

Пищевая биотехнология: инновационные методы, микроорганизмы и их потенциал (аналитический обзор)

Е.М. Серба

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, г. Москва, Российская Федерация

Корреспонденция:
Елена Михайловна Серба
E-mail: serbae@mail.ru

Конфликт интересов:
автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 02.01.2026
Принята: 15.06.2026
Опубликована: 30.06.2026

Финансирование:
Исследование выполнено в рамках государственного задания FGMF-2025-0012.

Copyright: © 2026 Автор

АННОТАЦИЯ

Введение: Потенциал пищевой биотехнологии для создания функциональных ингредиентов, биологически активных добавок и специализированной продукции широко обсуждается в литературе последнего десятилетия. Однако работ, в которых накопленные данные не просто перечисляются, а оцениваются с точки зрения доказательной обоснованности, заметно меньше.

Цель: Систематизировать ключевые направления пищевой биотехнологии и определить, какие из них опираются на воспроизводимые экспериментальные данные, а какие остаются на уровне деклараций, на материале публикаций 2015–2025 годов.

Материалы и методы: Проанализированы 130 полнотекстовых публикаций из баз РИНЦ, PubMed и Google Scholar. Материал сгруппирован в четыре тематических блока: генная и клеточная инженерия; биокаталитическая переработка сырья; ферментация для снижения аллергенности и получения функциональных продуктов; фортификация микроорганизмов. Для каждого блока оценивались масштаб экспериментов, наличие независимых подтверждений и систематические пробелы.

Результаты: Биокаталитическая переработка зернового сырья оказалась единственным направлением, где лабораторные данные подкреплены промышленной практикой. В трёх остальных объём лабораторных работ заметно превосходит объём данных о безопасности, биодоступности и клинической эффективности. Наиболее выраженный разрыв между декларируемым потенциалом и доказательной базой обнаружен в области генной и клеточной инженерии и в утверждениях о противоопухолевых свойствах ферментированных продуктов.

Выводы: Доказательная база пищевой биотехнологии асимметрична: при значительном объёме лабораторных данных систематические исследования безопасности, масштабируемости и клинической эффективности фрагментарны. Приоритетом дальнейших работ представляется не умножение новых объектов, а валидация уже существующих, переход к пилотному масштабу, исследования безопасности и контролируемые испытания *in vivo*.

Ключевые слова: пищевая биотехнология; аналитический обзор; доказательная база; биокатализ; генная инженерия; ферментация; фортификация; масштабирование; безопасность



Для цитирования: Серба, Е.М. (2026). Пищевая биотехнология: инновационные методы, микроорганизмы и их потенциал (аналитический обзор). *FOOD METAENGINEERING*, 4(2), 42–61. <https://doi.org/10.37442/fme.2026.2.117>

Food Biotechnology: Innovative Methods, Microorganisms, and Their Potential (An Analytical Review)

Elena M. Serba

VNIIPBT is a branch of the Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: The potential of food biotechnology for creating functional ingredients, dietary supplements, and specialized food products has been widely discussed in the literature of the past decade. Far fewer works, however, do not merely enumerate the accumulated data but appraise them in terms of the validity of the underlying evidence.

Purpose: To systematize the key directions of food biotechnology and to determine which of them rest on reproducible experimental data and which remain at the level of declarations, drawing on publications from 2015 to 2025.

Materials and Methods: A total of 130 full-text publications from the RSCI, PubMed, and Google Scholar databases were analyzed. The material was grouped into four thematic blocks: genetic and cell engineering; biocatalytic processing of raw materials; fermentation for allergenicity reduction and the creation of functional products; and fortification of microorganisms. For each block, the scale of experiments, the availability of independent confirmation, and systematic gaps were assessed.

Results: Biocatalytic processing of grain raw material proved to be the only direction in which laboratory data are supported by industrial practice. In the three remaining directions, the volume of laboratory work markedly exceeds the volume of data on safety, bioavailability, and clinical efficacy. The most pronounced gap between the declared potential and the available evidence was found in genetic and cell engineering and in claims about the antitumor properties of fermented products.

Conclusion: The evidence base of food biotechnology is asymmetric: against a substantial volume of laboratory data, systematic studies of safety, scalability, and clinical efficacy remain fragmentary. The priority for further work appears to be not the multiplication of new objects but the validation of those already proposed, namely the transition to pilot scale, safety studies, and controlled *in vivo* trials.

Keywords: food biotechnology; analytical review; evidence base; biocatalysis; genetic engineering; fermentation; fortification; scale-up; safety

Correspondence:

Elena M. Serba

E-mail: serbae@mail.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 02.01.2026

Accepted: 15.06.2026

Published: 30.06.2026

Funding:

The research was supported by subsidies for the implementation of state assignment (FGMF-2025-0012).

