

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2026, Том 13, № 2 / 2026, Vol. 13, Iss. 2 <https://resources.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/02NZOR226.pdf>

DOI: 10.15862/02NZOR226 (<https://doi.org/10.15862/02NZOR226>)

1.5.15. Экология (биологические, медицинские, технические, ветеринарные, сельскохозяйственные науки)

1.5.20. Биологические ресурсы (биологические, медицинские, сельскохозяйственные науки)

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Мальцева, К. А. Микрокапсулирование микроорганизмов: методы, возможности и перспективы /
К. А. Мальцева, М. В. Ларионов // Отходы и ресурсы. — 2026. — Т. 13. — № 2. — URL:
<https://resources.today/PDF/02NZOR226.pdf>. DOI: 10.15862/02NZOR226.

For citation:

Maltseva K.A., Larionov M.V. Microencapsulation of microorganisms: methods, possibilities and prospects.
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling. 2026;13(2): 02NZOR226. Available at:
<https://resources.today/PDF/02NZOR226.pdf>. DOI: 10.15862/02NZOR226. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 574.2+579.2/61/62/67+602.1/3+613.2+614.35/95+615+663.1

Мальцева Ксения Алексеевна

ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Москва, Россия

Ларионов Максим Викторович

ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Москва, Россия

Профессор

Доктор биологических наук, доцент

E-mail: m.larionow2014@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0834-2462>

SciProfiles: <https://sciprofiles.com/profile/1548819>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/N-8885-2016>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191472790>

Микрокапсулирование микроорганизмов: методы, возможности и перспективы

Аннотация. Современные биотехнологии интенсивно развиваются. Особенно это касается микроорганизмов как универсального производственного ресурса для биоинжиниринга разного хозяйственного назначения. В том аспекте микрокапсулирование имеет определенные перспективы в обеспечении хозяйственного функционала и жизнестойкости микроорганизмов. Рассматриваются микробиологические риски использования микрокапсулирования в современном производстве. Актуализируется значимость ведущих методик микрокапсулирования пробиотиков с целью выделить ведущую среди них. Также такая процедура направлена на формирование биологической и гигиенической безопасности соответствующей пищевой, кормовой и биофармакологической продукции. Приведены некоторые проблемные моменты при использовании микрокапсулирования пробиотических биосистем. При этом объективно существует потребность в освоении и расширении рынка функционального питания, функциональной медицины и функциональных кормовых добавок с использованием пробиотических микроорганизмов. Раскрываемое в работе направление биотехнологий может рассматриваться, как непосредственно для реализации пищевого, кормового и медицинского назначения, так и в качестве производственной технологии с экологизированным содержанием. Для производственной практики полезно детально анализировать передовой опыт в обеспечении жизнеспособности и функциональности

пробиотиков, масштабировать экспериментальные испытания и обеспечивать более широкое внедрение успешных методов и технологий, в том числе по микрокапсулированию. Целесообразно расширение перечня продукции, к примеру, посредством дифференциации и введения в производство новых линеек функционального питания, функциональных биодобавок к кормам и увеличения перечня биофармакологической продукции на основе пробиотиков.

Ключевые слова: микрокапсулирование; пробиотики; микроорганизмы; бактерии; функциональное питание; общественное здоровье; жизнеспособность клеток; биотехнологии; промышленное масштабирование; экологическое содержание

Введение

В настоящее время возрастает внимание к вопросам поиска ресурсов для функционального питания и функциональной медицины. Прежде всего, большое значение в биотехнологиях приобретает поиск веществ, способствующих повышению ресурсных и хозяйственных качеств вовлекаемых в биоинжиниринг биосистем. Здесь наиболее рациональным направлением представляется использование микроорганизмов для выработки пробиотиков. Значимость последних многократно повысилась в наше время.

В целом, термин «пробиотик» имеет важное биотехнологическое содержание в рамках комплекса наук о жизни [1–3].¹ Пробиотиками являются живые микрокультуры с полезными свойствами для непосредственных потребителей: для человека и животных [4; 5]²

Необходимость повышения жизнеспособности пробиотических микроорганизмов

Термин произошел от греческого «pro bios», означающего «для жизни» [1]. В 1965 году Лилли и Стилвелл определили пробиотики как «вещества, вырабатываемые определенным микроорганизмом», способные к «стимуляции» направленного развития других микробиосистем. В настоящий период развития биотехнологической индустрии пробиотики производятся в качестве источника/ресурса стимуляции и стабилизации биохимических и физиологических процессов в кишечнике человека и животных. Поэтому, прежде всего, пробиотики ориентированы на пищевую и кормовую индустрию [6–8], а также изучаются в рамках медико-биологических [2; 3; 5; 9; 10], ветеринарных, сельскохозяйственных и технических наук [6–12].²

Тем не менее, требуется проработка мер по защите пробиотиков от неблагоприятных средовых условий. В частности, микрокапсулирование направлено на создание защитных оболочек для микроорганизмов и образуемых ими полезных веществ в качестве пробиотиков.

