

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 212-228.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 3. P. 212-228.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КОРМЛЕНИЯ

Обзорная статья

УДК 636.084

doi: 10.33284/2658-3135-109-3-212

Актуальные аспекты технологии получения пробиотических препаратов для кормления крупного рогатого скота

Юрий Витальевич Косульников¹, Анастасия Игоревна Косульникова²,
Татьяна Руслановна Вавулина³, Юрий Владимирович Лактионов⁴

^{1,2,3,4}Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии,
Пушкин, Россия

¹yv.kosulnikov@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1134-3503>

²a.kovalchuk@arriam.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7206-2395>

³t.kudryashova@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5120-7229>

⁴laktionov@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6241-0273>

Аннотация. Настоящий обзор посвящен анализу современных биотехнологических подходов к разработке, производству и практическому применению пробиотических препаратов в животноводстве с акцентом на молочное скотоводство как стратегически значимую отрасль агропромышленного комплекса России. В условиях формирования национальной биоэкономики пробиотика рассматриваются не только как инструмент повышения продуктивности животных, но и как экологически ориентированное решение для снижения антропогенной нагрузки отрасли, в частности, сокращения метановых эмиссий и запахообразующих соединений (аммиака, серосодержащих летучих веществ), генерируемых в процессе пищеварения жвачных и при переработке навоза. В работе систематизированы данные о взаимосвязи между составом микробиома рубца и ключевыми показателями здоровья и продуктивности крупного рогатого скота. Показано, что целенаправленная модуляция рубцовой микробиоты с помощью специально подобранных штаммов (*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae* и др.) способствует улучшению ферментативной деградации антипитательных факторов кормов (соевых антигенных белков, клетчатки), повышению усвояемости азота, снижению образования биогенных аминов и усилению антиоксидантной защиты организма. Особое внимание уделено инновационным технологиям ферментации кормов, в том числе двухэтапной жидкой ферментации при температуре +30 °С, которая обеспечивает усиление метаболических функций различных групп пробиотиков. Рассмотрены этапы создания пробиотических препаратов: выделение перспективных штаммов из природных источников и их идентификация с применением молекулярно-генетических методов; оценка пробиотических свойств (ферментативная активность, устойчивость к стрессовым факторам желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), отсутствие генов антибиотикорезистентности); оптимизация состава питательных сред для глубинного культивирования с целью снижения себестоимости; разработка новых препаративных форм (иммобилизованных на сорбентах, биопленочных), которые обеспечивают жизнеспособность микроорганизмов при хранении и прохождении через агрессивную среду желудочно-кишечного тракта. Практика применения пробиотиков в России и за рубежом подтверждает их ключевую роль в переходе животноводства на устойчивые, ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии, лежащие в основе концепции биоэкономики.

Ключевые слова: биоэкономика, сельское хозяйство, агротехнологии, биотехнологии, микробные биопрепараты, пробиотики, корма, животноводство, крупный рогатый скот, микробиом рубца, метаногенез, ферментация кормов

Для цитирования: Актуальные аспекты технологии получения пробиотических препаратов для кормления крупного рогатого скота (обзор) / Ю.В. Косульников, А.И. Косульникова, Т.Р. Вавулина, Ю.В. Лактионов // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 212-228. [Kosulnikov YuV, Kosulnikova AI, Vavulina TR, Laktionov YuV. Current aspects of probiotic technology for cattle feeding (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):212-228. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-212>

THEORY AND PRACTICE OF FEEDING

Review article

Current aspects of probiotic technology for cattle feeding

Yuri V Kosulnikov¹, Anastasia I Kosulnikova¹, Tatyana R Vavulina¹, Yuri V Laktionov¹

^{1,2,3,4}All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, Pushkin, Russia

¹yv.kosulnikov@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1134-3503>

²a.kovalchuk@arriam.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7206-2395>

³t.kudryashova@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5120-7229>

⁴laktionov@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6241-0273>

Abstract. This review analyzes modern biotechnological approaches to the development, production, and practical application of probiotic preparations in animal husbandry, with a specific focus on dairy cattle farming as a strategically vital sector of Russia's agro-industrial complex. In the context of building a national bioeconomy, probiotics are regarded not only as tools for enhancing animal productivity but also as eco-oriented solutions for reducing the industry's anthropogenic footprint—specifically by mitigating methane emissions and odor-causing compounds (ammonia, sulfur-containing volatiles) generated during ruminant digestion and manure processing. The paper systematizes data on the relationship between rumen microbiome composition and key indicators of cattle health and productivity. It demonstrates that targeted modulation of the rumen microbiota using specifically selected strains (*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, etc.) promotes improved enzymatic degradation of feed anti-nutritional factors (soy antigenic proteins, fiber), enhanced nitrogen digestibility, reduced formation of biogenic amines, and strengthened antioxidant defense mechanisms. Special attention is paid to innovative technologies of feed fermentation, including two-stage liquid fermentation at a temperature of 30 °C, which enhances the metabolic functions of various groups of probiotics. The stages of creating probiotic drugs are considered: isolation of promising strains from natural sources and their identification using molecular genetic methods; assessment of probiotic properties (enzymatic activity, resistance to stress factors of the gastrointestinal tract, absence of antibiotic resistance genes); optimization of the composition of nutrient media for deep cultivation in order to reduce cost; development of new formulations (immobilized on sorbents, microcapsulated, biofilm) that ensure the viability of microorganisms during storage and passage through the aggressive environment of the gastrointestinal tract. The practice of using probiotics in Russia and abroad confirms their key role in the transition of animal husbandry to sustainable, resource-saving and environmentally friendly technologies underlying the concept of bioeconomics.

Keywords: bioeconomics, agriculture, agricultural technology, biotechnology, microbial preparations, probiotics, feed, animal husbandry, cattle, rumen microbiome, methanogenesis, feed fermentation.

For citation: Kosulnikov YuV, Kosulnikova AI, Vavulina TR, Laktionov YuV. Current aspects of probiotic technology for cattle feeding (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):212-228. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-212>

Введение.

Термин «биоэкономика» (bioeconomy) в широком смысле понимается как стратегия снижения негативного воздействия на окружающую среду через более рациональное использование природных ресурсов, рециклинг и биотехнологии (Дробот Е.В. и Гаврилина М.Ю., 2025). В России первый значимый шаг в этом направлении был сделан в 2012 году с принятием программы БИО2020, целью которой было развитие конкурентоспособного сектора биоэкономики, доведение доли биотехнологической продукции до 1 % ВВП к 2020 и до 3 % – к 2030. Программа предусматривала развитие отраслей биотехнологий и смежных направлений. Россия сегодня испытывает зависимость от импортных биотехнологий и биопродуктов, особенно из недружественных стран. Согласно Указа Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», биоэкономика определена в качестве ключевого элемента обеспечения технологической независимости страны. Особое внима-

ние в этом контексте уделяется развитию сельскохозяйственного производства и животноводства через генетику, производство кормовых добавок, ветеринарных и биопрепаратов, в том числе микробных пробиотиков для скота и птицы.

На российском рынке кормовых пробиотиков лидирующие позиции занимают предприятия молочного и мясного скотоводства, за которыми следуют свиноводческие комплексы и птицефабрики. Несмотря на постепенный рост числа хозяйств, внедряющих пробиотические добавки в рационы, значительная часть поголовья во всех трех ключевых отраслях животноводства по-прежнему получает корма без использования таких препаратов. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к расширению применения пробиотиков в отечественном АПК. В сегменте отечественных разработок и производства представлены десятки компаний, среди которых выделяются ООО «Сиббиофарм» (Новосибирская обл.), ООО «Биотроф» (г. Санкт-Петербург), ООО «НИИ Пробиотиков» и «Пробиотик Центр» (г. Москва), научно-технический центр биотехнологий в Белгородской области, ООО «КРОС Фарм» (г. Щелково), холдинг «СОЮЗСНАБ» с брендом «Зеленые линии» (г. Красногорск), биофабрика «Компонент», «Пробиотик-Плюс», новосибирский НПФ «Исследовательский центр», уфимский «БашИнком», краснодарская «Биотехагро», московская «НОВА» и другие организации. На международном уровне активную роль играют европейские производители — немецкая Biochem, бельгийская Kemin-Eurore, британская Biotol и французская Lesaffre. Среди глобальных игроков значимую долю рынка занимает американская Alltech, усиливает позиции китайский концерн Angel Yeast, а австрийская Biomün в 2015 г. официально зарегистрировала в РФ две пробиотические добавки, предназначенные для птицеводства. Ассортимент зарубежных пробиотиков продолжает расширяться, охватывая новые ниши кормовых добавок (Мурленков Н.В., 2019).

