

БИОТИКИ: ТЕРМИНОЛОГИЯ, БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ, ПРИМЕНЕНИЕ В МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ*

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Светлана Андреевна Рябцева¹, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры прикладной биотехнологии факультета пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А. Г. Храмцова

Мария Александровна Шпак¹, канд. техн. наук, доцент кафедры стандартизации, метрологии и управления качеством

Елена Владимировна Поландова², руководитель направления «Заквасочные культуры»

¹Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

²ЕКОКОМ, г. Москва

Актуальность работы обусловлена ростом интереса молочной промышленности к исследованию и применению про-, пре- и синбиотиков, представления о которых постепенно меняются, а также появлением новых терминов в этой области. Цель работы – систематизация современных представлений о различных биотиках, анализ терминологии и определение актуальных направлений их применения в молочной промышленности с использованием библиографического картирования. Объектом исследования стали регламентирующие документы и научные публикации по вопросам терминологии, получения и применения биотиков. При анализе достижений в области применения биотиков в молочной промышленности использовали программный продукт VOSviewer 1.6.20. Для поиска информации были использованы базы данных Scopus, PubMed, eLIBRARY.RU. В результате установлено, что расширение семейства биотиков и усложнение представлений о них относятся к ведущим тенденциям современной науки о питании. Пробиотики, пребиотики и их сочетания (синбиотики) являются наиболее известными и давно применяемыми в молочной промышленности ингредиентами функционального питания. В то же время существует несогласованность определений и норм их применения в разных регламентирующих документах Российской Федерации, что требует внимания специалистов по стандартизации. Целый ряд появившихся в последние десятилетия терминов связан с понятием пробиотиков и отражает различные аспекты их получения и применения. К новому и быстро развивающемуся направлению относится концепция постбиотиков, интерес к которым связан с их стабильностью в процессе промышленного производства и при хранении. Для молочной промышленности особенно ценным является то, что биотики не только придадут продукции дополнительные полезные для здоровья свойства, но и могут положительно влиять на технологические, органолептические характеристики и хранимоспособность продуктов. Таким образом, исследование и применение биотиков позволит создать новые продукты функционального питания и привлечь внимание потребителей к уже традиционным кисломолочным продуктам.

Ключевые слова: пробиотик, пребиотик, синбиотик, постбиотик, метабиотик, молочная промышленность

Для цитирования: Рябцева, С. А. Биотики: терминология, библиографическое картирование, применение в молочной промышленности / С. А. Рябцева, М. А. Шпак, Е. В. Поландова // Молочная промышленность. 2026. № 4. С. 38–51. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2026-4-97>

ВВЕДЕНИЕ

В мае 2025 г. научное сообщество отметило 180 лет со дня рождения И. И. Мечникова, знаменитого биолога, основоположника иммунологии и геронтологии. Он открыл огромное влияние микроорганизмов кишечника человека на состояние его здоровья и рассматривал ежедневное употребление кисломолочных продуктов как средство для активного долголетия¹. Многие авторы современных научных публикаций, в т. ч. зарубежные, считают его основоположником концепции пробиотиков, возникшей и быстро развивавшейся во второй половине XX в. [1–5]. Однако слово «биотик» (от греч. βιωτικός, пригодный для жизни, живой) сначала было использовано с приставкой анти-

(от греч. ἀντι-, против). Термин антибиотик был предложен З. А. Ваксманом в 1947 г. для обозначения «химического вещества, вырабатываемого микроорганизмами, способного подавлять рост и даже уничтожать бактерии и другие микроорганизмы» [6].

Долгое время (в некоторых странах до сих пор) к антибиотикам относили только бактерицидные препараты природного или полусинтетического происхождения. Сейчас этот термин иногда используют и по отношению к синтезированным химическим путем веществам, в т. ч. с более широким спектром действия, например противогрибковым. Антибиотики широко применяют в медицине и ветеринарии для лечения инфекционных заболеваний,

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-20093, <https://rscf.ru/project/25-26-20093/> (региональный, софинансирование Ставропольского края).

¹Мечников: великие открытия, изменившие биологию и медицину. [Электронный ресурс]. URL: <https://new.ras.ru/press-center/ilya-mechnikov-velikie-otkrytiya-izmenivshie-biologiyu-i-medsinu/> (дата обращения 29.01.2026).



Источник изображения: magillc.com

однако с этим связаны и серьезные проблемы – нарушение нормальной микрофлоры пациентов и растущая антибиотикорезистентность патогенных микробов. Существуют довольно высокие риски попадания антибиотиков в молоко-сырье, поэтому оно обязательно контролируется на их содержание [7]. Для этого предусмотрены различные методы, в т. ч. микробиологический (ГОСТ 31502), иммуноферментный (ГОСТ 32219), а также высокоэффективной жидкостной хроматографии (ГОСТ 33526), который является арбитражным методом при возникновении разногласий (ГОСТ Р 52054).

При всей важности темы антибиотиков, которая требует отдельного аналитического обзора, следует отметить, что в настоящее время ученые относят к семейству биотиков только полезные для здоровья ингредиенты, связанные с понятием «пробиотик» (от лат. pro-, для). Хотя считается, что оно было введено в научную терминологию в 1965 г. Д. М. Лилли и Р. Х. Стиллвеллом для обозначения секретлируемых микробами веществ, которые могут быть факторами роста других микроорганизмов [8], пробиотическое влияние некоторых кокков на бациллы Леффлера описал С. Бабудиери еще в 1947 г. [9]. Близкое к современному представление о пробиотиках появилось в 1989 г., когда Р. К. Фуллер предложил рассматри-

вать их как «живую микробную пищевую добавку, которая благотворно влияет на животное-хозяина, улучшая его кишечный микробный баланс» [10].

Новый термин, «пребиотики» (от лат. praе-, перед), был предложен Г. Р. Гибсоном и М. Б. Роберфройдом в 1995 г. для обозначения «неперевариваемых пищевых ингредиентов, которые благотворно влияют на хозяина, избирательно стимулируя рост и / или активность одного или ограниченного числа видов бактерий, уже обитающих в толстой кишке, и таким образом пытаются улучшить здоровье хозяина». Авторы предполагали, что пребиотики могут помочь преодолеть ограничения, связанные с кратковременностью действия экзогенных пробиотиков. В этой же статье также была представлена концепция синбиотиков (от лат. syn-, вместе), объединяющая принципы про- и пребиотиков [11].

За прошедшие годы опубликованы тысячи работ о результатах исследований свойств про- и пребиотиков в лабораториях и клиниках. Так, общее количество публикаций в системе PubMed с ключевым словом probiotic² с 1947 г. составляет 61 327, в т. ч. в 2025 – 8718; prebiotic³ с 1966 г. – 19 610, в т. ч. в 2025 – 2603; symbiotic⁴ с 1976 г. – 3837, в т. ч. в 2025 г. – 651. Про- и пребиотики быстро нашли применение в фармацевтической и пищевой промышленности, объемы их производства растут быстрыми темпами. Рынок пробиотиков достиг в 2025 г. 86 млрд долл., и прогнозируется его дальнейший рост на 10,9 % в год до 2029 г.⁵ Хотя рынок пребиотиков меньше, он составил 10,4 млрд долл. в 2024 г., прогноз его среднегодового роста еще выше – около 15 % до 2034 г.⁶

Растет интерес молочной промышленности к исследованию и применению про-, пре- и синбиотиков, что отражается в увеличении количества публикаций по этой теме, наиболее значимое в отношении пробиотиков (рис. 1). При этом существуют проблемы, связанные как с отсутствием общепризнанной методологии и неоднозначностью оценки влияния биотиков на здоровье человека, так

²Probiotic - Search Results – PubMed [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=probiotic&sort=date> (дата обращения 29.01.2026).

³Prebiotic - Search Results - PubMed [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=prebiotic&sort=date> (дата обращения 29.01.2026).

⁴Symbiotic - Search Results - PubMed [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=symbiotic&sort=date> (дата обращения 29.01.2026).