Copyright: © 2026 The Author



To cite: Serba, E.M. (2026). Food biotechnology: Innovative methods, microorganisms, and their potential (An analytical review). *FOOD METAENGINEERING*, 4(2), 42–61. <https://doi.org/10.37442/fme.2026.2.117>

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения безопасными и качественными продуктами питания, включая функциональную и специализированную продукцию, заявлено в России в числе приоритетов государственной политики. В литературе последних лет решение этой задачи устойчиво связывается с ускоренным внедрением биотехнологических инноваций — прежде всего методов генетической и ферментативной инженерии и направленного использования микроорганизмов и их метаболитов (Серб и др., 2018; Мезенова, 2023). Считается, что такие подходы позволяют не только повысить рентабельность производств, но и получать продукты с заданными свойствами, ориентированные на поддержание здоровья человека (Аксенова и Римарева, 2017; Серб и др., 2023а). Основания биотехнологии как научной дисциплины, изучающей применение живых систем и их метаболитов для решения технологических задач, к настоящему времени достаточно полно систематизированы в учебной и справочной литературе (Фауст, 2015).

Масштаб ожиданий подкрепляется оценками рынка. По данным аналитических агентств, мировой рынок биотехнологий в 2024 году оценивается величиной порядка 1,5 трлн долларов США с прогнозом многократного роста к 2034 году; при этом оценки заметно расходятся в зависимости от источника, а сегмент именно пищевой биотехнологии в них, как правило, не выделяется (Сарсадских и Эйриян, 2025). Доля России на этом рынке составляет около 0,25 % — существенно ниже показателей США (36,5 %), Китая (5,1 %) и Германии (2,3 %). Отсутствие отдельной статистики по пищевому сегменту затрудняет точную оценку положения дел именно в рассматриваемой области и само по себе является значимым пробелом. Контекст этих процессов задаёт и положение аграрного сектора: при значительном ресурсном потенциале сохраняются проблемы продовольственных потерь и технологической модернизации производства (Карлова и др., 2023; Соколова и Сухарева, 2024).

В литературе последовательно указывается на дефицит российских биотехнологических продуктов: ферментов, функциональных ингредиентов, биологически активных добавок, усиливающий зависимость перерабатывающей промышленности от импорта (Серб и др., 2018, 2023а; Мезенова, 2023). Имеющийся научный задел, как

утверждается, позволяет эффективно применять результаты разработок, однако ограниченные инвестиционные возможности затрудняют выбор среди множества технологических решений. Это утверждение, однако, не подкреплено количественными данными: систематических сведений о доле российских НИОКР в области пищевой биотехнологии, дошедших до промышленной реализации, в доступной литературе нет. В мировой практике разрыв между лабораторной разработкой и внедрением, так называемая «долина смерти», таков, что опытно-промышленной стадии достигают лишь 10–15 % биотехнологических исследований в пищевой сфере (Nielsen, Tillegreen & Petranovic, 2022); сопоставимых оценок для России не представлено. Преодоление этого разрыва требует кооперации науки, промышленности и государства, опирающейся в том числе на постгеномные дисциплины и биоэкономику (Ленчук, 2021; Ковальчук и др., 2019; Титова и др., 2023).

Несмотря на то, что объем данных, накопленных в области пищевой биотехнологии за десятилетие, велик; число работ, где эти данные не перечислены, а сопоставлены и оценены с точки зрения систематических пробелов, заметно меньше. Цель настоящего обзора заключается в систематизации и обобщении ключевых результатов исследований и в выявлении наименее изученных областей индустрии функциональных ингредиентов, биологически активных добавок, специализированной и обогащённой пищевой продукции, где биотехнологические инновации обещают наибольший эффект и где разрыв между ожиданиями и эмпирическими доказательствами проявляется особенно отчётливо.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Критерии включения и поиск источников

В обзор включали оригинальные исследовательские статьи и материалы конференций из рецензируемых изданий при одновременном выполнении трёх условий: соответствие тематики одному из четырёх выделенных направлений; доступность полного текста; дата публикации в интервале с 1 января 2015 года по 1 марта 2025 года. Поиск вели в базах РИНЦ, PubMed и Google Scholar по ключевым словам на русском и английском языках («пищевая биотехнология»/food biotechnology, «ферментация»/fermentation, «биокатализ»/biocatalysis, «генная инженерия»/genetic engineering, «фортификация»/fortification, «аллергенность»/allergenicity и др.). За-

Е.М. Серба

просы строили парными комбинациями с оператором AND, синонимы объединяли оператором OR; стратегию адаптировали к каждой базе (в PubMed поиск ограничивали полями названия и аннотации, в Google Scholar использовали точные фразы в кавычках, в РИНЦ — рубрикатор).