Цель исследования.

Систематизация и обобщение современных научных данных о технологиях получения пробиотических препаратов, применяемых в кормлении КРС, для выявления наиболее перспективных направлений разработки таких средств.

Материалы и методы исследования.

Проведен систематический обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященной технологиям получения препаратов пробиотической микрофлоры для кормления крупного рогатого скота (КРС). Поиск и анализ литературы преимущественно за период 2019-2025 гг. проводили с помощью следующих интернет-ресурсов: Elibrary, PubMed, КиберЛенинка, SpringerLink, Web of Science, ScienceDirect. Поисковый запрос включал ключевые слова: «пробиотики», «КРС», «технология получения», «кормление», а также их англоязычные аналоги: probiotics, cattle, feed, production technology.

Результаты исследования и их обсуждение.

Роль молочного животноводства в сельскохозяйственной отрасли страны. Одной из значимых сельскохозяйственных отраслей в Российской Федерации (РФ) является отрасль молочного скотоводства, целью хозяйственной деятельности которой является производство молока. Россия считается одним из крупнейших производителей и потребителей молока во всем мире. По валовому производству молока Россия занимает почетное пятое место. Ее опережают такие страны, как Европейский Союз (Евросоюз) (первое место, обеспеченное за счет большой численности стран-членов), США, Индия и Китай. Численность поголовья дойных коров позволяет РФ занять на мировом уровне седьмое место, а по продуктивности – 11 место среди 15 анализируемых стран. В Доктрине продовольственной безопасности РФ (2020 г.) четко обозначен пороговый индикатор уровня безопасности и независимости по молоку, который должен составлять не менее 90 % (Яркова Т.М., 2022). По данным Министерства сельского хозяйства РФ, в 2022 году было произведено 32,6 млн тонн молока, что лишь на 60 % покрывает потребности в потреблении молока населением

(Яркова Т.М., 2024). По данным Федеральной службы государственной статистики, на январь 2025 г. объем сельскохозяйственного производства в России за год увеличился на 2,1 %. Положительная динамика животноводческого сектора подтверждается увеличением производства скота и птицы, в живом весе, на 3 % относительно 2024 г. В то же время поголовье крупного рогатого скота (КРС) на апрель 2025 г. составило 16,7 млн голов, что на 4,2 % меньше, чем в январе 2024 г. Согласно российскому статистическому ежегоднику (2024), сохраняется российское лидерство по количеству голов КРС относительно стран Евросоюза (по данным 2022 г.) и стран СНГ (2023 г.). Таким образом, молочное животноводство остается одной из важнейших отраслей для обеспечения продовольственной безопасности России. Для реализации потенциала молочного скота необходимо использовать все доступные факторы роста продуктивности, в том числе микробные пробиотики, обеспечивающие не только увеличение удоев, но и улучшение экологической обстановки на животноводческих предприятиях. Эффективность пробиотиков обусловлена не только их хозяйственно-ценной активностью (подавление патогенной микрофлоры, улучшение показателей конверсии корма и т. д.), но и устойчивостью к неблагоприятным условиям ЖКТ жвачных животных.

Особенности микрофлоры ЖКТ молочного скота. Жвачные животные обладают уникальной физиологией пищеварения, принципиально отличающей их от других видов сельскохозяйственных животных. Ключевую роль в этом процессе играет рубец – орган, заселенный сложным микробным сообществом, включающим бактерии, археи и микроскопические грибы. Благодаря деятельности этих микроорганизмов жвачные способны эффективно утилизировать трудноперевариваемые растительные компоненты, в частности лигноцеллюлозу, а также трансформировать небелковые азотистые соединения в полноценный микробный белок, который служит источником энергии и аминокислот для хозяина (Йылдырым Е.А. и др., 2020). Совокупность микроорганизмов, обитающих в рубце, формирует так называемый рубцовый микробиом, участвующий в ферментативном расщеплении углеводов с образованием летучих жирных кислот и микробного белка. Эти метаболиты абсорбируются через эпителий ретикуло-рубца и используются организмом для обеспечения процессов жизнедеятельности, а также формирования молока и мяса (Мирошникова М.С. и Арижанов А.Е., 2021). Микробиом рубца КРС представлен бактериями (составляют около 60 %), археями и эукариотами. При этом основную роль в расщеплении кормовых субстратов играют бактерии. Установлено, что состав микробиоты влияет на продуктивные показатели животных и вкусовые качества продукции (Matthews C et al., 2019).

Микроорганизмы рубца находятся в двух средах – жидкой и твердой (поверхность перевариваемого корма). Несмотря на сложность исследования взаимодействий микроорганизмов в микробиомах были проведены эксперименты, подтверждающие синергетические и антагонистические взаимодействия целлюлозолитических и нецеллюлолитических бактерий (Мирошникова М.С. и Арижанов А.Е., 2021). Значительная часть бактерий рубца являются некультивируемыми в искусственных условиях, поэтому их изучение остается затруднительным. Однако эти микроорганизмы могут нести гены, отвечающие за важнейшие биохимические процессы в рубце: ферментацию углеводов, расщепление белков, синтез биологически активных соединений, а также обеспечение микробных взаимодействий. Развитие методов 16S-метагеномики и высокопроизводительного секвенирования позволяет получать полногеномные данные о микробных сообществах рубца непосредственно из образцов эпителия, не прибегая к этапу культивирования. Эти методы дают представление о видовом составе и функциях микробиоты рубца, с их помощью можно определить факторы, которые влияют на нормобиоз.

В настоящее время рационы дойных коров направлены на максимальную питательность и повышение продуктивности животных. Однако интенсивные технологии кормления нередко приводят к нарушению метаболических процессов, характерных для жвачных, прежде всего за счет дестабилизации микробного баланса в рубце (Ramos SC et al., 2021). Учитывая, что микроорганизмы рубца являются практически единственным источником ферментов для переваривания растительных кормов и непосредственными участниками обмена веществ хозяина, любые сдвиги в структуре микробиоценоза могут вызывать негативные последствия для здоровья и продуктивно-

сти. В то же время целенаправленная коррекция состава рубцовой микробиоты с помощью пробиотиков, пребиотиков или других биотехнологических приемов способна обеспечить положительные изменения: повышение удоев, улучшение качества молока, оптимизацию воспроизводительных функций и увеличение продолжительности продуктивного использования животных. Таким образом, управление микробиомом рубца рассматривается как перспективное направление повышения эффективности молочного скотоводства (Йылдырым Е.А. и др., 2020).

Влияние пробиотических добавок на ферментативные процессы в рубце, газообразование и санитарно-гигиенические условия содержания крупного рогатого скота. Для модуляции микробного сообщества рубца в практике кормления жвачных применяются различные биологические добавки, включая пробиотические, пребиотические и фитобиотические компоненты. Основной механизм действия пробиотиков заключается в оптимизации ферментативных процессов в рубце, в частности повышении эффективности целлюлолиза и интенсификации синтеза микробного белка, что положительно сказывается на переваривании корма и продуктивности животных. Современные методы молекулярной диагностики, такие как 16S рПНК-метагеномное секвенирование в сочетании с биоинформатическими платформами (PICRUSt2, MetaCyc), позволяют не только охарактеризовать таксономический состав микробиоты, но и спрогнозировать функциональную активность метаболических путей, а также выявить микробные маркеры, коррелирующие с продуктивными и здоровье-сберегающими показателями.

Экспериментальные данные подтверждают возможность целенаправленного воздействия на рубцовую микробиоту с помощью пробиотических препаратов. Так, в исследовании Йылдырыма Е.А. с коллегами (2020) установлено, что включение в рацион дойных коров пробиотика Целлобактерин+, содержащего штамм *Enterococcus faecium* 1-35, сопровождалось активизацией биоинформатически предсказанных функциональных путей микробиома рубца. При этом отмечено достоверное увеличение суточных удоев ($p=0,049$) и снижение концентрации соматических клеток в молоке на 38 тыс./мл/гол. ($p=0,003$), тогда как содержание основных компонентов молока (жира и белка) существенно не изменилось. Авторы предположили, что уменьшение соматической клеточности обусловлено иммуномодулирующим эффектом пробиотического штамма. Подобные результаты получены в работе, где применение пробиотических бактерий для обработки пастбищной травы привело к повышению среднесуточного надоя на 1,21 л по сравнению с контролем (Olchowy TWJ et al., 2019).