⁵Probiotics Global Market Report 2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5744225/probiotics-global-market-report> (дата обращения 29.01.2026).

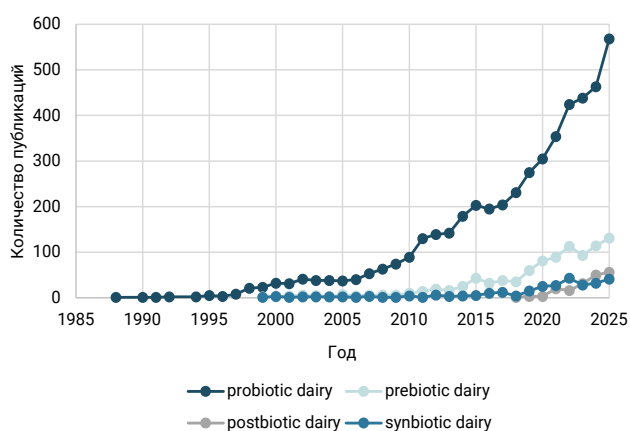
⁶Prebiotics Market Size, Share, Demand and Trends Analysis [Электронный ресурс]. URL: <https://www.towardsfnb.com/insights/prebiotics-market> (дата обращения 29.01.2026).

и с техническим регулированием их использования в пище, значительно отличающимся в разных странах мира [12]. Совершенствование молекулярно-генетических методов исследования микробиомов живых существ привело к изменениям в представлениях о про- и пребиотиках и многократному пересмотру их определений. Кроме того, в последние десятилетия терминология значительно расширилась за счет появления пост-, пара-, мета-, фарм-, психо-, онко-, бьюти- и других биотиков. Несмотря на то, что понятие постбиотиков (от лат. post-, после) появилось в науке совсем недавно, их уже начинают включать в состав пищевых продуктов, в т. ч. молочных (рис. 1). Однако рост количества биотиков и разная трактовка определений в публикациях затрудняют их восприятие как в научной среде, так и среди производителей и потребителей.

Цель работы – систематизация современных представлений о различных биотиках, анализ терминологии и определение актуальных направлений их применения в молочной промышленности с использованием библиографического картирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования стали регламентирующие документы и научные публикации по вопросам терминологии, получения и применения биотиков. Для поиска информации были использованы ключевые слова: пробиотик, пребиотик, синбиотик, постбиотик, метабиотик probiotic, prebiotic, synbiotic, postbiotic,



Примечание: по результатам поиска в системе PubMed с ключевыми словами probiotic dairy, prebiotic dairy, postbiotic dairy, synbiotic dairy на 29.01.2026.

Рисунок 1. Динамика количества публикаций по теме применения про-, пре-, син- и постбиотиков в молочной промышленности

Источник изображения: magnific.com



metabiotic. Поиск осуществлялся по базам данных Scopus, PubMed, eLIBRARY.RU за период с 1988 по 2026 г. При анализе достижений в области применения биотиков в молочной промышленности использовали программный продукт открытого доступа VOSviewer 1.6.20. Для создания библиографических карт в качестве источника данных выбрали базы данных системы поиска PubMed по соответствующим ключевым словам (probiotic dairy, prebiotic dairy, postbiotic dairy) на 29.01.2026. Применяли тип анализа по совпадению авторских ключевых слов «co-occurrence» и поиск по авторским ключевым словам. Специально составленный словарь включал 104 позиции и позволил исключить повторение синонимов и аббревиатур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современные представления о про-, пре-, син- и постбиотиках отражены в согласованных заявлениях о сфере применения и надлежащем использовании терминов, принятых Международной научной ассоциацией пробиотиков и пребиотиков (ISAPP) (табл. 1). Эта некоммерческая организация, основанная в 2002 г., объединила ведущих мировых ученых из разных дисциплин для развития науки и расширения знаний в этой области. В последние годы ISAPP изменила парадигму изучения и понимания биотиков, включив в эту сферу син-, постбиотики и ферментированные продукты⁷. В таблице 1 также показаны определения про-, пре и синбиотиков по действующему в России ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения».

⁷ISAPP is a global scientific community [Электронный ресурс]. URL: <https://isappscience.org/about/> (дата обращения 29.01.2026).

Анализ таблицы 1 показывает, что регламентированные ГОСТ Р 52349-2005 понятия про- и пребиотиков описаны более развернутыми формулировками, чем международные, и подразумевают влияние только на микрофлору кишечника. Определение постбиотиков у нас в стране пока не стандартизовано. Некоторые уточнения были введены позже в других стандартах, но фокусировка на пищеварительном тракте сохранилась. В соответствии с Техническим регламентом Евразийского экономического союза (ЕАЭС) ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» пробиотиками должны быть «представители защитных групп нормального кишечного микробиоценоза здорового человека и природных симбиотических ассоциаций, поступающие в составе пищевой продукции для улучшения (оптимизации) состава и биологической активности защитной микрофлоры кишечника человека». По ГОСТ Р 56201-2014 Продукты пищевые функциональные. Методы определения бифидогенных свойств пробиотическими считаются жизнеспособные непатогенные, нетоксигенные микроорганизмы, поступающие в кишечник человека с пищей, благотворно воздействующие на организм человека и нормализующие состав и биологическую активность микрофлоры пищеварительного тракта (преимущественно микроорганизмы родов *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium*, *Lactococcus*, вида *Streptococcus thermophilus* в монокультурах и в ассоциациях). Похожее определение пробиотиков дано

в ГОСТ Р 56139-2014 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов».

По мнению ведущих российских ученых, пробиотиками можно называть микроорганизмы, точно идентифицированные до уровня штамма, функциональные характеристики которых доказаны в контролируемых клинических исследованиях, обладающие высокой жизнеспособностью, чтобы оставаться в продукте к концу срока годности в достаточном количестве [17]. Однако такое «достаточное» количество трактуется в стандартах неоднозначно. В соответствии с ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» содержание пробиотических микроорганизмов в обогащенной пищевой продукции должно оставлять не менее 10^9 колониеобразующих единиц (микробных клеток) в 1 г (мл). ТР ТС 033 2013 «О безопасности молока и молочной продукции» нормирует пробиотики совсем по-другому: бифидобактерий и / или других пробиотических микроорганизмов в обогащенных ими кисломолочных продуктах должно быть не менее 1×10^6 КОЕ/см³ (г), а молочнокислых бактерий (обычной заквасочной микрофлоры) – не менее 1×10^7 КОЕ/см³ (г). Если принять за основу эти цифры и ориентироваться на требования «Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» (с изменениями на 16 декабря 2025 г.),

Таблица 1. Регламентация определений биотиков

Термин	Определение ISAPP	Определение по ГОСТ Р 52349-2005
Пробиотик	Живые микроорганизмы, которые при введении в достаточном количестве оказывают благотворное воздействие на здоровье организма (2014 г.) [13]	Функциональный пищевой ингредиент в виде полезных для человека непатогенных и нетоксигенных живых микроорганизмов, обеспечивающий при систематическом употреблении человеком в пищу непосредственно в виде препаратов или биологически активных добавок к пище либо в составе пищевых продуктов благоприятное воздействие на организм человека в результате нормализации состава и / или повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника
Пребиотик	Субстрат, который избирательно используется микроорганизмами хозяина и оказывает благотворное воздействие на здоровье (2017 г.) [14]	Физиологически функциональный пищевой ингредиент в виде вещества или комплекса веществ, обеспечивающий при систематическом употреблении в пищу в виде препаратов или в составе пищевых продуктов благоприятное воздействие на организм человека в результате нормализации состава и / или биологической активности нормальной микрофлоры кишечника
Синбиотик	Смесь, включающая живые микроорганизмы и субстрат(ы), избирательно используемый (-ые) микроорганизмами хозяина, которая оказывает благотворное воздействие на здоровье хозяина (2020 г.) [15]	Физиологически функциональный пищевой ингредиент, представляющий собой комбинацию пробиотиков и пребиотиков, в которой пробиотики и пребиотики оказывают взаимно усиливающее воздействие на физиологические функции и процессы обмена веществ в организме человека
Постбиотик	Препарат из неживых микроорганизмов и / или их компонентов, который оказывает благотворное воздействие на здоровье хозяина (2021 г.) [16]	–

которые определяют нормы безопасности для товаров, подлежащих контролю в ЕАЭС (табл. 2), то в сутки рекомендуется потреблять не менее 500 мл продукта с бифидобактериями (но не более 50 л, что вызывает сомнения) и на порядок меньше продукции с лактобациллами – пробиотиками. В то же время адекватный уровень потребления кисломолочных продуктов с лактококками, термофильными стрептококками и пропионовокислыми бактериями будет составлять 10 г (мл), что также вызывает вопросы. По-видимому, некоторые стандарты нуждаются в уточнении и согласовании по этим показателям. Кроме того, следует учесть изменения в номенклатуре, т. к. род *Lactobacillus* был разделен, и многие пробиотики теперь относятся к другим родам (например, *Lactocaseibacillus casei*, *Lactocaseibacillus rhamnosus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Limosilactobacillus reuteri* [3, 5]).