Отбор проводили в два этапа: на первом по названиям и аннотациям исключали заведомо нерелевантные работы, на втором решение принимали по полному тексту. В итоговый анализ вошли 130 публикаций.

Извлечение и синтез данных

Для каждой публикации фиксировали объект исследования (вид сырья, штамм, ферментный препарат), метод, масштаб эксперимента (лабораторный, пилотный, промышленный), основные результаты и выводы в авторской формулировке, а также указанные авторами ограничения. Синтез проводили тематически. Структуру блоков задавали в два шага: сначала на пилотной выборке из 50 случайно отобранных аннотаций выявляли группы исследований по типу метода (ферментативный катализ, микробная ферментация, генетическая модификация, фортификация) и цели работы; затем выделяли направления, которые одновременно были частотными в выборке, обладали выраженным инновационным потенциалом по оценкам авторов и чётко различались по используемым методам. Так сформировались четыре блока:

- (1) генная и клеточная инженерия: направленное изменение генетического материала микроорганизмов (рекомбинантные штаммы) и культивирование клеток и тканей *in vitro*;
- (2) биокаталитическая переработка сырья: ферментные препараты микробного происхождения как основной инструмент гидролиза полимеров растительного, животного и микробного сырья, включая нетрадиционные источники и вторичные биоресурсы;
- (3) ферментация для снижения аллергенности и создания функциональных продуктов: экзогенные ферменты или подобранные штаммы (в том числе пробиотические) для обработки пищевого сырья;
- (4) фортификация микроорганизмов эссенциальными соединениями: использование микробной биомассы как матрицы для встраивания микроэлементов и других нутриентов.

Границы между блоками не абсолютны: статью, которую можно было отнести к двум блокам (например, реком-

бинантный штамм для ферментации сырья с целью снижения аллергенности), относили к блоку, отвечающему основной заявленной цели. Дополнительно ключевые утверждения классифицировали по степени обоснованности: подтверждённые независимыми группами; основанные на единичных работах без воспроизведения; гипотетические, опирающиеся на косвенные данные или аналогии. Эта градация не заменяет формальной оценки качества, но позволяет различать надёжные выводы и требующие проверки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Отобранные публикации распределились по четырем блокам неравномерно, как по числу работ, так и по характеру представленных данных. Ниже каждое направление рассматривается в логике «что заявлено — на чём это заявление основано — что осталось за рамками доказательств».

Технологии клеточной и генной инженерии

В анализируемых публикациях клеточная и генная инженерия предстают как два связанных, но различных подхода. Клеточная инженерия, по обобщающим работам (Kreis, 2019; Kumar et al., 2021; Popova et al., 2023), сосредоточена на создании растительных и животных клеточных культур с заданными характеристиками, культивируемых *in vitro*; возможности коллекций клеточных культур как источника биологически активных веществ описаны и в отечественной литературе (Цыбулько и Мясникова, 2020). Генная инженерия направлена на трансформацию генетического материала, прежде всего на получение рекомбинантных штаммов-продуцентов целевых ферментов (Kluge et al., 2018; Синицын и др., 2022; Филькин и др., 2024). Авторы подчеркивают взаимозависимость методов: генетические модификации меняют клеточные функции, а клеточная инженерия обеспечивает размножение измененных тканей *in vitro* (Bulakhov et al., 2017).

В качестве конкретного результата приводится создание высокопродуктивных рекомбинантных штаммов, секретирующих при оптимизированной ферментации до 80 % целевого гетерологичного белка от общего количества (Bulakhov et al., 2017); международный опыт получения промышленно важных ферментов на экспрессионных системах грибов обобщен в работах Синицына с соавторами (2022, 2023). Применительно

Е.М. Серба

к пищевым технологиям выделяют получение рекомбинантных ферментов, улучшение текстуры и качества продуктов и, как потенциальное решение экологических и этических проблем животноводства, создание рекомбинантных аналогов белков молока и мяса (Тышко и др., 2020; Treich, 2021; Nielsen et al., 2024). К этому же кругу задач примыкают работы по альтернативным источникам белка и растительным аналогам молочных продуктов (Мирзаев и Эргашев, 2023; Шишкина и др., 2022). В клеточной инженерии центральным сюжетом остаётся возможность получать продукты, идентичные натуральным по составу, без участия животных и растений (Hettinga & Bijl, 2022); сами авторы, однако, оговаривают, что подтверждение такой «идентичности» требует более глубокого изучения на молекулярном уровне.