Перспективность использования пробиотиков подтверждается и в период выращивания молодняка. В частности, согласно данным Cai X с соавторами (2024), ежедневное скармливание телятам голштинской породы комплексного пробиотического препарата (40 мл/сут в течение 60 дней), включающего *Lactobacillus plantarum* T-14, *Enterococcus faecium* T-11, *Saccharomyces cerevisiae* T-209 и *Bacillus licheniformis* T-231, обеспечило снижение частоты диарейных расстройств на 42,90 % и рост среднесуточного прироста живой массы на 43,40 %. Одновременно наблюдалось усиление антиоксидантной защиты: активность каталазы, супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы и общей антиоксидантной способности возросли соответственно на 22,81 %, 6,49 %, 13,67 % и 8,33 %. Иммунологические параметры также улучшились – концентрация иммуноглобулинов IgA, IgG и IgM повысилась на 10,44 %, 4,85 % и 6,12 %. При метагеномном анализе содержимого кишечника выявлено увеличение численности штаммов *Lactococcus lactis*, *Bacillus massiliogimensis* и подавление условно-патогенной микрофлоры (*Escherichia sp.* MOD1-EC5189, *Mycobacterium brisbane*).

Неотъемлемой составляющей процесса разведения животных, особенно коров, является неприятный запах, исходящий от побочных продуктов животноводства, в частности, навоза. Традиционные методы борьбы со стойким запахом от КРС, такие как использование химических добавок (например, 3-нитрооксипропанол) и обработка навоза (H_2SO_4 , NaOCl) – дорогостоящие, трудоемкие и неэкологичные (Колеватых Е.П. и др., 2022). В связи с этим возрастает потребность в разработке устойчивых, экономически выгодных и экологически безопасных технологий контроля запахообразования.

Метан, обладающий значительно более высоким потенциалом парникового эффекта по сравнению с диоксидом углерода, в основном генерируется в процессе пищеварения жвачных. Животноводство является крупнейшим антропогенным источником этого газа. Помимо метана, в анаэробных условиях ферментации непереваренных компонентов корма образуются летучие соединения с выраженным запахом и различной токсичностью: аммиак, сероводород, диметилсульфид, метилмеркаптан, короткоцепочечные жирные кислоты (изовалериановая, масляная), альдегиды (бутиральдегид, пропиональдегид, валеральдегид) и другие. Для снижения метаногенеза в практике кормления применяются различные стратегии: введение жировых компонентов, органических кислот, фитогенных веществ (сапонины, танины, флавоноиды, эфирные масла), ионофорных антибиотиков (монензин, лазалоцид) и пробиотических культур (Wanapat M et al., 2021). Согласно метаанализу глобальных данных, 90 % метаногенов рубца принадлежат к следующим родам: *Methanobrevibacter* – 63,2 % популяции метаногенов; *Methanomicrobium* – 7,7 %; *Methanosphaera* – 9,8 %; «кластер рубца С», в настоящее время называемый *Thermoplasma* – 7,4 % и *Methanobacterium* – 1,2 % (Боголюбова Н.В. и др., 2022). Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что пробиотики способны модифицировать состав микробных сообществ желудочно-кишечного тракта полигастрических животных (коров, овец, коз), что открывает возможности для регуляции ферментативных процессов (Lambo MT et al., 2021; Nalla K et al., 2022).

Среди пробиотических микроорганизмов наиболее широко исследован и применен в рубцовом кормлении дрожжевой штамм *Saccharomyces cerevisiae*. Что касается бактериальных пробиотиков, то, согласно данным Fernández S с соавторами (2018), представители рода *Lactobacillus* демонстрируют перспективы в профилактике и терапии желудочно-кишечных расстройств у жвачных. Так, введение телятам штаммов *L. johnsonii* TP1.1 и TP1.6, *L. reuteri* TP1.3B, *L. amylovorus* TP8.7 способствовало снижению клинических проявлений диареи. В исследованиях *in vitro* с использованием рубцового содержимого коз установлено, что комбинированное применение экстракта моринги масличной (*Moringa oleifera*) и живой культуры *S. cerevisiae* приводило к уменьшению образования метана на 11,7 % и диоксида углерода – на 50,3 % (Pedraza-Hernández J et al., 2019). Авторы связывают этот эффект со стимуляцией целлюлолитической активности микробиоты рубца, что улучшает расщепление клетчатки. Предполагается, что дрожжевые клетки выделяют макромолекулярные факторы роста, способствующие пролиферации целлюлозоразрушающих микроорганизмов и ускорению ферментации. Дополнительным механизмом снижения метаногенеза может служить конкуренция ацетогенных бактерий с метаногенами за молекулярный водород, что перенаправляет метаболизм в сторону образования ацетата вместо метана.

Корейские исследователи (Park M-K et al., 2024) оценили влияние комплексной пробиотической добавки, включающей *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus acidophilus* и *Saccharomyces cerevisiae*, на микробный состав фекалий и профиль летучих соединений у КРС. В экспериментальной группе зафиксировано достоверное снижение концентрации аммиака, диметилсульфида, изовалериановой и масляной кислот, а также соответствующих альдегидов. Выявлено уменьшение доли бактерий типа *Desulfobacterota* (с 0,76 % до 0,16 %), что указывает на подавление серосодержащих запахообразующих микроорганизмов. В обеих группах доминирующими таксонами были *Bacteroidota* и *Bacillota*, за которыми следовали *Pseudomonadota*, *Spirochaetota* и *Verrucomicrobiota* – типичные представители фекальной микробиоты КРС. При этом в группе, получавшей пробиотики, отмечено снижение относительной численности *Bacteroidota* (с 43,36 % до 39,30 %) и рост *Bacillota* (с 47,83 % до 56,42 %), что свидетельствует о перестройке микробного сообщества в сторону более благоприятного состава и коррелирует со снижением интенсивности запахов.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что многие пробиотические культуры способны снижать метаногенез в рубце посредством модуляции активности микробных сообществ без негативного воздействия на физиологическое состояние животных. Одновременно отмечается

стимулирующее влияние пробиотиков на процессы ферментации в преджелудках. Вместе с тем эффект на газообразование варьируется в зависимости от состава и формы введения пробиотического препарата. Так, в лабораторных экспериментах *in vitro* с участием рубцовой среды крупного рогатого скота установлено, что как свободные, так и инкапсулированные штаммы молочнокислых бактерий (*Lactobacillus plantarum*) уменьшали образование метана на 6,1 % и 33,1 % соответственно по сравнению с контролем, однако при этом общий объем газов увеличивался на 15,7 % и 23,3 % (Abdelbagi M et al., 2021). Молочнокислые микроорганизмы способствуют снижению выхода метана на единицу синтезированных летучих жирных кислот, улучшая при этом эффективность ферментативного расщепления клетчатки в силосных кормах.

При скормливании дойным коровам комбинаций пропионовокислых и молочнокислых бактерий наблюдалось подавление метанообразования в условиях высокого содержания крахмала и структурной клетчатки в рационе (Guo G et al., 2020; Jeyanathan J et al., 2019). В исследованиях на голштинских коровах продемонстрировано, что введение в корм денитрифицирующего штамма *Paenibacillus* 79R4 при одновременном применении нитратов снижает рубцовую продукцию метана, а также уменьшает риск нитритной интоксикации, что подтверждалось снижением уровня метгемоглобина в плазме крови (Latham EA et al., 2019).

Микроорганизмы, обладающие пробиотическими свойствами, оказывают влияние на слизистую оболочку кишечника, что способствует предотвращению дисбактериоза и усилению барьерной функции эпителия. В частности, лактобациллы стимулируют выработку муцина, благодаря которому поверхность кишечного эпителия защищена от ферментативных повреждений и токсинов. Использование пробиотиков в рационе КРС позволяет снизить конверсию корма, сократить потребность в антибиотиках и уменьшить выброс аммиака. Последнее обусловлено тем, что пробиотики улучшают усвоение азота кормов, тем самым снижая нагрузку на печень и сокращая выделение вредных соединений.

Таким образом, пробиотические кормовые добавки с микроорганизмами могут значительно снизить интенсивность запаха при содержании крупного рогатого скота. Снижение содержания аммиака и соединения серы, свидетельствует о том, что пробиотики играют важную роль в изменении метаболизма микроорганизмов, тем самым уменьшая общий неприятный запах в помещениях для содержания КРС. Внедрение пробиотиков в практику животноводства может рассматриваться как устойчивая и экологически безопасная стратегия сокращения парниковых газов и улучшения санитарно-гигиенических условий на фермах. Наиболее часто используемые в сельскохозяйственной практике бактериальные штаммы относятся к родам *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Bacillus*, отбираемым по критериям устойчивости к условиям желудочно-кишечного тракта и антагонистической активности в отношении патогенной микрофлоры. Технологическая простота введения пробиотиков через систему поения обеспечивает удобство их применения в промышленных условиях животноводства.