Современные определения ISAPP не ограничиваются положительным влиянием биотиков на микробиоту кишечника, т. к. появились данные рандомизированных двойных слепых плацебо-контролируемых исследований, подтверждающих их воздействие на другие органы и / или системы, в т. ч. на полость рта, кожу, легкие, мочеполовую и нервную системы [13–16]. Отмечено, что ряд эффектов, в т. ч. подавление потенциальных патогенов и производство полезных метаболитов, могут вызывать многие штаммы одного вида, который может считаться пробиотиком, а влияние на иммунитет или мозг является более штаммоспецифичным. Расширен и спектр родов и видов пробиотиков, т. к. метагеномные исследования показали, что некоторые комменсалы – представители микробиоты человека (*Akkermansia muciniphila*,

Faecalibacterium prausnitzii, *Roseburia* spp. и др.) могут быть успешно использованы для предупреждения воспаления и повышения барьерной функции кишечника, а также регуляции иммунного ответа. В то же время подчеркнута, что не следует считать пробиотиками живые культуры, традиционно применяемые для получения ферментированных продуктов, но не имеющие доказательства пробиотической активности, а также неидентифицированную фекальную микробиоту, используемую для трансплантации [13], которую в литературе иногда называют аутобиотиками. В отечественных источниках встречается также термин «эубиотики» (считается устаревшим) как синоним пробиотиков, хотя в зарубежной литературе его используют часто и под эубиотиками, как правило, подразумевают собственную нормальную микробиоту здорового хозяина (от греч εὖ-, хорошо, истинно, нормально) [18].

Представления о пребиотиках тоже постепенно меняются. В ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» пребиотиками названы «пищевые вещества, избирательно стимулирующие рост и (или) биологическую активность представителей защитной микрофлоры кишечника человека, способствующие поддержанию ее нормального состава и биологической активности при систематическом потреблении в составе пищевой продукции». В ГОСТ Р 56201-2014 Продукты пищевые функциональные. Методы определения бифидогенных свойств уточняется, что такие пищевые вещества должны быть неперевариваемыми и стимулировать рост и / или биологическую активность одного или ограниченного числа представителей защитной микрофлоры. Кроме определения (табл. 1) в ГОСТ Р 52349-2005 приведен пере-

Таблица 2. Величины суточного потребления пищевых и биологически активных компонентов пищи

Микроорганизмы	Традиционные пищевые продукты и продовольственное сырье	Адекватный уровень потребления, КОЕ/сутки	Верхний допустимый уровень потребления, КОЕ/сутки
Бактерии рода <i>Bifidobacterium</i> , в т. ч. <i>B. infantis</i> , <i>B. bifidum</i> , <i>B. longum</i> , <i>B. breve</i> , <i>B. adolescentis</i> и др. с доказанными пробиотическими свойствами	Кисломолочные продукты	5×10^8	5×10^{10}
Бактерии рода <i>Lactobacillus</i> , в т. ч. <i>Lb. acidophilus</i> , <i>Lb. fermentii</i> , <i>Lb. casei</i> , <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. bulgaricus</i> и др. с доказанными пробиотическими свойствами	Кисломолочные продукты, сыры, сквашенные продукты на растительной основе	5×10^7	5×10^9
Бактерии рода <i>Lactococcus</i> spp., <i>Streptococcus thermophilus</i> в монокультурах и в ассоциациях с пробиотическими микроорганизмами		10^7	10^9
<i>Propionibacterium shermanii</i> в комплексе с пробиотическими и молочнокислыми микроорганизмами	Сыры, кисломолочные продукты (в комплексе с молочнокислыми микроорганизмами)	10^7	10^8

Примечание: составлено по данным Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю).

чень веществ, которые являются «основными видами пребиотиков: ди- и трисахариды; олиго- и полисахариды; многоатомные спирты; аминокислоты и пептиды; ферменты; органические низкомолекулярные и ненасыщенные высшие жирные кислоты; антиоксиданты; полезные для человека растительные и микробные экстракты и другие». Такой перечень не соответствует традиционным представлениям о пребиотиках, к которым раньше относили только неперевариваемые олигосахариды, прежде всего лактулозу, галакто- и фруктоолигосахариды [3, 8, 19], а в последние годы также относят фенолы, конъюгированную линолевую кислоту и полиненасыщенные жирные кислоты. Признание пищевых волокон (полисахаридов) в качестве пребиотиков ограничено и зависит от организма. Например, целлюлоза может считаться пребиотиком для жвачных животных, но не для человека [14].

Ученые признают, что пребиотическое действие распространяется не только на бифидобактерии и лактобациллы, но и на другие группы микроорганизмов, в т. ч. через «эффект перекрестного питания». Главное, чтобы производимые ими метаболиты оказывали положительное влияние на системы и органы, причем его оценку необходимо проводить в смешанных микробных экосистемах с использованием методов метагеномики и метаболомики. Данные о пользе пребиотиков для здоровья постоянно обновляются и основаны на доказанном в клинических исследованиях влиянии на желудочно-кишечный тракт, иммунную систему, метаболизм, функции мозга и биодоступность минералов [3, 8, 14].

Понятие о синбиотиках было обновлено ISAPP в 2020 г. (табл. 1), при этом подразумевалось, что микроорганизмы хозяина включают как автохтонные (собственные, колонизирующие), так и аллохтонные (введенные извне, например пробиотики) микробы, любой из которых может использовать вещество (пребиотик), содержащийся в синбиотике. В зависимости от назначения пребиотического компонента синбиотики были разделены на 2 вида – комплементарные и синергические. В первом случае пребиотик должен воздействовать только на автохтонные микроорганизмы, а во втором – избирательно используется и пробиотическая микрофлора синбиотика, и собственная микробиота хозяина. Причем нужно доказать, что комбинированный эффект совместного использования про- и пребиотика лучше, чем предполагаемые эффекты отдельных компонентов [15]. Таким образом, понимание именно синергического синбиотика соответствует определению синбиотика по ГОСТ (табл. 1).



Источник изображения: magnific.com

Интересно, что концентрация про- и пребиотиков в составе синбиотика может быть ниже, чем обычно рекомендуемая для их отдельного применения. Синбиотики могут действовать не только на кишечный микробиом, но и на внекишечные микробные экосистемы, использоваться в составе различных продуктов, в т. ч. пище, кормах, лекарствах. Подчеркнуто, что не является синонимом синбиотика термин «симбиотик», который происходит от слова симбиоз (от греч. *συν-βίωσις*, совместная жизнь) [15]. Можно предположить, что симбиотиком можно было бы назвать консорциум разных видов и / или штаммов пробиотиков, в котором они оказывали бы положительное влияние друг на друга, а при введении в организм – и на его микробиоту. Сегодня ученые все активнее изучают многовидовые и многоштаммовые пробиотики. Одно из перспективных направлений – их использование для укрепления иммунитета у спортсменов [20].