То есть актуальна задача по повышению жизнеспособности микроорганизмов (и продуцируемых ими соединений) пробиотического назначения. Устойчивость и жизненные циклы микроорганизмов во многом определяются физико-химическими свойствами микрокапсул, особенностями штаммов бактерий, размерами микрокапсул, концентрацией материала стенок, исходным количеством пробиотических микрокультур (клеток). Стоит задача «упаковки» — микрокапсулирования — твердых, жидких или газообразных веществ в небольшие, миниатюрные капсулы с герметичным свойством. Важен при этом контроль над скоростью и условиями микрокапсулирования и высвобождения от микрокапсул.

¹ Березов Т.Т. Биологическая химия. — М.: Медицина, 1998. — 704 с.

² Богатырева Н.В. Исследование препаратов пробиотиков на предмет эффективности роста микроорганизмов // Алые паруса. — URL: <https://nsportal.ru/ap/library/drugoe/2015/03/22/issledovanie-preparatov-probiotikov-na-predmet-effektivnosti-rosta> (дата обращения: 10.03.2026).

Теоретическая основа микрокапсулирования

Микрокапсулы — это сферические частицы или частицы неправильной формы, в зависимости от агрегатного состояния лекарственной субстанции, заключенной в оболочку. При этом выделяется в микрокапсуле ядро, которое бывает жидким, твердым или газообразным, как показано на примере (рис. 1) [4]. Параметры микрочастиц могут варьировать. Но чаще применяемые в медицине, функциональной пищевой индустрии или в профилактических целях размеры таких частиц составляют от 1 до 1000 мкм [5; 7; 8].¹ Микрокапсулы могут быть не только разных форм и размеров. Они могут иметь в составе одно и/или более ядер. Покрытие микрочастиц также может быть однослойным или состоять из нескольких слоев одного или нескольких материалов. Основное назначение такого покрытия — защитное.

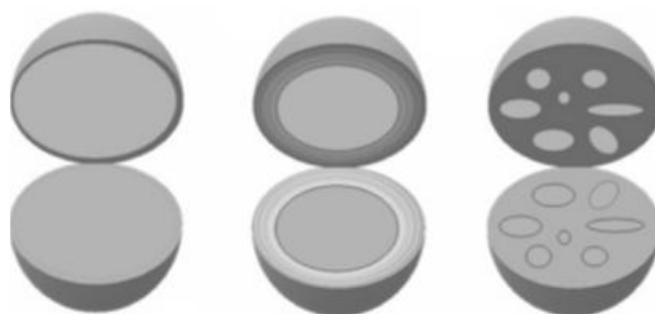


Рисунок 1. Примеры микрокапсул¹

В изучении и в анализе эффективности процесса капсулирования пробиотиков учитываются различные параметры. В числе приоритетных контролируемых параметров выступают:

- обеспечение выживаемости и жизнеспособности после воздействия неблагоприятных или в ряде случаев агрессивных средовых условий;
- устойчивость и вещественный состав покровных и иных структур у самих микрокапсул;
- особенности свойств пробиотических клеток и веществ;
- свойства пробиотического материала к восстановлению (высвобождению) от микрокапсул;
- особенности, условия и время отверждения (то есть время, необходимое для формирования капсулы).

Факторы, учитываемые при процессе капсулирования [4; 5; 7; 8]:

- влияние вида материала капсулы на процесс микрокапсулирования;
- взаимодействие материала с окружающей (внешней) средой;
- покрытие микрокапсул;
- концентрация содержимого для приготовления микрокапсул и их параметры;
- условия окружающей среды;
- физические свойства микрокапсул;
- химическая трансформация.

Основными компонентами микрокапсул являются: альгинат и его комбинации, крахмал, смесь ксантан-гелановой камеди, каррагинан и его смеси, фталат ацетата целлюлозы, хитозан и прочие компоненты. Помимо основных материалов, которые непосредственно формируют структуру капсулы и/или оболочки, используются такие добавки, как эмульгаторы и криозащитные средства.