Выделение пробиотических штаммов из природных источников, оценка их эффективности, хранение и молекулярно-генетические манипуляции со штаммами. Отбор перспективных пробиотических штаммов традиционно начинается с их выделения из природных экосистем, преимущественно из желудочно-кишечного тракта сельскохозяйственных животных, с использованием классических микробиологических методик (Овчарова А.Н. и Петраков Е.С., 2018). Для точной идентификации и молекулярной характеристики выделенных культур применяются генетические методы анализа, которые позволяют не только подтвердить видовую принадлежность микроорганизмов, но и оценить их функциональные свойства, генетическую стабильность при промышленном культивировании и безопасность применения. Наиболее распространенным методом идентификации является определение последовательности 16S rRNA гена, однако из-за высокой консервативности этого гена не всегда удается четко дифференцировать виды штаммов. Для создания генетического паспорта штаммов и контроля их стабильности в производстве типирование дополняют анализом регионов ITS, а также анализом последовательностей генов, встречающихся в бактериальном геноме в единичной копии,

например, нуклеотидная последовательность гена *groB* в геноме *Lactobacillus* (Чижаева А.В. и Дудикова А.Н., 2017; Киселева И.А. и др., 2020).

При наличии генома штамма возможной становится проверка на пробиотические потенциал *in silico*, исключающую постановку длительных экспериментов. Важным свойством для любого пробиотического микроорганизма является его способность попасть в кишечник хозяина с высокой степенью жизнеспособности, при этом его выживаемость определяется механизмами адаптации или устойчивостью к низкому уровню pH. Таким образом, в геномах анализируемых штаммов проводят поиск генов каталаз, отвечающих за первичную защиту бактериальной клетки от окислительного стресса. Так, в ряде исследований у штаммов рода *Bacillus* были обнаружены гены каталазы. В частности, *katA* – белок, активирующийся только под воздействием окислительного стресса, и *katE* – универсальный стрессовый протеин, контролируемый сигма-фактором *B*. Кроме того, найдены многочисленные гены сигма-фактора *B* альтернативной РНК-полимеразы, например, *RsbV* и *RsbW*, отвечающие за регуляцию активности σ -фактора *B* (Pereira JQ et al., 2019; Nguyen HA et al., 2024).

Многие исследования направлены на поиск штаммов, обладающих повышенной устойчивости к агрессивной среде желудочно-кишечного тракта. Так, в работе Guan N с соавторами (2025) описан штамм *Bacillus subtilis*, способный сохранять выживаемость на уровне 27-57 % и 28-51 % в кислой среде (pH 2,0-4,0) и щелочной среде (pH 8,0-10,0) соответственно. Примечательно, что жизнеспособность штамма сохранялась при воздействии высокой температуры (+80 °C) и концентрации желчных солей 0,5 %. Геномный анализ подтвердил наличие генов, участвующих в метаболизме аминокислот, биосинтезе витаминов и других метаболических процессах. Была проведена оценка противовоспалительного действия штамма на мышинной модели колита. При введении перорально смеси, содержащей 1×10^8 КОЕ/мл *Bacillus subtilis*, у мышей снизился уровень провоспалительных цитокинов, что свидетельствует о защитном действии штамма.

При отборе штаммов для пробиотиков важным критерием является отсутствие генов антибиотикорезистентности. Так, в исследовании Kerek Á с соавторами (2025) проведена оценка следующих пробиотических штаммов *Enterococcus faecium*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Pediococcus acidilactici*, выделенных из фекалий свиней. При определении минимальной ингибирующей концентрации антимикробных препаратов обнаружено, что штаммы устойчивы к ряду антибиотиков, используемых в ветеринарии – гентамицину, амоксициллину, флорфениколу и тилозину. Геномный анализ выявил 27 случаев наличия 21 уникального гена устойчивости к антибиотикам. Полученные данные подчёркивают необходимость обязательного сочетания фенотипических и генотипических методов при оценке безопасности пробиотических штаммов.

Таким образом, современная стратегия отбора пробиотических штаммов представляет собой многоэтапный процесс, включающий молекулярно-генетическую верификацию, поиск генов, обуславливающих адаптацию к стрессовым факторам ЖКТ, а также обязательную проверку на отсутствие генов антибиотикорезистентности и вирулентности. В исследовании Perez RH с соавторами (2022) проведена комплексная оценка десяти бактериоцино-образующих штаммов молочнокислых бактерий. Все штаммы проявили способность к автоагрегации при +4 °C и +37 °C, коагрегации с патогенами (*S. aureus*, *S. typhimurium*, *E. coli*) и высокую гидрофобность клеточной поверхности, однако лишь часть из них сохранила жизнеспособность в присутствии 0,3 % желчных солей. Генотипический анализ выявил у ряда штаммов наличие генов вирулентности и антибиотикорезистентности: *Lactococcus* sp. QU12 содержал наибольшее количество как полезных (2 из 7), так и вирулентных генов (11 из 13), а также ген устойчивости к тетрациклину (*tetM*) и транспозонные элементы; *L. lactis* IO-1 оказался носителем гена устойчивости к аминогликозидам (*aphA-2*). Несмотря на перспективные пробиотические характеристики, авторы подчеркивают важность комплексной оценки безопасности штаммов перед их внедрением в производство из-за риска горизонтального переноса генов устойчивости и вирулентности патогенным микроорганизмам.

Технологии получения, хранения и применения пробиотических препаратов для молочного скота. В настоящее время для повышения питательной ценности полнорационных кормов применяют технологию жидкостной ферментации. В исследовании Zhang A с коллегами (2025) представлен метод двухфазной жидкой ферментации при температуре +30 °С, первый этап которой проходит в аэробных условиях с добавлением культуры *B. subtilis* шт. 3-16, затем добавляли *Lactobacillus plantarum* шт. E5 для анаэробной ферментации. Было показано, что после 48 часов такой ферментации белки соевого шрота массой 72, 68 и 34 кДа расщеплялись на фрагменты массой менее 25 кДа. Дополнительными преимуществами технологии стали подавление образования биогенных аминов (путресцина, спермидина), повышение активности протеазы (+64,29 %) и амилазы (+28,3 %), усиление антиоксидантных свойств корма и формирование микробного сообщества с преобладанием полезных бактерий (*Lactobacillus*, *Bacillus*) при одновременном снижении численности патогенов (*E. coli*, *S. aureus*). При этом потери сухого вещества не превысили 6 %, что подтверждает экономическую целесообразность метода для промышленного внедрения.

Вместе с тем в производственных условиях как в России, так и за рубежом преобладает применение пробиотиков в виде готовых препаратов, вносимых в питьевую воду или непосредственно в корм перед скармливанием. Большинство коммерческих пробиотических средств содержат ограниченное число штаммов: обычно – 1-2, реже – 3-4. Экспериментальные данные свидетельствуют, что увеличение количества штаммов в составе препарата не приводит к значительному росту эффективности, но существенно повышает себестоимость производства. Стандартная концентрация микроорганизмов в готовых продуктах составляет не менее 10⁸ КОЕ/г или мл; некоторые производители предлагают более концентрированные формы (10¹¹ КОЕ/г), что, по сути, является мерой снижения логистических затрат за счёт уменьшения объема носителя. Эффективное применение таких концентратов возможно преимущественно при разведении в воде, тогда как при сухом смешивании с кормом сложно обеспечить равномерное распределение без специализированного оборудования. Ценовой диапазон пробиотиков весьма широк — от 70 до 1500 руб./кг, однако более корректной метрикой оценки экономической эффективности является прирост стоимости 1 т корма с учетом рекомендованных дозировок (от 50 г до 2 кг на тонну). Подавляющее большинство препаратов регистрируется как кормовые добавки, в то время как пробиотические лекарственные средства представлены единичными позициями на рынке (Мурленков Н.В., 2019).