Термин «постбиотик» был введен ISAPP в 2021 г. (табл. 1), когда он уже часто встречался в научной литературе, но трактовался по-разному. Постбиотики сразу привлекли внимание производителей, т. к. инактивированные микробные клетки и их компоненты, оказывающие оздоровительные эффекты, имеют определенные преимущества по сравнению с живыми бактериями-пробиотиками, плохо выживающими в продуктах и ЖКТ, часто чужеродными для собственной микробиоты хозяина и способными вызвать бактериемию у людей с ослабленным иммунитетом [1]. В публикациях для описания оставшихся после разрушения клеток пробиоти-

ков веществ использовали разные термины, в т. ч. нежизнеспособные пробиотики, пробиотики-призраки, парапробиотики, термоинактивированные пробиотики, метабиотики и др., но в последние годы ученые все чаще называют их постбиотиками [16].

Хотя признанные пробиотики, штаммы лактобацилл и бифидобактерий стали источником многих исследованных постбиотиков, другие инактивированные бактерии и даже грибы показали выраженные положительные эффекты на различные системы и органы. В то же время одним из критериев получения статуса постбиотика должна стать молекулярно-генетическая характеристика микроорганизмов-предшественников для обеспечения их точной идентификации и подтверждения безопасности. В связи с этим постбиотики из микроорганизмов, уже имеющих международный статус безопасности (например, GRAS или QPS), быстрее проходят путь регламентации и коммерциализации [2, 16].

Инактивацию микроорганизмов обычно проводят термообработкой, в т. ч. с использованием традиционно применяемых в пищевой промышленности процессов пастеризации, стерилизации и распылительной сушки. В качестве нетермических методов разрушения клеток могут быть использованы ферментативный гидролиз, автолиз, химический лизис, заморозка-оттаивание, ультразвуковая обработка, высокое давление, рентгеновское или ионизирую-

щее излучение, воздействие магнитным полем и др. При выборе режимов следует учитывать не только необходимость подтверждения полной инактивации микроорганизмов, но и возможное изменение функциональных свойств постбиотика [3, 16].

Инактивированные смеси являются сложными по составу и могут содержать разнообразные клеточные структуры и метаболиты, наиболее значимые из которых показаны на рисунке 2. Органические кислоты и бактериоцины подавляют рост условно патогенной микрофлоры, а части клеток (например, фимбрии, лектины) способны перекрывать доступ для ее адгезии в кишечнике. Короткоцепочечные жирные кислоты выполняют ряд функций: способствуют улучшению барьерной функции кишечника, влияют на регуляцию иммунной и нервной систем, а также метаболизма в целом. Молочная кислота, экзополисахариды и другие органические вещества могут быть использованы собственной микробиотой кишечника и пробиотиками для перекрестного питания и синтеза полезных метаболитов. Более подробно функции постбиотиков и доказанные оздоровительные эффекты рассмотрены в недавно опубликованных обзорах [3, 8, 12, 21].

В документах ISAPP отмечено, что нельзя называть постбиотиками вакцины и очищенные микробные метаболиты [16]. К последним, по-видимому, и должен относиться пока не регламентированный термин

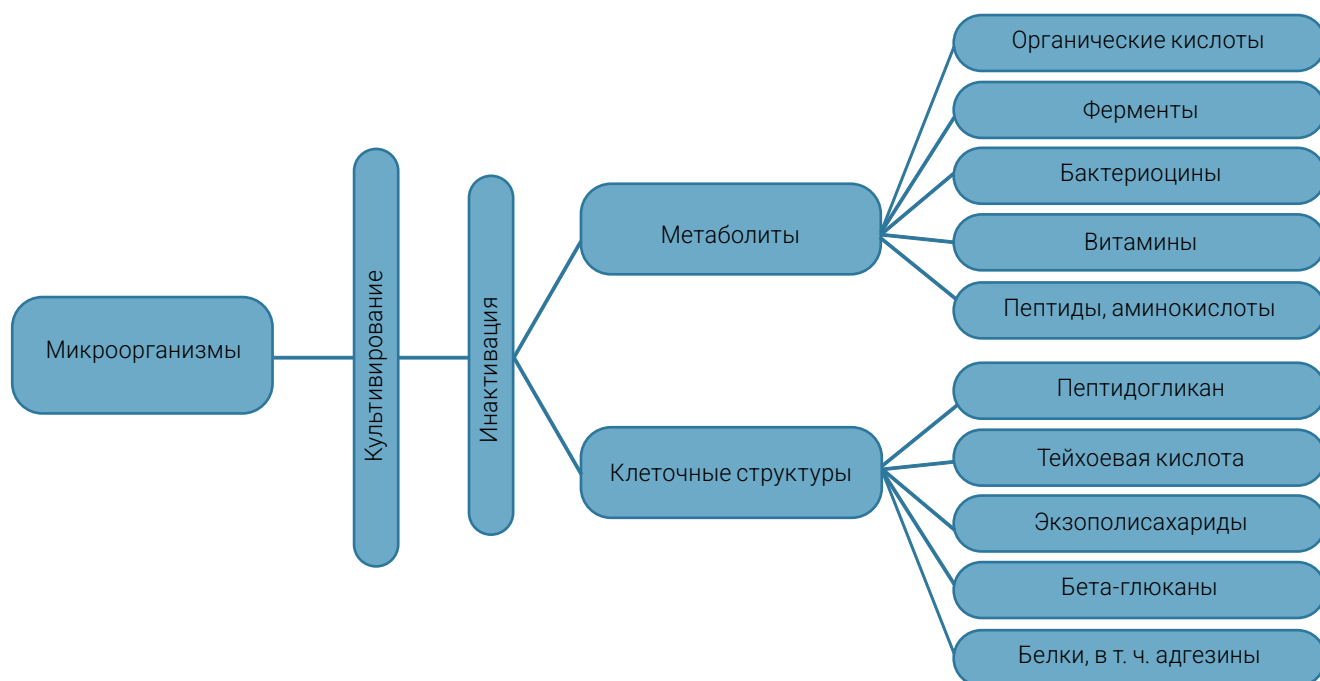


Рисунок 2. Основные процессы получения и компоненты постбиотиков

«метабиотики», который уже широко применяют в научной литературе, но в разных значениях [4]. Важно, что постбиотики могут быть использованы путем введения не только в кишечник, но и в носоглотку, полость рта, мочеполовой тракт и на кожу, причем на поверхность, а не путем инъекции [16]. Это открывает возможности в создании новых средств лечения и профилактики заболеваний, для которых применяют термин «фармабиотики», в свою очередь подразделяющиеся на психо-, онко- и другие биотики в зависимости от назначения [22]. Следует отметить, что речь идет о потенциальной возможности применения постбиотиков в медицине после прохождения всех этапов их регистрации в качестве лекарственных средств. Инактивированные микроорганизмы и их метаболиты, которые часто называют бьютибиотиками (от англ. beauty, красота), уже используют в косметических средствах.

На основании анализа литературы разработана классификация основных видов биотиков (рис. 3). Биотики, которые могут быть использованы в молочных продуктах, выделены заглавным шрифтом, из них только про-, пре- и синбиотики регламентируются стандартами РФ. Под метабиотиками подра-

зумеваются метаболиты микроорганизмов, очищенные от других компонентов инактивированной смеси, с доказанными полезными для здоровья свойствами. Термин «фармабиотики» использован в значении разных видов биотиков, разрешенных для применения в медицине (фармакологии) для лечения и / или профилактики различных заболеваний [22]. Так как некоторые вещества-биотики могут быть получены путем инактивации микроорганизмов, связь между этими элементами показана штрих-пунктирной линией. Под эубиотиками, как принято в современной зарубежной научной литературе, подразумеваются представители нормальной микробиоты здорового человека. Многие известные пробиотики были выделены из нее и способствуют ее поддержанию, поэтому их связь также показана штрих-пунктирной линией.