Доказательная база направления слаба. Подавляющее большинство работ описывает лабораторные результаты; данных о масштабировании до пилотного или промышленного уровня в выборке практически нет, а обзорные статьи ссылаются на зарубежные разработки, не приводя экспериментальных данных, полученных на российском материале. Необходимость строгого контроля производственного цикла: от подготовки клеточного материала и состава сред до анализа качества и безопасности продукции, авторы признают (Kumar et al., 2021; Jeske et al., 2022; Зайцева и др., 2023), но конкретных протоколов и результатов валидации таких систем не представляют; вопросы идентификации опасностей и критических контрольных точек при производстве культивируемого мяса лишь поставлены (Зайцева и др., 2023). В итоге значительный массив теоретических и обзорных работ фиксирует потенциал методов, тогда как оригинальных исследований, доведенных до стадии оценки промышленной применимости, крайне мало. Приведенные в обзорах оценки следует рассматривать как гипотетические, требующие подтверждения на конкретных экспериментальных моделях.

Биокаталитическая переработка сельскохозяйственного сырья и нетрадиционных биоресурсов

Этот блок наиболее представителен по числу публикаций. Его центральный инструмент — ферментные препараты микробного происхождения, субстратная специфичность и механизм действия которых определяются генетической принадлежностью и физиологией продуцентов (Римарева и др., 2017; Polyakov et al., 2021; Серба

и др., 2022b). Методами генной инженерии и индуцированного мутагенеза получены высокопродуктивные штаммы, синтезирующие промышленно значимые ферменты с повышенной каталитической активностью (Курбатова и др., 2017; Синицына и др., 2020; Попова и др., 2024); обоснование выбора и получение концентрированных ферментных комплексов отработаны и для конкретных субстратов (Волкова и др., 2023; Серба и др., 2023b); многоцелевое использование *Aspergillus oryzae* как продуцента комплекса гидролаз описано Римаревой с соавторами (2018).

Переработка зернового сырья

Детальнее всего изучена роль ферментативных систем в переработке многокомпонентного зернового сырья, что является следствием традиционной значимости бродильных производств, на которые приходится более 60% общего объема ферментных препаратов (Римарева и др., 2020). Ферменты, участвующие в конверсии зерна, систематизированы по группам субстратов, на которые они воздействуют (Таблица 1): крахмал гидролизуют α -амилазы, глюкоамилазы и пуллулазазы; некрахмальные полисахариды — ксиланазы, β -глюканазы и целлюлазы; белки — протеазы и трансглутаминаза; фитиновые вещества — фитазы (Римарева и др., 2021b; Серба и др., 2022b).

Особое значение имеет синергизм ферментов разных классов: совместное действие карбогидраз, протеаз и фитаз углубляет гидролиз высокомолекулярных полимеров зернового сырья, интенсифицирует генерацию дрожжей и спиртовое брожение и увеличивает выход продукции (Римарева и др., 2017; Rimareva et al., 2022). Фитолитические и протеолитические ферменты способствуют обогащению суслу редуцирующими углеводами, азотистыми веществами, фосфатами и минералами в биодоступной форме (Polyakov et al., 2019, 2021; Римарева и др., 2021a). Практическая отработка касается и сопряжения биокатализа с экструзией, включая переработку экструдированного крахмала в мальтодекстрины и глюкозные сиропы (Степанов и др., 2017; Амелякина и др., 2020; Шариков и др., 2021), и применения мультиэнзимных композиций в хлебопечении (Носова и др., 2020; Носова и Дремучева, 2023; Ладнова и др., 2023). Существенно, что в этом блоке присутствуют и работы по методологии контроля качества и безопасности самих ферментных препаратов (Серба и др., 2019b; Римарева и др., 2020), чего недостаёт другим направлениям.