Технология получения пробиотических препаратов методом глубинного культивирования в аэрируемых биореакторах на полусинтетических средах является классической и позволяет получать бактериальные суспензии с титром свыше 10⁸ КОЕ/мл. В качестве примера можно привести исследование Xu L с соавторами (2023), в котором использовался штамм *Bacillus coagulans* X26, выделенный из почвы. Культивирование осуществлялось в аэрируемом биореакторе объемом 30 л при температуре +45 °С, pH=7,0, аэрации 48 л/мин и скорости перемешивания 200-400 об/мин с контролем растворенного кислорода на уровне 10-50 %. В качестве основы питательной среды применялась оптимизированная полусинтетическая среда на базе мальтозы (16,5 г/л), дрожжевого экстракта (25,0 г/л), К⁺ НРО⁺ (3,5 г/л) и комплекса минеральных солей. Для повышения конечной концентрации биомассы до (7,8±0,2)×10⁸ КОЕ/мл и индукции спорообразования (доля спор >96 %) процесс оптимизировали методом математического планирования эксперимента с контролем pH и ступенчатой подачей субстрата, что обеспечило стабильный выход жизнеспособных клеток при масштабировании.

Перспективным направлением является разработка экономически выгодных питательных сред для промышленного культивирования пробиотиков. Так, в работе Myo NZ с коллегами (2025) представлена оптимизированная среда (MM2) для культивирования тайского штамма *Pediococcus acidilactici* 72N, выделенного из фекалий аборигенных свиней. С использованием планов Плакетта-Бермана и метода поверхностного отклика была создана среда на основе декстрозы (10 г/л) и дрожжевого экстракта (45 г/л), обеспечивающая жизнеспособность культуры более 9,60 log КОЕ/мл за 12 ч ферментации. Стоимость производства среды снизилась на 67-86 % по сравнению с коммерче-

ской средой MRS, при этом штамм, выращенный в модифицированной среде, демонстрировал повышенную устойчивость к стрессовым факторам и увеличенную продукцию биоактивных метаболитов (1,4-дигидрокси-2-нафтоевой и индолмолочной кислот) с противовоспалительными свойствами.

Следует отметить, что полученные в биореакторе монокультуры сами по себе не являются готовыми пробиотическими препаратами. Современные требования к разработке пробиотиков включают: комбинирование различных видов микроорганизмов в синергичных сочетаниях; создание форм, обеспечивающих длительное хранение при комнатной температуре; сохранение пробиотической активности при термической обработке в процессе производства комбикормов (Чижаева А.В. и Дудникова А.Н., 2017). Примером разработки поликомпонентного пробиотика служит исследование Agregán-Pérez R с соавторами (2021), в котором предложен экономически эффективный метод периодического культивирования молочной сыворотки с использованием кефирных зерен (штамм AGK1). Полученная культура характеризовалась биомассой 8,03 г/л, жизнеспособностью $3,6 \times 10^8$ КОЕ/мл и антибактериальной активностью 28,26 Ед/мл. Клетки микроорганизмов сохраняли устойчивость к кислой среде ($\text{pH} < 3,0$) и условиям, имитирующим ЖКТ, при защите обезжиренным молоком или кормом для поросят, а также выживали после замораживания при -20°C и хранения в комбикорме при комнатной температуре.

Для преодоления проблем потери жизнеспособности пробиотиков при хранении и прохождении через ЖКТ применяются иммобилизованные формы. Так, в исследовании Wu R с соавторами (2024) разработаны композитные микрокапсулы на основе альгината натрия и β -циклодекстрина с внешним покрытием из хитозана, содержащие смесь *Bacillus coagulans* SN-8 и *Saccharomyces boulardii* SN-6. Степень встраивания микроорганизмов составила 82,11 %. В условиях *in vitro* микрокапсулы сохранили 67,5 % жизнеспособных клеток после 3 часов воздействия желудочного сока и 70,56 % – после 42 дней хранения при $+4^\circ\text{C}$. Применение препарата у дойных коров привело к снижению численности патогенных бактерий (*Paenibacillus*) и увеличению полезных (*Bifidobacterium*), а также к улучшению лактационных показателей: повышению содержания молочного жира на 4,5 %, белка – на 92,5 % и азота мочевины – на 3,5 %.

В отечественной практике выделяют пять основных типов пробиотических препаратов (Алешин Д.Е., 2024):

- Монокомпонентные (один штамм);
- Самоэлиминирующиеся антагонисты (преимущественно *Bacillus*);
- Комбинированные (несколько штаммов или штаммы с синергичными добавками);
- Иммобилизованные на сорбенте;
- Препараты в форме биопленки на твердом носителе.

В настоящее время наибольшим спросом пользуются комбинированные препараты, где штаммы подбираются по принципу комплементарности ферментативной и метаболической активности. Сухие формы обладают преимуществами в плане срока годности и удобства хранения, однако лиофилизация негативно влияет на структуру поверхностных белков бактерий, их адгезивные свойства и метаболитный профиль. Более прогрессивными считаются иммобилизованные формы: за счет химических и электростатических взаимодействий сорбент повышает адгезию пробиотиков к слизистой кишечника и обеспечивает защиту от кислой среды желудка, где лиофилизированные препараты теряют до 90 % жизнеспособных клеток. Так, например, применение пробиотика Бифитрилак-L (ООО «ФЕНМИКС», Россия), содержащего *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus fermentum* и *Bifidobacterium bifidum* и полимерную матрицу пролонгированного действия, обеспечило достоверное увеличение живой массы цыплят на 3,6 % относительно контрольной группы (Григорьева Ж.А. и др., 2020).

Перспективным направлением является создание пробиотиков с сорбирующими компонентами, где носитель-сорбент дополнительно выполняет детоксикационную функцию, связывая токсические метаболиты в просвете кишечника и способствуя репарации слизистой оболочки. Жидкие формы иммобилизованных пробиотиков позволяют сохранить клетки в активном физиологическом состоянии и все бактериальные метаболиты, что усиливает их функциональную активность.

Ещё одним инновационным подходом является формирование биопленок пробиотических микроорганизмов на твёрдых носителях, что не только повышает устойчивость клеток к неблагоприятным условиям (сушка, грануляция), но и предварительно адаптирует их к условиям обитания в кишечнике (Чижаева А.В. и Дудникова А.Н., 2017).

Заключение.

Развитие отечественных биотехнологий пробиотиков представляет собой стратегически значимое направление трансформации животноводства в рамках концепции устойчивой биоэкономики. Современные исследования подтверждают, что рубцовый микробиом жвачных влияет на метаболические процессы, которые определяют мясную и молочную продуктивность. Применение пробиотических препаратов в рационе крупного рогатого скота способствует повышению питательной ценности кормов, усилению барьерной функции кишечного эпителия, а также снижению интенсивности запаха при содержании.

При разработке пробиотических препаратов в состав все чаще входят не монокультуры, а бактериальные консорциумы, которые подбираются не только по таксономическому разнообразию, но и выполнению различных биологических функций. Перспективным является метод двухфазной жидкостной ферментации в аэробных и анаэробных условиях, позволяющий увеличить питательность и антиоксидантную активность корма, а также предотвращает накопление биогенных аминов, что положительно влияет на вкусовую привлекательность корма. Кроме того, на рынке появляются новые препаративные формы пробиотиков – иммобилизованные на сорбенте, в форме биопленки на твердом носителе. Такие формы позволяют эффективно защитить пробиотические штаммы от агрессивной среды желудочно-кишечного тракта.

Наблюдается комплексное использование фенотипических и генетических методов для отбора перспективных пробиотических штаммов. Обязательным становится создание индивидуальных генетических паспортов микроорганизмов, используемых в производстве. При этом Россия располагает большими уникальными коллекциями штаммов, адаптированных к местным условиям содержания скота и особенностям кормовой базы.

Таким образом, при создании пробиотических препаратов для животноводческой отрасли необходимы обширные знания в микробиологии, молекулярной генетике и кормопроизводстве. Применение эффективных пробиотиков позволит повысить рентабельность животноводства, сделав эти отрасли более конкурентноспособными.