Для анализа достижений в области применения пробиотиков в молочной промышленности использовали VOSviewer 1.6.20. и базы данных системы поиска PubMed по ключевому слову «probiotic dairy» на 29.01.2026. При проведении поиска информации было выявлено 4307 источника, для построения читаемой карты из 456 авторских ключевых

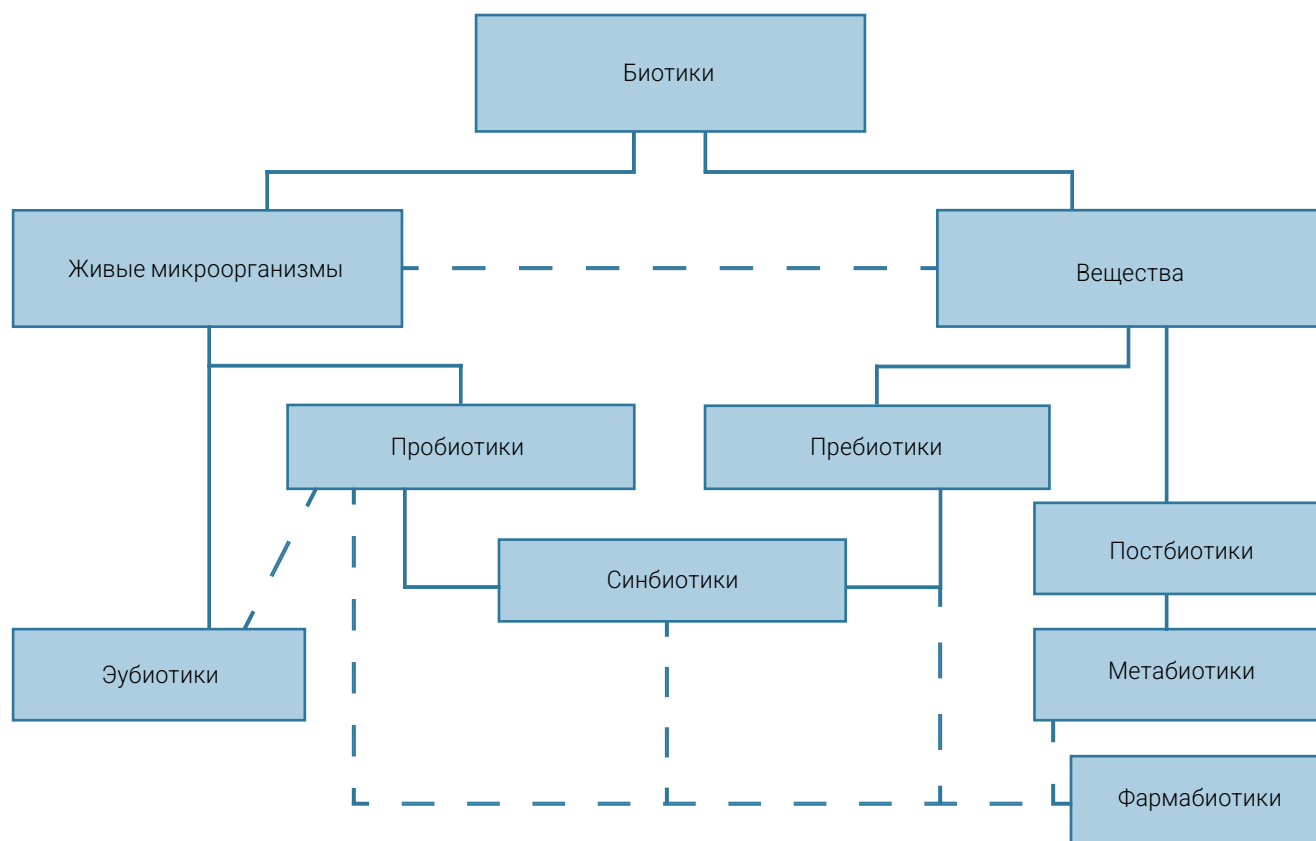


Рисунок 3. Классификация и взаимосвязь биотиков

слов было отобрано 70 с минимальной частотой совпадения 5. Построенная программой библиографическая карта представляет собой систему взаимосвязанных элементов (кругов), каждый из которых соответствует определенному ключевому слову в публикациях, а размер отражает частоту его встречаемости (рис. 4).

На полученной библиографической карте выделено 6 кластеров, отличающихся цветом и объединяющих элементы с самыми тесными связями. Крупный кластер красного цвета отражает взаимосвязь термина «молочнокислые бактерии» с ферментированной пищей, антимикробной активностью и устойчивостью, бактериоцинами, безопасностью, биопленками, адгезией, антибиотикорезистентностью, геномом, а также стартерными культурами (в т. ч. *Str. thermophilus*, *Lac. lactis*, *Lb. paracasei*) и дрожжами.

Один из доказанных механизмов действия пробиотиков основан на их способности вырабатывать вещества, подавляющие условно-патогенные, патогенные и гнилостные микроорганизмы. Это свойство пробиотиков представляет интерес не только с точки зрения их влияния на микробиоту кишечника, но и для предотвращения порчи и продления сроков год-

ности молочных продуктов. К антимикробным веществам, способным играть роль натуральных консервантов, относят такие метаболиты пробиотиков как органические кислоты (прежде всего, молочная и уксусная), бактериоцины, ферменты, этиловый спирт, пероксид водорода, диоксид углерода и др. Некоторые антимикробные пептиды пробиотиков обладают высокой термической и pH-стабильностью, они могут использоваться в качестве постбиотиков или выделены и применяться отдельно, как метаболиты. Примером является хорошо известный бактериоцин низин, вырабатываемый молочными лактококками. Его получают в промышленных масштабах и применяют во многих странах для предупреждения пороков, вызванных спорообразующими бациллами и клостридиями. В ряде исследований было показано, что некоторые штаммы *Lb. plantarum* и *Lb. casei*, внесенные вместе с традиционными стартерными культурами-кислотообразователями, создают дополнительный барьер защиты сыров от *Staphylococcus aureus* и *Listeria monocytogenes* [23].

В последние десятилетия большое внимание привлекают традиционные (обычно национальные) и новые ферментированные продукты, которые являются источниками полезных для здоровья микроорганиз-

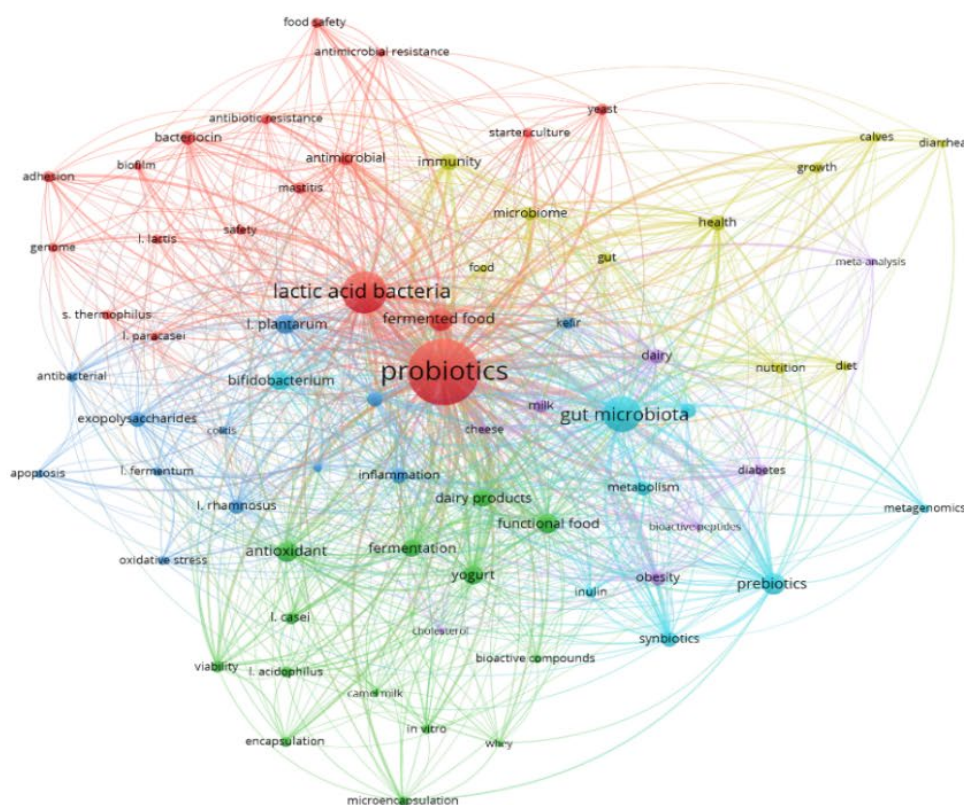


Рисунок 4. Библиографическая карта по теме «Пробиотики в молочной промышленности»