Е.М. Сербa

Таблица 1
Ферменты для гидролиза полимеров зернового сырья

Table 1
Enzymes for the Hydrolysis of Grain Raw-Material Polymers

Основной фермент	Продуценты	t, °C	pH	Действие на субстрат и задачи применения	Целевое назначение
I. Биоконверсия крахмала (α-амилаза, глюкоамилаза, пуллулаза)					
Бактериальная α-амилаза; термостабильная α-амилаза;	<i>Bacillus subtilis</i> ,	60–97	5,0–7,0	α-1,4-глюкан-4-глюканогидролаза (КФ 3.2.1.1), эндо-действие; гидролиз внутренних α-1,4-связей до декстринов и олигосахаридов	Разжижение и декстринизация крахмала, снижение вязкости замесов; подготовка к действию глюкоамилазы (спирт, пиво, хлеб)
грибная α-амилаза	<i>B. licheniformis</i> , <i>B. stearo-thermophilus</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Aspergillus oryzae</i>				
Глюкоамилаза	<i>Aspergillus awamori</i> , <i>A. niger</i>	55–65	4,1–5,0	α-1,4-глюканглюкогидролаза (КФ 3.2.1.3), экзо-действие; отщепление глюкозы от нередуцирующих концов, гидролиз α-1,4- и α-1,6-связей	Осахаривание расщеплённого крахмала, декстринов и олигосахаридов до глюкозы
Пуллулаза	<i>Aerobacter aerogenes</i> , <i>Bacillus pullulans</i>	58–65	4,0–6,0	Эндо-действие; гидролиз α-1,6-связей в амилопектине и предельных декстринах до мальтоолигосахаридов	Спирт, пиво, кристаллическая глюкоза, глюкозо-фруктозные сиропы — интенсификация и рост выхода
II. Биоконверсия белков (протеазы, транsgлутаминаза)					
Бактериальные и грибные протеазы (протеиназы, пептидазы)	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>A. niger</i>	50–60	4,7–10,0	Расщепление пептидных связей: протеиназы эндо-действия (КФ 3.4.21–24), пептидазы экзо-действия (КФ 3.4.11–15)	Гидролиз белков до пептидов разной молекулярной массы и далее до аминокислот
Транsgлутаминаза	<i>Streptomyces mobaraensis</i>	48–60	6,0–7,5	Переаминирование и образование межмолекулярных пептидных связей между глутамином и лизином	Направленное изменение структуры и функциональных свойств белков
III. Биоконверсия некрахмальных полисахаридов (ксилаказы, β-глюканазы, целлюлазы)					
β-глюканаза, ксиланаза, целлюлаза	<i>Trichoderma viride</i> , <i>T. longibrachiatum</i> , <i>T. reesei</i>	50–65	5,0–7,0	Гидролиз ксиланов, глюканов, целлюлозы и гемицеллюлозы	Снижение вязкости, рост биодоступности субстрата и выхода продукции
IV. Гидролиз фитиновых веществ (фитазы)					
Фитаза	<i>Aspergillus awamori</i> , <i>A. niger</i> , <i>Yarrowia lipolytica</i>	50–60	3,0–5,0	Мио-инозитолгексакисфосфат-фосфогидролаза (подкласс фосфатаз); высвобождение фосфора и микроэлементов	Повышение качества замесов и суsla, обогащение фосфором и минеральными веществами

Примечание. Адаптировано из: Римарева и др. (2021b); Сербa и др. (2022b).
Note. Adapted from Rimareva et al. (2021b); Serba et al. (2022b).

Нетрадиционные источники и вторичные биоресурсы

Подбор ферментных систем для альтернативного сырья опирается на знание его химического состава и прогнозируемой степени деструкции (Римарева и др., 2020, 2024; Kawaguchi et al., 2022). Биомассу насекомых обсуждают как источник белка и жира и как средство переработки сельскохозяйственных отходов в кормовые добавки (Dobermann, Swift & Field, 2017; Kępińska-Pacelik & Biel, 2022; Рудакова и Рудаков, 2022); микробную биомассу: как источник полноценного бел-

ка, незаменимых аминокислот, витаминов и ценных полисахаридов (β-глюканов, маннанов) (Сербa и др., 2017, 2023a; Kalebina & Rekestina, 2019; Gründling, 2021; Latgé et al., 2023; Gautam et al., 2025). Питательная ценность интактной микробной биомассы, как отмечают сами авторы, ограничена низкой доступностью содержимого клетки для пищеварительных ферментов, что предлагается преодолевать ферментативным расщеплением клеточных стенок (Serba et al., 2020b; Сербa и др., 2020a, 2023a). Потенциал переработки вторичного сырья иллюстрируют и получение БАД из отходов виноделия (Касумова, 2024), и биологически активные добавки для

животных на основе вторичных биоресурсов микробного происхождения (Серба и др., 2019а).

Доказательная база в этом тематическом блоке неоднородна. Для традиционных зерновых субстратов она развернута, тогда как для нетрадиционного сырья ограничивается декларациями потенциала. Авторы признают необходимость исследований по безопасности биомассы насекомых (Pinotti et al., 2019; Wilson Bessa et al., 2020; Shah et al., 2022), но публикаций с результатами токсикологических, микробиологических или аллергологических испытаний продуктов их переработки в выборке нет; по микробной биомассе исследований, в которых доказана безопасность полученных ингредиентов для человека, также практически нет. Даже для зерновых данные о масштабировании за пределы лаборатории фрагментарны, а масштаб эксперимента в исследованиях, в контексте которых разрабатываются собственные ферментные препараты, часто не указан явно. Несмотря на то, что это направление наиболее разработано из четырех, и оно сохраняет зоны неопределенности.