Список источников

1. Алешин Д.Е. Продукты биотехнологической промышленности в кормлении животных: пробиотики, пребиотики, симбиотики, синбиотики и постбиотики // *Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития*. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2024. С. 296-343. [Aleshin DE. Biotechnological industry products in animal feeding: probiotics, prebiotics, symbiotics, synbiotics and postbiotics. *Fundamental'naya i prikladnaya nauka: sostoyanie i tendencii razvitiya*. Petrozavodsk: Mezhdunarodnyj centr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka»; 2024:296-343. (*In Russ.*)]. doi: 10.46916/04062024-2-978-5-00215-407-4
2. Дробот Е.В., Гаврилина М.Ю. Концепции зеленой, циркулярной и биоэкономики в контексте устойчивого развития: синергия и стратегия // *Экономика, предпринимательство и право*. 2025. Т. 15. № 6. С. 3827-3844. [Drobot EV, Gavrilina MY. Concepts of green, circular and bioeconomics in the context of sustainable development: synergy and strategy. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2025;15(6):3827-3844. (*In Russ.*)]. doi: 10.18334/eppl.15.6.123474
3. Метанообразование в рубце и методы его снижения с использованием алиментарных факторов (обзор) / Н.В. Боголюбова, А.А. Зеленченкова, Н.С. Колесник, П.Д. Лахонин // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. № 6. С. 1025-1054. [Bogolyubova NV, Zelenchenkova AA, Kolesnik NS, Lahonin PD. Rumen methane production and its reduction using

nutritional factors (review). *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2022;57(6):1025-1054. (*In Russ.*). doi: 10.15389/agrobiology.2022.6.1025rus doi: 10.15389/agrobiology.2022.6.1025eng

4. Мирошникова М.С., Аринжанов А.Е. Микробиоценоз рубца – инструмент к построению искусственных биосистем. Биореактор на основе рубца (обзор) // *Животноводство и кормопроизводство*. 2021. Т. 104. № 3. С. 57-69. [Miroshnikova MS, Arinzhanov AE. Rumen microbiocenosis is a tool for the construction of artificial biosystems. Ruminant bioreactor (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(3):57-59. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-104-3-57

5. Мурленков Н.В. Российский и мировой рынок кормовых пробиотиков // *Научный журнал молодых ученых*. 2019. № 2(15). С. 5-8. [Murlenkov NV. Rossijskij i mirovoj rynok kormovyh probiotikov. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2019;2(15):5-8. (*In Russ.*)].

6. Овчарова А.Н., Петраков Е.С. Новые пробиотические препараты на основе *Lactobacillus reuteri* и перспективы использования их в животноводстве (обзор) // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2018. № 2. С. 5-18. [Ovcharova AN, Petrakov ES. New probiotic preparations based on *Lactobacillus reuteri* and prospects for their use in livestock farming (review). *Problems of Productive Animal Biology*. 2018;2:5-18. (*In Russ.*)]. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.2.5-18

7. Оценка безопасности и идентификация пробиотических микроорганизмов смешанного состава в обогащенных продуктах / И.А. Киселева, И.М. Нитяга, Ю.М. Маркова, В.И. Луцай // *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2020. № 4(36). С. 473-479. [Kiseleva IA, Nityaga IM, Markova YM, Lutsay VI. Safety assessment and identification of mixed probiotic microorganisms in enriched products. *Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2020;4(36):473-479. (*In Russ.*)]. doi: 10.36871/vet.san.hyge.ecol.202004011

8. Оценка влияния иммобилизации в полимерную матрицу пробиотика и ксиланазы на эффективность кормления птицы / Ж.А. Григорьева, О.Б. Новикова, А.Б. Осипов, Р.М. Хоменко // *Птицеводство*. 2020. № 12. С. 21-25. [Grigorieva ZhA, Novikova OB, Osipov AB, Khomenko RM. Evaluation of the effect of immobilization of a probiotic and xylanase on a polymeric matrix on their efficiency in diets for broilers. *Ptitsevodstvo*. 2020;12:21-25. (*In Russ.*)]. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-12-21-25

9. Российский статистический ежегодник. 2024: стат. сб. / Росстат. М., 2024. 630 с. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegodnik_2024.htm (дата обращения: 12.02.2026). [Russian Statistical Yearbook 2024: stat. book. Rosstat. Moscow; 2024:630 p. [Internet]. (*In Russ.*)]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegodnik_2024.htm (date of request: 12.02.2026).

10. Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты рубца лактирующих коров под влиянием пробиотика Целлобактерина+ / Е.А. Ыылдырым, Г.Ю. Лаптев, Л.А. Ильина, Т.П. Дунашев, Д.Г. Тюрина, В.А. Филиппова, Е.А. Бражник, Н.В. Тарлавин, А.В. Дубровин, Н.И. Новикова, В.В. Солдатова, С.Ю. Зайцев // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55. № 6. С. 1204-1219. [Yildirim EA, Laptev GY, Ilina LA, Dunashev TP, Tyurina DG, Filippova VA, Brazhnik EA, Tarlavin NV, Dubrovin AV, Novikova NI, Soldatova VV, Zaitsev SY. The influence of a dietary *Enterococcus faecium* strain-based additive on the taxonomic and functional characteristics of the rumen microbiota of lactating cows. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2020;55(6):1204-1219. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204eng

11. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е.П. Колеватых, Л.В. Пилип, Н.В. Сырчина и др. // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 4. С. 159-165. [Kolevatykh EP, Pilip LV, Syrchina NV, et al. Transformation of the microbiota of animal husbandry waste under the influence of chemical reagents to eliminate odor. *Theoretical and applied ecology*. 2022;4:159-165. (*In Russ.*)]. doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165

12. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru> (дата обращения: 12.02.2026). [Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Internet]. URL: <https://www.gks.ru> (date of request: 12.02.2026) (*In Russ.*)].

13. Чижаева А.В., Дудикова А.Н. Научный обзор: теоретические и практические аспекты конструирования пробиотических препаратов // *Научное обозрение. Биологические науки*.

2017. № 2. С. 157-166. [Chizhayeva AV, Dudnikova AN. Scientific review: the teoretical and practical aspects of constructioning of probiotic preparations. Scientific Review. Biological Sciences. 2017;2:157-166.(In Russ.)].

14. Яркова Т.М. Состояние и проблемы развития молочного скотоводства в России // Продовольственная политика и безопасность. 2024. Т. 11. № 1. С. 119-134. [Yarkova TM. The status and problems of dairy cattle breeding in Russia. Food Policy and Security. 2024;11(1):119-134. (In Russ.)]. doi: 10.18334/ppib.11.1.120368

15. Яркова Т.М. Социально-экономическая доступность продовольствия: методика оценки // Продовольственная политика и безопасность. 2022. Т. 9. № 2. С. 163-176. [Yarkova TM. Socio-economic accessibility of food: assessment methodology. Food Policy and Security. 2022;9(2):163-176. (In Russ.)]. doi: 10.18334/ppib.9.2.114735

16. Abdelbagi M, Ridwan R, Fidriyanto R, Rohmatussolihat, Nahrowi, Jayanegara A. Effects of probiotics and encapsulated probiotics on enteric methane emission and nutrient digestibility in vitro. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;788(1):012050. doi: 10.1088/1755-1315/788/1/012050

17. Agregán-Pérez R, Alonso-González E, Mejuto JC, Pérez-Guerra N. Production of a potentially probiotic product for animal feed and evaluation of some of its probiotic properties. International Journal of Molecular Sciences. 2021;22(18):10004. doi: 10.3390/ijms221810004

18. Cai X, Yi P, Chen X, Wu J, Lan G, Li S, Luo S, Huang F, Huang J, Shen P. Intake of compound probiotics accelerates the construction of immune function and gut microbiome in Holstein calves. Microbiology Spectrum. 2024;12(6):e0190923. doi: 10.1128/spectrum.01909-23

19. Fernández S, Fraga M, Silveyra E, Trombert AN, Rabaza A, Pla M, Zunino P. Probiotic properties of native *Lactobacillus* spp. strains for dairy calves. Beneficial Microbes. 2018;9(4):613-624. doi: 10.3920/BM2017.0131

20. Guan N, Li C, Liu W, Wu Q, Zhu J, Gao T, Song , Guo R, Yuan F, Tian Y. et al. Isolation and probiotic functions of *Bacillus subtilis* and its inhibitory effects on colitis. Biology. 2025;14(12):1786. doi: 10.3390/biology14121786

21. Guo G, Shen C, Liu Q, Zhang SL, Shao T, Wang C, Wang Y, Xu Q, Huo W. The effect of lactic acid bacteria inoculums on in vitro rumen fermentation, methane production, ruminal cellulolytic bacteria populations and cellulase activities of corn stover silage. Journal of Integrative Agriculture. 2020;19(3):838-847. doi: 10.1016/S2095-3119(19)62707-3

22. Jeyanathan J, Martin C, Eugène M, Ferlay A, Popova M, Morgavi DP. Bacterial direct-fed microbials fail to reduce methane emissions in primiparous lactating dairy cows. Journal of Animal Science and Biotechnology. 2019;10:41. doi: 10.1186/s40104-019-0342-9