мов (т. е. пробиотиков) и веществ (включая пре- и / или пост- и / или метабиотики), поэтому могут рассматриваться как мультибиотики. По мнению некоторых ученых, этот термин можно применить к таким известным молочным продуктам как кефир, йогурт, сметана, сыры, т. к. они содержат большое количество соединений, определяющих не только их технологические, органолептические, но и функциональные свойства. Все больше внимания привлекают короткоцепочечные жирные кислоты, мембраны жировых шариков, биоактивные пептиды, нуклеиновые кислоты и витамины, содержащиеся в ферментированных продуктах [24]. Можно предположить, что мультибиотиками могут быть названы продукты, содержащие 3 и более биотических компонента. Например, так могут быть названы био йогурты, содержащие пробиотики, продукты их метаболизма (метабиотики) и остатки клеток (постбиотики).

Зеленый кластер (рис. 4) концентрирует наше внимание на антиоксидантах и других биоактивных компонентах молочных продуктов (в т. ч. йогуртов), а также на выживаемости пробиотических культур (особенно *Lb. acidophilus* и *Lb. casei*), актуальным методом повышения которой является микроинкапсуляция. Быстро развивающиеся технологии микро- и нанокапсулирования предлагают потенциальные решения для повышения стабильности, биодоступности и контролируемого высвобождения микроорганизмов и / или биоактивных соединений в желудочно-кишечном тракте. Важно, что этот кластер включает термин «молочная сыворотка», белковые компоненты которой используют при капсулировании биотиков [25].

Синий кластер (рис. 4) собран вокруг экзополисахаридов и антибактериальных свойств молочнокислых палочек видов *Lb. plantarum*, *Lb. rhamnosus*, *Lb. fermentum*, оказывающих влияние на запрограммированную гибель клеток (апоптозы), связанную с иммунитетом, формированием и обновлением тканей, а также с предупреждением воспалительных заболеваний кишечника, в т. ч. колитов. Микробные экзополисахариды (ЭПС) имеют разное строение и могут выполнять двойную функцию в молочных продуктах. С одной стороны, они являются стабилизаторами и эмульгаторами, формирующими консистенцию, эти же свойства могут быть использованы при создании биоразлагаемых упаковочных материалов. С другой стороны, они положительно влияют на иммунитет и системный метаболический гомеостаз [26]. Это тесно связано с термином «кишечная микробиота», являющимся центром голубого кластера и ассоциируемым с бифидобактериями, пребиотиками, синбиотиками, а также их использованием при нарушениях метаболизма, в т. ч. ожирении и диабете. Отдельный кластер, выделенный желтым цветом, объединяет темы влияния пробиотиков на здоровье, иммунитет и рост телят, в частности, предупреждение у них диареи.

Пробиотики уже давно знакомы российским производителям и потребителям. В магазинах представлен большой ассортимент молочной продукции с приставкой «био», которая в соответствии с ТР ТС 033/2013 используется для «наименований кисломолочных продуктов, обогащенных пробиотическими микроорганизмами и / или пребиотиками.

Известные пробиотические культуры, в т. ч. бифидобактерии, ацидофильную палочку и палочку плантарум, пропионовокислые бактерии в составе комбинированных заквасок линии Бифилакт выпускает экспериментальная биофабрика ВНИИМС (г. Углич)⁸, Барнаульская биофабрика (г. Барнаул) и другие предприятия, однако они не могут пока полностью обеспечить спрос в нашей стране. Некоторые стартерные культуры с доказанными полезными свойствами поступают из-за рубежа.

Библиографическое картирование по пребиотикам в молочной промышленности (выявлено 844 публикации, использовано 50 ключевых авторских слов) позволяет выделить 6 групп публикаций (рис. 5). Показана тесная связь пребиотиков и пробиотиков в составе ферментированных молочных продуктов, в т. ч. йогурта и кефира (красный кластер), с их антиоксидантными свойствами, образованием экзополисахаридов и микроинкапсуляцией. На карте хорошо просматриваются два основных пребиотика – лактулоза и галактоолигосахариды (ГОС), получаемые из лактозы молочного сырья, в т. ч. сыворотки, путем трансгалактозилирования с бета-галактозидазами или эпимеразами (зеленый кластер). Лактулоза и ГОС, как и другие олигосахариды, в т. ч. фруктоолигосахариды (ФОС), влияют на микробиоту кишечника, стимулируют рост бифидобактерий, способствуют

образованию короткоцепочечных жирных кислот (фиолетовый кластер). Все это повышает эффективность действия пребиотиков (в т. ч. в составе синбиотиков) при диабете, ожирении, снижении иммунитета и плотности костей (синий кластер). На карте появился и термин «постбиотики», связанный с другими направлениями влияния на здоровье.

Известно применение лактулозы в целом ряде молочных продуктов, в т. ч. в РФ. При этом основная роль пребиотика дополняется способностью лактулозы выполнять функции фактора роста и криопротектора для заквасочной микрофлоры, в т. ч. пробиотиков, а также некариогенного подсластителя с низкой калорийностью [27]. ГОС не используют в нашей стране, но в мире они нашли широкое применение в производстве адаптированных смесей-заменителей женского молока, а также других молочных продуктов (молока, йогуртов, мороженого, сыра), где имеют значение устойчивость ГОС к температуре и pH и их структурообразующие свойства. ГОС могут повышать растворимость, сладость и устойчивость к кристаллизации сгущенного молока [19].

Проведенное библиографическое картирование по авторам и журналам публикаций, в которых исследуют постбиотики, показало, что ими интересуются не только биотехнологи, но и биохимики,

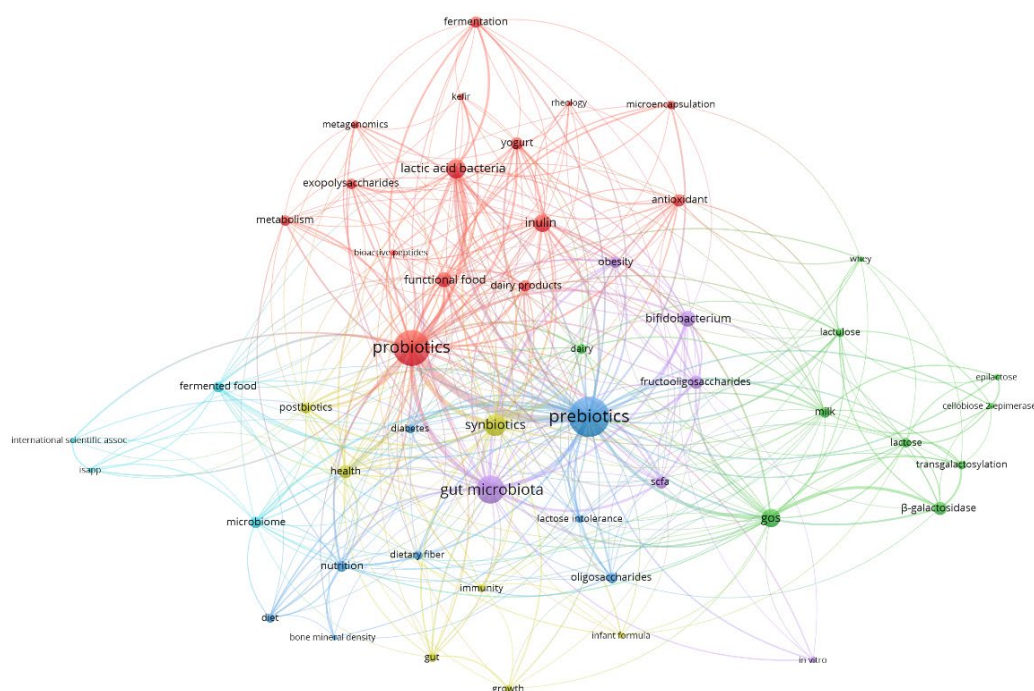


Рисунок 5. Библиографическая карта по теме «Пребиотики в молочной промышленности»

⁸Каталог концентрированных заквасок [Электронный ресурс]. URL: https://biofabrika.vniims.info/bk/bk_probio.html (дата обращения 29.01.2026).