Ферментация для снижения аллергенности и создания функциональных продуктов

Блок объединяет работы, в которых ферментация (биокаталитическая или микробная) служит целенаправленному изменению свойств сырья ради двух задач: снижения сенсibilизирующей активности белков и придания продуктам функциональных, в том числе иммуномодулирующих и противоопухолевых, свойств. По числу публикаций он сопоставим с предыдущим, но материал смещен в сторону пищевых матриц (молоко, зерно, соя), а не микробной биомассы. Механизмы действия пробиотиков и их роль в создании функциональных продуктов обобщены в обзоре Plaza-Diaz с соавторами (2019), метаболитические свойства штаммов *Lactobacillus acidophilus* — у Стояновой с соавторами (2022), а классификация пищевых аллергенов и способы их элиминации описана Громовым с соавторами (2021).

По данным международной статистики, заболеваемость пищевой аллергией за два десятилетия выросла в 3–4 раза, и сегодня ею страдает примерно каждый пятый житель планеты (Ильина, 2022; Юраскина и др., 2023). Наиболее частые аллергены: белки яичного, молочного и зернового происхождения (Fernandes et al., 2018; Сновская и др., 2022). Основным биотехнологическим способом снижения аллергенности авторы

считают ферментативный гидролиз: протеолитические ферменты расщепляют белок на пептидные фрагменты с меньшей молекулярной массой и, как предполагается, меньшей сенсibilизирующей активностью, причем в гидролизатах сохраняются все аминокислоты, включая незаменимые (Rimareva et al., 2017; Соколова и др., 2022). Параллельно ферментативная и микробная обработка белкового сырья рассматривается как путь получения биоактивных пептидов с регуляторными функциями на молочных, мясных и коллагенсодержащих субстратах (Гришин и др., 2017; Милентьева и др., 2020; Чернуха и др., 2020; Мезенова и др., 2021).

Зерновое сырьё (глютен)

На пшенице показано, что обработка комплексом протеаз повышает содержание свободных аминокислот, особенно пролина (в 8,9 раза), аланина (в 6,1 раза) и серина (в 6,5 раза) относительно исходного сырья (Таблица 2). На основе частичной замены ферментативно модифицированной цельнозерновой муки разработаны хлеб и снеки с пониженной сенсibilизирующей активностью, причём перспективным признано сопря-

Таблица 2

Содержание свободных аминокислот в ферментолизатах зернового сырья

Table 2

Free Amino-Acid Content in Grain Raw-Material Fermentolysates

Аминокислота, %	Исходное сырьё без обработки	Ферментолизат пшеницы
Аспарагин	0,168	0,190
Треонин	0,272	0,660
Серин	0,054	0,350
Глутаминовая кислота	0,141	0,395
Пролин	0,044	0,390
Глицин	0,022	0,080
Аланин	0,027	0,165
Валин	0,340	0,415
Метионин	0,190	0,280
Изолейцин	0,094	0,240
Лейцин	0,380	0,620
Гистидин	0,304	0,890
Лизин	0,063	0,150
Триптофан	0,290	0,580

Примечание. Адаптировано из: Rimareva et al. (2017); Соколова и др. (2022).

Note. Adapted from Rimareva et al. (2017); Sokolova et al. (2022).

Е.М. Серб

жение биокатализа с экструзией (Шариков и др., 2020; Соколова и др., 2022). Наряду с ферментативным гидролизом рассматривают микробную трансформацию микромицетами-продуцентами гидролаз (Серб и др., 2021a; Serba et al., 2021a) и закваски на молочнокислых бактериях и дрожжах: брожение теста с *Lactobacillus* сопровождается ростом содержания свободного пролина, глутаминовой и аспарагиновой кислот, что указывает на возможное снижение количества иммунореактивных пептидов (Di Cagno et al., 2002; Шариков и др., 2020; Меренкова и Петрушенко, 2025).