23. Kerek Á, Palkovicsné Pézsa N, Kaszab E, Jerzsele Á, Farkas O. Phenotypic and genotypic characterization of probiotic strains in the context of antimicrobial resistance. Frontiers in Veterinary Science. 2025;12:1684650. doi: 10.3389/fvets.2025.1684650

24. Lambo MT, Chang X, Liu D. The recent trend in the use of multistrain probiotics in livestock production: an overview. Animals (Basel). 2021;11(10):2805. doi: 10.3390/ani11102805

25. Latham EA, Pinchak WE, Trachsel J, Allen HK, Callaway TR, Nisbet DJ, Anderson RC. *Paenibacillus* 79R4, a potential rumen probiotic to enhance nitrite detoxification and methane mitigation in nitrate-treated ruminants. Science of the Total Environment. 2019;671:324-328. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.390

26. Matthews C, Crispie F, Lewis E, Reid M, O'Toole PW, Cotter PD. The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. Gut Microbes. 2019;10(2):115-132. doi: 10.1080/19490976.2018.1505176

27. Myo NZ, Kamwa R, Khurajog B, Pupa P, Sirichokchatchawan W, Hampson DJ, Prapasarakul N. Industrial production and functional profiling of probiotic *Pediococcus acidilactici* 72 N for potential use as a swine feed additive. Scientific Reports. 2025;15:14940. doi: 10.1038/s41598-025-99826-8

28. Nalla K, Manda NK, Dhillon HS, et al. Impact of probiotics on dairy production efficiency. Frontiers in microbiology. 2022;13:805963. doi: 10.3389/fmicb.2022.805963

29. Nguyen HA, Tran PT, Dam HT, Nguyen HV, Le TH, Ho PH, Lan Huong N. Whole genome sequence analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* strain S2.5 as a potential probiotic for feed

- supplement in livestock production. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2024;22(3):100404. doi: 10.1016/j.jgeb.2024.100404
30. Olchoway TWJ, Soust M, Alawneh J. The effect of a commercial probiotic product on the milk quality of dairy cows grazing on pasture. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(3):2188-2195. doi: 10.3168/jds.2018-15411
31. Park M-K, Hwang T-K, Kim W, Jo Y, Park Y-J, Kim M-C, Son H, Seo D, Shin J-H. Probiotic feed additives mitigate odor emission in cattle farms through microbial community changes. *Fermentation*. 2024;10(9):473. doi: 10.3390/fermentation10090473
32. Pedraza-Hernández J, Elghandour MMY, Khusro A, Camacho-Diaz LM, Vallejo LH, Barbabosa-Pliego A, Salem AZM. Mitigation of ruminal biogases production from goats using *Moringa oleifera* extract and live yeast culture for a cleaner agriculture environment. *Journal of Cleaner Production*. 2019;234:779-786. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.126
33. Pereira JQ, Ritter AC, Cibulski S, Brandelli A. Functional genome annotation depicts probiotic properties of *Bacillus velezensis* FTC01. *Gene*. 2019;713:143971. doi: 10.1016/j.gene.2019.143971
34. Perez RH, Ancuelo AE, Zendo T. Genotypic and phenotypic characterization of bacteriocinogenic lactic acid bacterial strains for possible beneficial, virulence, and antibiotic resistance traits. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022;11(5):e4990. doi: 10.55251/jmbfs.4990
35. Ramos SC, Jeong CD, Mamuad LL, Kim SH, Kang SH, Kim ET, Cho YI, Lee SS, Lee SS. Diet transition from high-forage to high-concentrate alters rumen bacterial community composition, epithelial transcriptomes and ruminal fermentation parameters in dairy cows. *Animals*. 2021;11(3):838. doi: 10.3390/ani11030838
36. Wanapat M, Viennasay B, Matra M, Totakul P, Phesatcha B, Ampapon T, Wanapat S. Supplementation of fruit peel pellet containing phytonutrients to manipulate rumen pH, fermentation efficiency, nutrient digestibility and microbial protein synthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021;101(11):4543-4550. doi: 10.1002/jsfa.11096
37. Wu R, Chang S, Zhang H, Yang X, Gu R, Wang S, Liu X, Bat-Ochir M, Wu J. Compound probiotics microcapsules improve milk yield and milk quality of dairy cows by regulating intestinal flora. *Food Bioengineering*. 2024;3(1):110-125. doi: 10.1002/fbe2.12084
38. Xu L, Zhan ZC, Du S, Wang S, Zhang Q, Wang C, Yang W, Deng X, Zhan Z, Li Y, Zhou Y, Chen X. Isolation, functional evaluation, and fermentation process optimization of probiotic *Bacillus coagulans*. *PLoS One*. 2023;18(11):e0286944. doi: 10.1371/journal.pone.0286944
39. Zhang A, Cao Y, Zheng Y, Sun L, Yin W, Yu J, Yu B, Yan L, Yan X, Liang Y, Pu X, Song Y, Yu A. Low-temperature two-stage probiotic fermentation enhances nutrition and safety of pig liquid feed. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2025;110(1):25. doi: 10.1007/s00253-025-13633-9

References

1. Aleshin DE. Biotechnological industry products in animal feeding: probiotics, prebiotics, symbiotics, synbiotics and postbiotics. *Fundamental and applied science: state and development trends*. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science"; 2024:296-343. doi: 10.46916/04062024-2-978-5-00215-407-4
2. Drobot EV, Gavrilina MY. Concepts of green, circular and bioeconomics in the context of sustainable development: synergy and strategy. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2025;15(6):3827-3844. doi: 10.18334/epp.15.6.123474
3. Bogolyubova NV, Zelenchenkova AA, Kolesnik NS, Lahonin PD. Rumen methane production and its reduction using nutritional factors (review). *Agricultural Biology*. 2022;57(6):1025-1054. doi: 10.15389/agrobiology.2022.6.1025rus doi: 10.15389/agrobiology.2022.6.1025eng
4. Miroshnikova MS, Arinzhonov AE. Rumen microbiocenosis is a tool for the construction of artificial biosystems. *Ruminal bioreactor (review)*. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(3):57-59. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-57

5. Murlenkov NV. Russian and global markets for feed probiotics. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2019;2(15):5-8.
6. Ovcharova AN, Petrakov ES. New probiotic preparations based on *Lactobacillus reuteri* and prospects for their use in livestock farming (review). *Problems of Productive Animal Biology*. 2018;2:5-18. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.2.5-18
7. Kiseleva IA, Nityaga IM, Markova YM, Lutsay VI. Safety assessment and identification of mixed probiotic microorganisms in enriched products. *Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2020;4(36):473-479. doi: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202004011
8. Grigorieva ZhA, Novikova OB, Osipov AB, Khomenko RM. Evaluation of the effect of immobilization of a probiotic and xylanase on a polymeric matrix on their efficiency in diets for broilers. *Poultry Farming*. 2020;12:21-25. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-12-21-25
9. Russian Statistical Yearbook 2024: stat .book. Rosstat. Moscow; 2024:630 p. [Internet]. Available from: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegodnik_2024.htm (cited 2026 Feb 12).
10. Yildirim EA, Laptev GY, Ilina LA, Dunashev TP, Tyurina DG, Filippova VA, Brazhnik EA, Tarlavin NV, Dubrovin AV, Novikova NI, Soldatova VV, Zaitsev SY. The influence of a dietary *Enterococcus faecium* strain-based additive on the taxonomic and functional characteristics of the rumen microbiota of lactating cows. *Agricultural Biology*. 2020;55(6):1204-1219. doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204eng
11. Kolevatykh EP, Pilip LV, Syrchina NV, et al. Transformation of the microbiota of animal husbandry waste under the influence of chemical reagents to eliminate odor. *Theoretical and applied ecology*. 2022;4:159-165. doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165
12. Federal State Statistics Service [Internet]. Available from: <https://www.gks.ru> (cited 2026 Feb 12).
13. Chizhayeva AV, Dudnikova AN. Scientific review: the theoretical and practical aspects of construction of probiotic preparations. *Scientific Review. Biological Sciences*. 2017;2:157-166.
14. Yarkova TM. The status and problems of dairy cattle breeding in Russia. *Food Policy and Security*. 2024;11(1):119-134. doi: 10.18334/ppib.11.1.120368
15. Yarkova TM. Socio-economic accessibility of food: assessment methodology. *Food Policy and Security*. 2022;9(2):163-176. doi: 10.18334/ppib.9.2.114735
16. Abdelbagi M, Ridwan R, Fidriyanto R, Rohmatussolihat, Nahrowi, Jayanegara A. Effects of probiotics and encapsulated probiotics on enteric methane emission and nutrient digestibility in vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;788(1):012050. doi: 10.1088/1755-1315/788/1/012050
17. Agregán-Pérez R, Alonso-González E, Mejuto JC, Pérez-Guerra N. Production of a potentially probiotic product for animal feed and evaluation of some of its probiotic properties. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(18):10004. doi: 10.3390/ijms221810004
18. Cai X, Yi P, Chen X, Wu J, Lan G, Li S, Luo S, Huang F, Huang J, Shen P. Intake of compound probiotics accelerates the construction of immune function and gut microbiome in Holstein calves. *Microbiology Spectrum*. 2024;12(6):e0190923. doi: 10.1128/spectrum.01909-23
19. Fernández S, Fraga M, Silveyra E, Trombert AN, Rabaza A, Pla M, Zunino P. Probiotic properties of native *Lactobacillus* spp. strains for dairy calves. *Beneficial Microbes*. 2018;9(4):613-624. doi: 10.3920/BM2017.0131
20. Guan N, Li C, Liu W, Wu Q, Zhu J, Gao T, Song , Guo R, Yuan F, Tian Y. et al. Isolation and probiotic functions of *Bacillus subtilis* and its inhibitory effects on colitis. *Biology*. 2025;14(12):1786. doi: 10.3390/biology14121786
21. Guo G, Shen C, Liu Q, Zhang SL, Shao T, Wang C, Wang Y, Xu Q, Huo W. The effect of lactic acid bacteria inoculums on in vitro rumen fermentation, methane production, ruminal cellulolytic bacteria populations and cellulase activities of corn stover silage. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020;19(3):838-847. doi: 10.1016/S2095-3119(19)62707-3