генетики, косметологи в разных странах, однако проведение клинических исследований все еще находится на ранней стадии [28]. В то же время ряд работ уже продемонстрировал их потенциал в профилактике и терапии неврологических и психиатрических расстройств [2]. Отметим, что работы по получению и применению пост- и метабиотиков начались и в РФ, прежде всего во ВНИМИ [29, 30].

Исследования в области применения постбиотиков в молочной промышленности (выявлено 166 публикаций с 2017 г., 38 ключевых слов) показывают их связь с про-, пре-, синбиотиками, функциональными и ферментированными продуктами питания (рис. 6). Применение постбиотиков позволило укрепить кишечный барьер, снизить воспаление, что оказало положительное влияние при язвенных колитах, раке толстой кишки и ожирении. Интересно, что отдельное, четко выраженное направление исследований связано с дрожжевой ферментацией. Действительно, некоторые инактивированные дрожжи показывают целый ряд уникальных свойств: высокую антиоксидантную активность, способность ингибировать патогенные и условно-патогенные микроорганизмы, в т. ч. в биопленках [31]. В этом плане особый интерес представляют одноклеточные почкующиеся микромицеты молочного происхождения – лактозосбраживаю-

щие дрожжи рода *Kluyveromyces*, известные продуценты бета-галактозидаз. Недавно выполненные работы показали их высокий потенциал применения в качестве про- и постбиотиков [32].

ВЫВОДЫ

Систематизация современных представлений о биотиках показала, что к ведущим тенденциям развития науки о питании относится расширение семейства биотиков и усложнение представлений о них. Пробиотики, пребиотики и их сочетания (синбиотики) являются наиболее известными и давно применяемыми в молочной промышленности ингредиентами функционального питания. Анализ терминологии свидетельствует о том, что существует несогласованность определений и норм их применения в разных регламентирующих документах РФ, что требует внимания специалистов по стандартизации.

Анализ литературы показал, что целый ряд появившихся в последние десятилетия новых терминов связан с понятием пробиотиков и отражает различные аспекты их получения и применения. К новому и быстро развивающемуся направлению относится концепция постбиотиков, инактивированных форм микроорганизмов, оказывающих положительное влияние на разные системы органов и функции человека. Одним

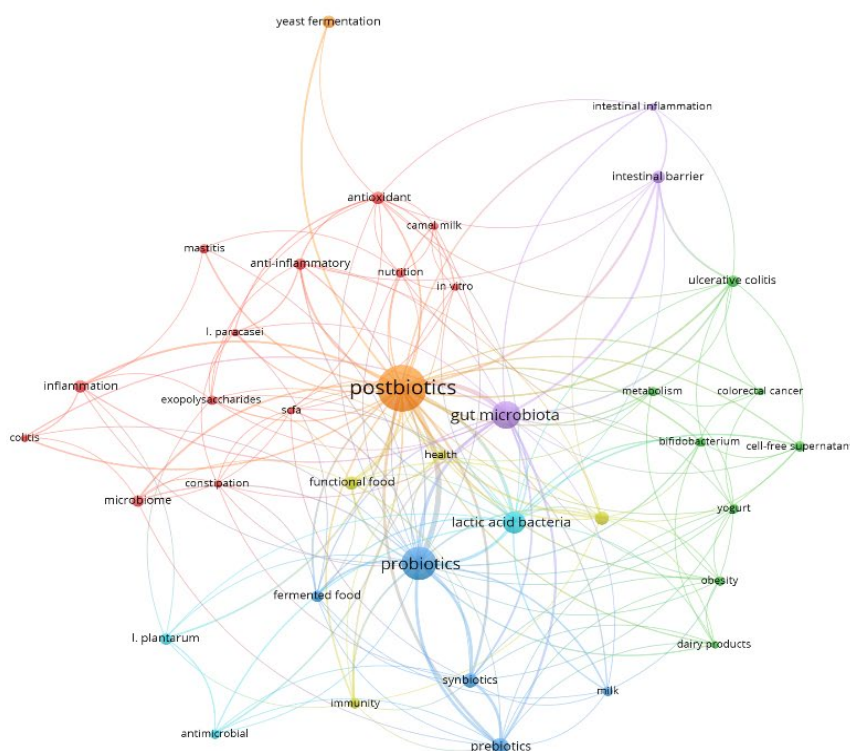


Рисунок 6. Библиографическая карта по теме «Постбиотики в молочной промышленности»

из важных факторов, стимулирующих интерес к постбиотикам, является их стабильность как в процессе промышленного производства, так и при хранении.

Актуальные направления применения биотиков в молочной промышленности связаны с многофункциональной природой биотиков. Они не только придают продукции дополнительные полезные для здоровья свойства, что стимулирует интерес потребителей, но и влияют на технологические и органолептические характеристики продуктов, а также обладают естественным консервирующим действием.

Применение биотиков отдельно или в комплексе позволит создать новые продукты функционального питания и привлечь внимание к уже традиционным кефиру, биоогуртам, сырам, которые по сути являются и могут называться мультибиотиками, т. к. содержат и живые полезные бактерии, и их метаболиты, и остатки клеток. Учитывая накапливающиеся доказательства пользы инактивированных клеток, можно предположить, что в будущем воз-

можно исключение нормирования жизнеспособных клеток заквасочной микрофлоры в кисломолочных продуктах, что позволит продлить их срок хранения и облегчит труд микробиологов на предприятии.

К наиболее перспективным источникам постбиотиков относятся заквасочные культуры, в том числе с доказанными пробиотическими и защитными свойствами. Это относится не только к молочнокислым бактериям, но и к дрожжам, особенно лактозосбраживающим, роль которых в производстве ферментированных продуктов признана и доказана. Продукты постбиотики являются безопасными для людей с ослабленным иммунитетом, они также могут помочь преодолеть неприязнь многих потребителей к любым бактериям и распространяющуюся дрожжефобию.

Авторы статьи надеются, что проведенная систематизация и выявленные в области биотиков проблемы будут полезны широкому кругу читателей журнала, а также вызовут дискуссию среди ученых и практиков, в которой мы также готовы участвовать. ■

Поступила в редакцию: 23.03.2026

Принята в печать: 09.06.2026

BIOTICS: TERMINOLOGY, BIBLIOGRAPHIC MAPPING, AND APPLICATION IN THE DAIRY INDUSTRY

Svetlana A. Ryabtseva¹, Maria A. Shpak¹, Elena V. Polandova²

¹North-Caucasus Federal University, Stavropol

²EKOKOM, Moscow

REVIEW ARTICLE

Probiotics, prebiotics, and synbiotics are popular in the dairy industry, but their theory and application are rapidly evolving. This study systematizes the most advanced knowledge about various biotics, their production methods, related terminology, and application in the dairy industry using, e.g., bibliographic mapping. The authors used VOSviewer 1.6.20 to study the most recent regulatory documents and scientific publications registered in Scopus, PubMed, and eLibrary. The expansion of the biotic family and their increasing sophistication proved to be the leading trends in the development of nutritional science. Probiotics, prebiotics, and their combinations (synbiotics) remain the best-known and most long-standing functional food ingredients in the dairy industry. However, their definitions and application standards demonstrate a certain inconsistency across various Russian regulatory documents. This situation requires standardization as new terms keep emerging to encompass various aspects of prebiotic production and use. Meanwhile, postbiotics with their stability during industrial production and storage, represent a rapidly developing area. While imparting additional health benefits to products, biotics improve the processing, sensory properties, and shelf life of dairy products. Unlimitedly, biotic studies expand the range of novel functional foods while attracting consumers' attention to traditional fermented dairy products.

