdokimov, Dr. Sci. (Techn.), Professor, is a member of the Editorial Council and Editorial Board of the journal "Modern Science and Innovations". The authors are unaware of any other potential conflict of interest related to this manuscript.

The article was submitted: 18.01.2025;  
approved after reviewing: 23.03.2025;  
accepted for publication: 11.03.2025.