22. Jeyanathan J, Martin C, Eugène M, Ferlay A, Popova M, Morgavi DP. Bacterial direct-fed microbials fail to reduce methane emissions in primiparous lactating dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019;10:41. doi: 10.1186/s40104-019-0342-9
23. Kerek Á, Palkovicsné Pézsa N, Kaszab E, Jerzsele Á, Farkas O. Phenotypic and genotypic characterization of probiotic strains in the context of antimicrobial resistance. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025;12:1684650. doi: 10.3389/fvets.2025.1684650
24. Lambo MT, Chang X, Liu D. The recent trend in the use of multistrain probiotics in livestock production: an overview. *Animals (Basel)*. 2021;11(10):2805. doi: 10.3390/ani11102805
25. Latham EA, Pinchak WE, Trachsel J, Allen HK, Callaway TR, Nisbet DJ, Anderson RC. *Paenibacillus* 79R4, a potential rumen probiotic to enhance nitrite detoxification and methane mitigation in nitrate-treated ruminants. *Science of the Total Environment*. 2019;671:324-328. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.390
26. Matthews C, Crispie F, Lewis E, Reid M, O'Toole PW, Cotter PD. The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut Microbes*. 2019;10(2):115-132. doi: 10.1080/19490976.2018.1505176
27. Myo NZ, Kamwa R, Khurajog B, Pupa P, Sirichokchatchawan W, Hampson DJ, Prapasarakul N. Industrial production and functional profiling of probiotic *Pedococcus acidilactici* 72 N for potential use as a swine feed additive. *Scientific Reports*. 2025;15:14940. doi: 10.1038/s41598-025-99826-8
28. Nalla K, Manda NK, Dhillon HS, et al. Impact of probiotics on dairy production efficiency. *Frontiers in microbiology*. 2022;13:805963. doi: 10.3389/fmicb.2022.805963
29. Nguyen HA, Tran PT, Dam HT, Nguyen HV, Le TH, Ho PH, Lan Huong N. Whole genome sequence analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* strain S2.5 as a potential probiotic for feed supplement in livestock production. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2024;22(3):100404. doi: 10.1016/j.jgeb.2024.100404
30. Olchoway TWJ, Soust M, Alawneh J. The effect of a commercial probiotic product on the milk quality of dairy cows grazing on pasture. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(3):2188-2195. doi: 10.3168/jds.2018-15411
31. Park M-K, Hwang T-K, Kim W, Jo Y, Park Y-J, Kim M-C, Son H, Seo D, Shin J-H. Probiotic feed additives mitigate odor emission in cattle farms through microbial community changes. *Fermentation*. 2024;10(9):473. doi: 10.3390/fermentation10090473
32. Pedraza-Hernández J, Elghandour MMY, Khusro A, Camacho-Diaz LM, Vallejo LH, Barbabosa-Pliego A, Salem AZM. Mitigation of ruminal biogases production from goats using *Moringa oleifera* extract and live yeast culture for a cleaner agriculture environment. *Journal of Cleaner Production*. 2019;234:779-786. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.126
33. Pereira JQ, Ritter AC, Cibulski S, Brandelli A. Functional genome annotation depicts probiotic properties of *Bacillus velezensis* FTC01. *Gene*. 2019;713:143971. doi: 10.1016/j.gene.2019.143971
34. Perez RH, Ancuelo AE, Zendo T. Genotypic and phenotypic characterization of bacteriocinogenic lactic acid bacterial strains for possible beneficial, virulence, and antibiotic resistance traits. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022;11(5):e4990. doi: 10.55251/jmbfs.4990
35. Ramos SC, Jeong CD, Mamuad LL, Kim SH, Kang SH, Kim ET, Cho YI, Lee SS, Lee SS. Diet transition from high-forage to high-concentrate alters rumen bacterial community composition, epithelial transcriptomes and ruminal fermentation parameters in dairy cows. *Animals*. 2021;11(3):838. doi: 10.3390/ani11030838
36. Wanapat M, Viennasay B, Matra M, Totakul P, Phesatcha B, Ampapon T, Wanapat S. Supplementation of fruit peel pellet containing phytonutrients to manipulate rumen pH, fermentation efficiency, nutrient digestibility and microbial protein synthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021;101(11):4543-4550. doi: 10.1002/jsfa.11096
37. Wu R, Chang S, Zhang H, Yang X, Gu R, Wang S, Liu X, Bat-Ochir M, Wu J. Compound probiotics microcapsules improve milk yield and milk quality of dairy cows by regulating intestinal flora. *Food Bioengineering*. 2024;3(1):110-125. doi: 10.1002/fbe2.12084

38. Xu L, Zhan ZC, Du S, Wang S, Zhang Q, Wang C, Yang W, Deng X, Zhan Z, Li Y, Zhou Y, Chen X. Isolation, functional evaluation, and fermentation process optimization of probiotic *Bacillus coagulans*. PLoS One. 2023;18(11):e0286944. doi: 10.1371/journal.pone.0286944

39. Zhang A, Cao Y, Zheng Y, Sun L, Yin W, Yu J, Yu B, Yan L, Yan X, Liang Y, Pu X, Song Y, Yu A. Low-temperature two-stage probiotic fermentation enhances nutrition and safety of pig liquid feed. Applied Microbiology and Biotechnology. 2025;110(1):25. doi: 10.1007/s00253-025-13633-9

Информация об авторах:

Юрий Витальевич Косульников, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского 3, тел.: 89811225242.

Анастасия Игоревна Косульникова, инженер-исследователь лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского 3, тел.: 89253432661.

Татьяна Руслановна Вавулина, кандидат биологических наук, инженер-исследователь лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского 3, тел.: 89313520024.

Юрий Владимирович Лактионов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского 3, тел.: 89117341040.

Information about the authors:

Yuri V Kosulnikov, Cand. Sci. (Engineering), Researcher at the Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria, All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 3 Podbelskogo highway, Pushkin, St. Petersburg, Russia, 196608, tel.: 89811225242.

Anastasia I Kosulnikova, Research Engineer at the Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria, All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 3 Podbelskogo highway, Pushkin, St. Petersburg, Russia, 196608, tel.: 89253432661.

Tatyana R Vavulina, Cand. Sci. (Biology), Research Engineer at the Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria, All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 3 Podbelskogo highway, Pushkin, St. Petersburg, Russia, 196608, tel.: 89313520024.

Yuri V Laktionov, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher at the Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria, All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 3 Podbelskogo highway, Pushkin, St. Petersburg, Russia, 196608, tel.: 89117341040.

Статья поступила в редакцию 08.04.2026; одобрена после рецензирования 04.06.2026; принята к публикации 14.09.2026.

The article was submitted 08.04.2026; approved after reviewing 04.06.2026; accepted for publication 14.09.2026.