Микрокапсулирование — механический процесс, который захватывает потенциально чувствительные микроорганизмы (бактерии с пробиотическими свойствами) и обеспечивает защитный барьер от внешней среды [6; 9].³ Метод инкапсуляции отличается от метода иммобилизации клеток. В процессе капсулирования клетки полностью заключаются в материал стенки, тогда как при иммобилизации клетки могут подвергаться воздействию внешней среды [7; 8]. Размер бактериальной клетки варьируется от 1 до 5 мкм. Такую пробиотическую клетку необходимо поддерживать жизнеспособной в процессе инкапсуляции. Таким образом, это крайне важно для выбора подходящей методики микрокапсулирования. Неполное микрокапсулирование способствует воздействию чувствительных пробиотических биосистем на внешнюю среду во время промышленной обработки и хранения, что приводит к разрушению клеточных стенок и снижению питательных свойств.

Существует два основных метода микрокапсулирования, в зависимости от используемого метода: капельный и эмульсионный. Капсулирование обоими этими методами повышает жизнеспособность и поддерживает жизнедеятельность пробиотических бактерий.

Технология капельного микрокапсулирования бактерий является старейшей. Она состоит из следующих этапов: приготовление коллоидного раствора и добавление клеток пробиотика в коллоидный раствор для получения клеточной суспензии [5; 7]. Суспензия этих клеток пропускается через иглу шприца с образованием капель, которые непосредственно наносятся в твердеющий раствор, содержащий катионы кальция. Когда капли вступают в контакт с отверждающимся раствором, альгинатные полимеры окружают содержимое, образуя защитную структуру.

Некоторые проблемы при реализации технологии микрокапсулирования пробиотических клеток

Преимущества технологии заключаются в бюджетности, отсутствии повреждения клеток пробиотика, обеспечении высокой жизнеспособности содержимого, отсутствии токсичных растворителей, способности проведения в аэробных и анаэробных условиях [7; 8; 10].

Основные проблемы (недостатки) технологии: трудоемкая технология для масштабирования промышленных биотехнологических производств из-за низкой скорости образования микрокапсул, подверженность углеводов повреждениям и структурным деформациям, ограниченный выбор материала стенок.

Каждый метод позволяет формировать микроскопические капсулы с соответствующими особенностями с точки зрения содержания влаги, размеров и иных параметров микрокапсул, эффективности капсулирования и высвобождения в процессе переваривания.

В таблице 1 приведены преимущества и недостатки методов сушки, после микрокапсулирования [13].³

³ Глухарева Т.В., Селезнева И.С., Уломский Е.Н. Основы получения и применения антибиотиков. — Екатеринбург: Изд. Урал. ун-та, 2021. — 150 с.

Таблица 1

Особенности методов сушки

| При распылительной сушке | При сублимационной сушке |
|--|---|
| Преимущества | |
| быстрая сушка | минимальный ущерб содержимому |
| трансформация жидкого материала в порошкообразный материал | порошок хранится в атмосферных условиях |
| простота в изменении параметров | обеспечение стабильности питательной (и лечебной) ценности |
| продукты — сыпучие порошки | образование гранул |
| Недостатки | |
| не подходит в качестве термочувствительного содержимого | продолжительный период высухания |
| необходимость в использовании сложных агрегатов и приборов | общий характер процесса является проблемно трансформируемым |
| существенные расходы при эксплуатации | существенные расходы при эксплуатации |
| менее термоэффективный | менее термоэффективный |

Составлено автором

Микрокапсулирование является одним из наиболее эффективных методов повышения стабильности и обеспечения жизнеспособности живых бактериальных штаммов (и продуктов их жизнедеятельности) в качестве пробиотиков [6–14]. Это крайне необходимо в условиях масштабирования — в промышленных объемах — посредством повсеместного внедрения и использования современных биотехнологий: при подготовке и трансформации, транспортировке и хранении, при предохранении от воздействия среды желудочно-кишечного тракта.

Потребности рынка пробиотиков

Несмотря на то, что на рынке доступно несколько категорий продуктов на основе пробиотиков, по-прежнему трудно обеспечить поддержание жизнеспособности пробиотических клеток в течение более длительного периода. К сожалению, лимитирует это срок хранения пробиотической продукции и ценовую политику производителей и торговых предприятий. Задача актуальна в настоящем и в ближайшем будущем. В целом, уже в наши дни требуется создание отдельных промышленных линеек пробиотиков с микрокапсулированием для решения задач медицинских, биофармакологических, пищевых, кормовых и других актуальных направлений биотехнологий. Увеличению срока годности пищевой и медико-профилактической продукции на основе пробиотиков, без дополнительного использования консервантов, антиоксидантов и др. химикатов, сейчас должно уделяться возрастающее внимание со стороны исследователей, научных организаций, учреждений по промышленному внедрению, апробации и хозяйственному масштабированию, контролю и анализу рынка функционального питания и функциональных лекарственных средств на основе пробиотических биосистем. В этом ключе технология микрокапсулирования, безусловно, нуждается в дальнейшей научной проработке и адаптации под конкретные (разнообразные) хозяйственные цели.