Молочное и соевое сырьё

Для гипоаллергенной молочной продукции установлена связь степени протеолиза пептидных фракций с их антигенностью и биологической активностью (антиоксидантной, антимикробной, антимутагенной) (Кручинин и Агаркова, 2020; Halavach et al., 2020, 2021); отработан и непрерывный гидролиз молочных белков в мембранных реакторах (Ryazantseva et al., 2021); казеиновые и глютеиновые фракции применяют для получения функциональных ингредиентов (Красноштанова и Шульц, 2022; Prikhodko & Krasnoshtanova, 2023), а ферментированные молочные продукты сложного сырьевого состава проявляют эмерджентные свойства (Соколова

Таблица 3

Содержание незаменимых аминокислот в белках исходного соевого сырья и ферментированных субстратов, г/100 г белка

Table 3

Essential Amino-Acid Content in the Proteins of the Initial Soy Raw Material and in Fermented Substrates (g per 100 g of protein)

Аминокислота	Эталон FAO/ВОЗ	Исходная среда	Биокатали- тическая конверсия	Микроб- ная кон- версия
Валин	5,0	4,11±0,19	4,21±0,18	5,60±0,21
Изолейцин	4,0	4,16±0,18	4,05±0,16	3,89±0,16
Лейцин	7,0	7,03±0,32	7,02±0,34	4,04±0,15
Лизин	5,5	5,28±0,22	5,65±0,21	7,17±0,32
Метионин	3,5	1,17±0,07	1,19±0,02	2,65±0,12
Треонин	4,0	3,26±0,17	3,48±0,15	3,92±0,16
Фенилаланин	6,0	0,28±0,01	0,67±0,03	2,16±0,09
Триптофан	1,0	1,07±0,06	1,21±0,06	15,40±0,64
Всего незаме- нимых АК	36,0	26,36±0,92	27,48±1,21	44,83±2,12

Примечание. Адаптировано из: Серб и др. (2021a); Serba et al. (2021a).

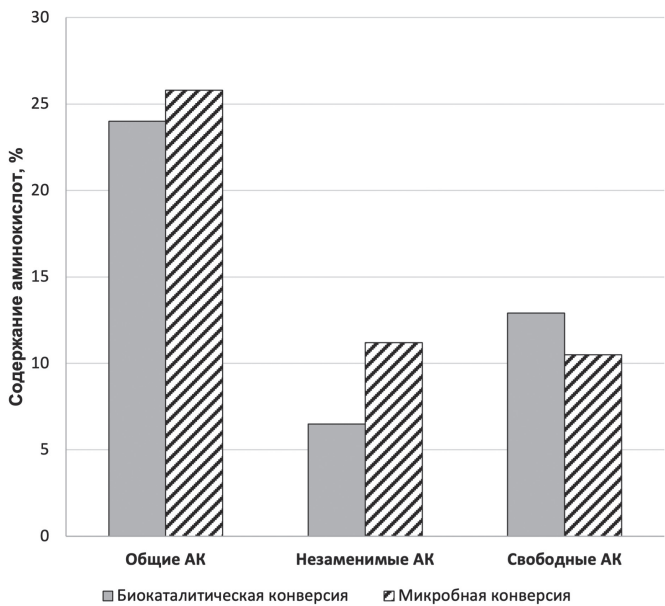
Note. Adapted from Serba et al. (2021a); Serba et al. (2021a).

Рисунок 1

Содержание аминокислот в ферментированной сое после биокаталитической и микробной конверсии

Figure 1

Amino-Acid Content in Fermented Soy after Biocatalytic and Microbial Conversion



Примечание. Адаптировано из Серб и др. (2021a); Serba et al. (2021a).

Note. Adapted from Serba et al. (2021a); Serba et al. (2021a).

и Федотова, 2023). На сое биокаталитические и биосинтетические процессы повышают растворимость белков и снижают иммунореактивность, а продукты приобретают новые вкусовые и медико-биологические свойства (Cao et al., 2019; Сидорова и др., 2019; Серб и др., 2023a). Сравнение двух способов ферментации сои показало, что микробная конверсия с участием *Aspergillus oryzae* повышает содержание незаменимых аминокислот в 1,7 раза, прежде всего лизина, метионина, фенилаланина и триптофана (Рисунок 1, Таблица 3); аминокислотный скор ряда незаменимых кислот в гидролизате превысил эталон FAO/ВОЗ (Серб и др., 2021a; Serba et al., 2021a).