Keywords: probiotic, prebiotic, synbiotic, postbiotic, metabiotic, dairy

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rytter, H. Probiotic: Is diet part of the efficacy equation? / H. Rytter, E. Combet, B. Chassaing // Gut Microbes. 2023. Vol. 15(1). Art. no. 2222438. <https://doi.org/10.1080/19490976.2023.2222438>
2. Mudaliar, S. B. Probiotics and paraprobiotics: Effects on microbiota-gut-brain axis and their consequent potential in neuropsychiatric therapy / S. B. Mudaliar [et al.] // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2024. Vol. 16(4). P. 1440–1464. <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10214-6>
3. Roux, A.-E. Overview on biotics development / A.-E. Roux, P. Langella, R. Martin // Current Opinion in Biotechnology. 2024. Vol. 86. Art. no. 103073. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2024.103073>
4. Jang, H. J. A Narrative review on the advance of probiotics to metabiotics / H. J. Jang, N. K. Lee, H. D. Paik // Journal of Microbiology and Biotechnology. 2024. Vol. 34(3). P. 487–494. <https://doi.org/10.4014/jmb.2311.11023>

5. **Lee, A. H.** *Limosilactobacillus reuteri* - A probiotic gut commensal with contextual impact on immunity / A. H. Lee, D. M. Rodriguez Jimenez, M. Meisel // Gut Microbes. 2025. Vol. 17(1). Art. no. 2451088. <https://doi.org/10.1080/19490976.2025.2451088>
6. **Waksman, S. A.** What is an antibiotic or an antibiotic substance? / S. A. Waksman // Mycologia. 1947. Vol. 39(5). P. 565–569. <https://doi.org/10.1080/00275514.1947.12017635>
7. **Олсуфьева, Е. Н.** Обзор рисков контаминации антибиотиками молочной продукции / Е. Н. Олсуфьева, В. С. Янковская, Н. И. Дунченко // Антибиотики и Химиотерапия. 2022. Т. 67, № 7–8. С. 82–96. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2022-67-7-8-82-96>
8. **Palade, C.-M.** The biotics family: Current knowledge and future perspectives in metabolic diseases / C.-M. Palade [et al.] // Life. 2022. Vol. 12(8). Art. no. 1263. <https://doi.org/10.3390/life12081263>
9. **Babudieri, B.** Azione probiotica e antibiotica di alcuni cocci sul bacillo di Loeffler [Probiotic and antibiotic action of some cocci on Loeffler's bacillus] / B. Babudieri // Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanit. 1947. Vol. 10(4). P. 687–701.
10. **Fuller, R.** Probiotics in man and animals / R. Fuller // Journal of Bacteriology. 1989. Vol. 66(5). P. 365–378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>
11. **Gibson, Y.** Dietary modulation of the human colonie microbiota: Introducing the concept of prebiotics / Y. Gibson, M.B. Roberfroid // The Journal of Nutrition. 1995. Vol. 125(6). P. 1401–1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>
12. **Swanson, K. S.** Use of biotics in animals: Impact on nutrition, health, and food production / K. S. Swanson [et al.] // Journal of Animal Science. 2025. Vol. 103. Art. no. skaf061. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf061>
13. **Hill, C.** The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic / C. Hill [et al.] // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2014. Vol. 11(8). P. 506–514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
14. **Gibson, G. R.** Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics / G. R. Gibson [et al.] // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2017. Vol. 14. P. 491–502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
15. **Swanson, K. S.** The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics / K. S. Swanson [et al.] // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2020. Vol. 17. P. 687–701. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0344-2>
16. **Salminen, S.** The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics / S. Salminen [et al.] // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2021. Vol. 18. P. 649–667. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>
17. **Маркова, Ю. М.** Пробиотики как функциональные пищевые продукты: производство и подходы к оценке эффективности / Ю. М. Маркова, С. А. Шевелёва // Вопросы питания. 2014. Т. 83, № 4. С. 4–14. <https://elibrary.ru/ssyvdp>
18. **Autenrieth, I. B.** Paradigms for microbiome analysis in infectious and non-communicable diseases / I. B. Autenrieth [et al.] // Trends in Microbiology. 2025. Vol. 34(5). P. 472–484. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2025.11.016>
19. **Рябцева, С. А.** Пробиотические свойства и применение галактоолигосахаридов / С. А. Рябцева [и др.] // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 5. С. 6–23. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2025-94-5-6-23>; <https://elibrary.ru/dajfzo>
20. **Трушина, Э. Н.** Мультиштаммовый пробиотик в комплексе с пищевыми волокнами - эффективный фактор нутритивной поддержки иммунитета у спортсменов / Э. Н. Трушина [и др.] // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 2. С. 19–30. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-2-19-30>; <https://elibrary.ru/gxjllr>
21. **Amobonye, A.** Postbiotics: An insightful review of the latest category in functional biotics. / A. Amobonye [et al.] // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2025. Vol. 41(8). Art. no. 293. <https://doi.org/10.1007/s11274-025-04483-8>
22. **Bulut S. D.** Recent insights about probiotics related pharmabiotics in pharmacology: Prevention and management of diseases. / S. D. Bulut [et al.] // Probiotics Antimicrob Proteins. 2025 Vol. 17(4). P. 2262–2292. <https://doi.org/10.1007/s12602-025-10613-3>
23. **Wang, L.** Probiotics and their antimicrobial metabolites: a collegial strategy for food bio-preservation - A review / L. Wang [et al.] // Food Science & Nutrition. 2025. Vol. 13(12). <https://doi.org/10.1002/fsn3.71318>
24. **Ağagündüz, D.** Certain fermented dairy foods as a source of multibiotics and multimetabolites: A comprehensive review / D. Ağagündüz [et al.] // Frontiers in Nutrition. 2025. Vol. 12. Art. no. 1678150. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1678150>
25. **Silva, P. B. V. D.** Nanoencapsulation of biotics: feasibility to enhance stability and delivery for improved gut health / P. B. V. D. Silva, T. K. O. Rosales, J. P. Fabi // Pharmaceutics. 2025. Vol. 17(9). Art. no. 1180. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17091180>
26. **Razzak, M. A.** The prebiotic and techno-functional potential of microbial exopolysaccharides for human health and food systems / M. A. Razzak [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2026. Vol. 25(2). Art. no. e70406. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70406>
27. **Рябцева, С. А.** Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы / С. А. Рябцева [и др.] // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 2. С. 6–21. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10012>; <https://elibrary.ru/tnxhmv>
28. **Stelmach, V.** Postbiotics: Mapping the trend / V. Stelmach [et al.] // Nutrients. 2024. Vol. 16(18). Art. no. 3077. <https://doi.org/10.3390/nu16183077>
29. **Леонова, В. А.** Методы получения постбиотиков / В. А. Леонова, И. В. Рожкова // Молочная промышленность. 2022. № 4. С. 24–25. <https://doi.org/10.3390/nu16183077>; <https://elibrary.ru/assrpk>
30. **Леонова, В. А.** Бифидогенные свойства кисломолочного продукта с добавлением метаболитного комплекса *Lactobacillus helveticus* / В. А. Леонова // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 3(553). С. 84. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-3s-028>; <https://elibrary.ru/pqrwvf>
31. **Aydin, F.** In vitro probiotic characterization of yeasts with their postbiotics' antioxidant activity and biofilm inhibition capacity / F. Aydin [et al.] // Current Microbiology. 2024. Vol. 81(11). Art. num. 364. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03881-9>
32. **Ryabtseva, S. A.** The probiotic properties of *Saccharomyces* (Review) / S. A. Ryabtseva [et al.] // Applied Biochemistry and Microbiology. 2023. Vol. 59. P. 111–121. <https://doi.org/10.1134/S0003683823010088>