По существу, современный рынок пробиотиков является незначительным и только ищет свой сектор производителей и потребителей. Вопросы промышленного масштабирования и коммерциализации пробиотических биосистем и соединений [7; 10] ставятся в качестве ведущих перед современными биологическими и биотехнологическими исследованиями, промышленной апробацией и последующими испытаниями. Перспективным представляется обогащение пробиотиков нутрицевтиками, а также комплексная инкапсуляция пробиотических клеток и образуемыми ими соединений с другими биологически активными соединениями

[11–13].³ Это может быть направлено, как на улучшение биохимических свойств самих пробиотиков, так и на усиление жизнестойкости и оптимизации жизненного цикла вовлеченных в пробиотические технологии биосистем (в особенности, микроорганизмов).

Заключение

Таким образом, микрокапсулирование пробиотиков имеет определенные исследовательские, индустриальные и рыночные перспективы ввиду очевидной необходимости создания линейек функционального питания, функциональных биодобавок к кормам и расширения перечня биофармакологической продукции на основе пробиотиков. Полезны изучение успешного опыта обеспечения жизнеспособности и функциональности пробиотических клеток, масштабирование непосредственно промышленных испытаний и быстрый включение в производственные процессы наиболее рациональные и при этом эффективные методы и технологии. Во внимание необходимо принимать, как параметры микрокапсул и условия их образования, так и особенности самих пробиотиков и их целевое предназначение. Интересен еще такой момент, что микрокапсулирование пробиотических штаммов предусматривает и обеспечение гигиенической, биологической и экологической безопасности [6; 10; 12; 15] самих технологий и получаемой продукции. Все это может быть востребовано и в контексте экологического, санитарно-гигиенического и технологического брендинга, включительно для совершенствования системы маркирования и информационного сопровождения передовых пробиотических технологий и конечной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айала, Ф. Современная генетика: в 3 томах / Ф. Айала, Дж. Кайгер. — Москва: Мир, 1987–1988. — Т. 1 / перевод с английского А.Д. Базыкина; под редакцией Ю.П. Алтухова. — 1987. — 295 с. — URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001387998>.
2. Андриюшков, П.А. Исследование профиля высвобождения и выживаемости бифидобактерий из микрокапсул на основе альгината натрия и хитозана / П.А. Андриюшков, А.Л. Марченко, Т.Ф. Черных // Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. — 2026. — Т. 16, № 1. — С. 57–65. — DOI: 10.30895/1991-2919-2026-16-1-57-65.
3. Барышникова, Н.В. Пробиотики в лечении острых респираторных вирусных инфекций / Н.В. Барышникова // Медицинский алфавит. — 2023. — Вып. 11. — С. 6–12. — DOI: 10.33667/2078-5631-2023-11-6-12.
4. Бузмакова, У.А. Химическая классификация и методы определения антибиотиков / У.А. Бузмакова, О.С. Кудряшова // Вестник Пермского университета. — 2018. — Вып. 1. — С. 6–28. — DOI: 10.17072/2223-1838-2018-1-6-28.
5. Вёрткин, А.Л. Особенности и преимущества применения современных форм антибиотиков с улучшенными фармакокинетическими свойствами / А.Л. Вёрткин et al. // Новые лекарственные средства и подходы к лечению. — 2022. — Вып. 9. — С. 61–64. — DOI: 10.51793/OS.2022.25.9.011.
6. Похиленко, В.Д. Разработка способа капсулирования симбиотических бактерий / В.Д. Похиленко, И.А. Дунайцев, Т.А. Калмантаев et al. // Бактериология. — 2023. — Т. 8, № 3. — С. 16–25. — DOI: 10.20953/2500-1027-2023-3-16-25.

7. Mills, Susan. Precision Nutrition and the Microbiome Part II: Potential Opportunities and Pathways to Commercialisation / Susan Mills, Jonathan A. Lane, Keith Anthony Grimaldi, Graeme Smith // *Nutrients*. — 2019. — Т. 11, № 7. — С. 1468. — URL: https://www.researchgate.net/publication/334067613_Precision_Nutrition_and_the_Microbiome_Part_II_Potential_Opportunities_and_Pathways_to_Commercialisation.
8. Grumet, Lukas. The Development of High-Quality Multispecies Probiotic Formulations: From Bench to Market / Lukas Grumet, Yorick Tromp, Verena Stiegelbauer // *Nutrients*. — 2020. — Т. 12, № 8. — С. 2453. — URL: https://www.researchgate.net/publication/343695569_The_Development_of_High-Quality_Multispecies_Probiotic_Formulations_From_Bench_to_Market.
9. Карнышева, Н.Г. Микрокапсулирование лекарственных веществ — новые пути для повышения эффективности препаратов / Н.Г. Карнышева, Е.А. Тетерева, М.Н. Константинов // *Инновационная наука*. — 2023. — Вып. 4, ч. 2. — С. 170–172. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrokapsulirovanie-lekarstvennyh-veschestv-novye-puti-dlya-povysheniya-effektivnosti-preparatov>.
10. Семенова, М.Г. Новые технологии доставки фармакологически активных ингредиентов и пищевых нутриентов для регуляции метаболизма микробиома кишечника / М.Г. Семенова // *Успехи современной биологии*. — 2022. — Т. 142, № 4. — С. 365–372. — DOI: 10.31857/S0042132422040093.
11. Соловьева, И.В. Конструирование иммобилизованной формы жидкого пробиотика / И.В. Соловьева, А.Г. Точилина, И.В. Белова et al. // *Вестник ННГУ*. — 2012. — Вып. 2. — С. 85–92. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18981376>.
12. Сомов, А.Н. Капсулированные в альгинат пробиотики: получение и некоторые свойства / А.Н. Сомов, В.Д. Похиленко, И.А. Дунайцев et al. // *Биотехнология*. — 2022. — Т. 38, № 5. — С. 44–52. — DOI: 10.56304/S0234275822050131.
13. Егоров, А.М. Бактериальные ферменты и резистентность к антибиотикам / А.М. Егоров, М.М. Уляшова, М.Ю. Рубцова // *Acta Naturae*. — 2018. — Вып. 4. — С. 33–48. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36916320>.
14. Елохина, Э.Э. История развития технологий: перспективы и угрозы / Э.Э. Елохина, С.А. Прокладова // *Молодой ученый*. — 2023. — Вып. 25. — С. 260–263. — EDN: cijajf. — URL: <https://elibrary.ru/cijajf>.
15. Вобликова, Т.В. Жизнеспособность иммобилизованной микрокапсулированием культуры *Bifidobacterium bifidum* в кисломолочном напитке и смоделированных желудочно-кишечных жидкостях / Т.В. Вобликова // *Вестник МГТУ*. — 2019. — Т. 22, № 3. — С. 305–313. — DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-3-305-313.

Maltseva Ksenia Alekseevna

Russian Biotechnological University (ROSBIOTEC'H), Moscow, Russia

Larionov Maxim Viktorovich

Russian Biotechnological University (ROSBIOTEC'H), Moscow, Russia

E-mail: m.larionow2014@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0834-2462>

SciProfiles: <https://sciprofiles.com/profile/1548819>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/N-8885-2016>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191472790>

Microencapsulation of microorganisms: methods, possibilities and prospects

Abstract. Modern biotechnology is rapidly developing. This is especially true for microorganisms as the versatile production resource for bioengineering for various economic purposes. In this regard, microencapsulation offers certain promise in ensuring the economic functionality and viability of microorganisms. The microbiological risks of using microencapsulation in modern production are discussed. The importance of leading probiotic microencapsulation methods is updated, with the aim of identifying the leading ones. This procedure is also aimed at ensuring the biological and hygienic safety of relevant food, feed, and biopharmaceutical products. Several problematic aspects of microencapsulation of probiotic biosystems are discussed. At the same time, there is an objective need to develop and expand the market for functional foods, functional medicine, and functional feed additives using probiotic microorganisms. This area of biotechnology can be considered both directly for the implementation of food, feed, and medical purposes, and as the production technology with ecologized content. For production practices, it would be beneficial to thoroughly analyze best practices in ensuring the viability and functionality of probiotics, scale up experimental trials, and ensure wider adoption of successful methods and technologies, including microencapsulation. Expanding the product range would be beneficial, for example, through differentiation and the introduction of new lines of functional foods, functional feed supplements, and expanding the range of probiotic-based biopharmaceuticals.

Keywords: microencapsulation; probiotics; microorganisms; bacteria; functional food; public health; cell viability; biotechnology; industrial scaling; ecological content