Микробная биомасса

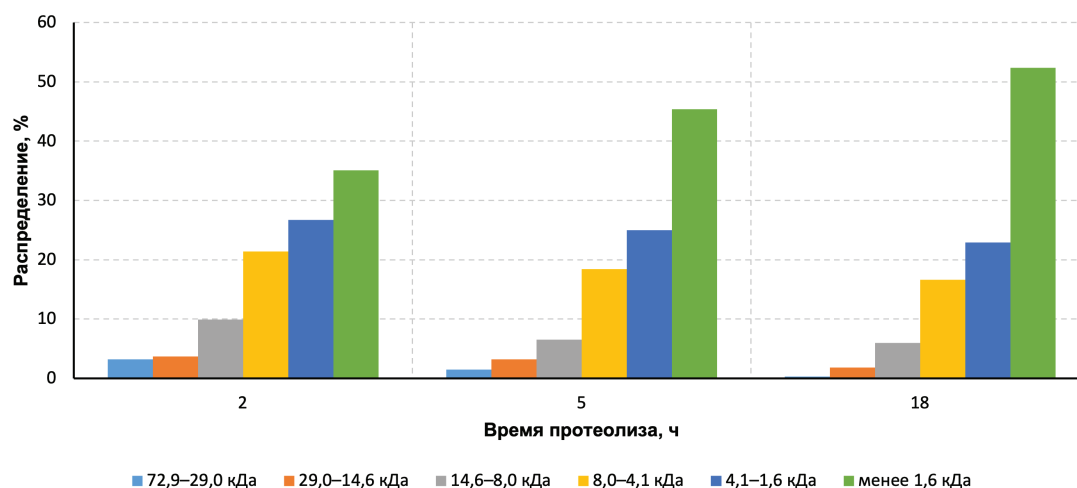
Биокаталитическая конверсия белков микробного сырья дает низкомолекулярные пептиды и свободные аминокислоты; молекулярно-массовое распределение пептидов в ходе ферментативной деструкции представлено на Рисунке 2 (Serba et al., 2020b). На основе деструкции дрожжевой и грибной биомассы создана

Рисунок 2

Молекулярно-массовое распределение пептидов в процессе ферментативной деструкции белков микробной биомассы, %

Figure 2

Molecular-weight distribution of peptides during the enzymatic degradation of microbial-biomass proteins, %



Примечание. Адаптировано из Serba et al. (2020b).

Note. Adapted from Serba et al. (2020b).

линейка белково-аминокислотных ингредиентов и БАД (Серба и др., 2020с, 2022а). Клинические испытания ферментоллизатов микробной биомассы подтвердили их эффективность в комплексной терапии больных аллергическими заболеваниями, в том числе атопическим дерматитом (Римарева и др., 2019; Serba et al., 2021b; Ревякина и др., 2022).

Функциональные свойства

Ряд авторов связывает с ферментированными продуктами противоопухолевые свойства (подавление роста раковых клеток через апоптоз и стимуляцию иммунитета) за счет биоактивных пептидов и фенольных соединений (Devanthi & Gkatzionis, 2019; Tasdemir & Sanlier, 2020; Serba et al., 2021b), оговаривая при этом недостаточность данных о минорных биоактивных составляющих. Ферментация пробиотическими культурами повышает сохранность и функциональность продуктов: метаболиты с повышенным синтезом экзополисахаридов рассматривают как биокорректоры, улучшающие адгезию лакто- и бифидобактерий (Пожидаева и др., 2023), а пробиотические закваски обогащают хлеб ну-

триентами и продлевают срок хранения (Dean et al., 2020; Меренкова и Петрушенко, 2025). Доказательный статус пробиотиков в медицинской практике остается предметом отдельного критического обсуждения (Плотникова и Захарова, 2025), а современные подходы к их применению включают инкапсуляцию пробиотических клеток и биоактивных соединений (Bazzaz et al., 2025). Расширяется и ассортимент: ферментированные напитки антиоксидантной направленности на зерновой основе (Меренкова и Резанова, 2022) и натуральные ингредиенты из биотехнологически модифицированного растительного сырья (Соколова и др., 2025b).

Доказательная база блока имеет выраженный перекос в сторону *in vitro* и *ex vivo*: снижение аллергенности подтверждается главным образом измерением молекулярной массы пептидов и аминокислотного состава, тогда как контролируемых клинических испытаний на людях с пищевой аллергией крайне мало. Исключением являются работы Ревякиной с соавторами (2022) и Serba et al. (2021b), но и в них размер выборки и дизайн описаны недостаточно полно. Утверждения о противоопухолевых и иммуномодулирующих свойствах остаются преи-

мущественно гипотетическими: ссылки идут на обзоры, а оригинальных исследований с демонстрацией эффектов *in vivo*, тем более на людях, в выборке практически нет. Таким образом, наиболее разработаны методы ферментативного гидролиза белков зернового, молочного и соевого сырья, а клиническая часть доказательной базы остается фрагментарной.

Фортификация микроорганизмов эссенциальными соединениями

Этот блок уступает остальным по числу публикаций, но выделен в самостоятельное направление: авторы рассматривают его как отдельную инновацию, а использование микробной биомассы в качестве матрицы для встраивания нутриентов (в отличие от прямой фортификации продуктов) меняет форму их представленности и, как предполагается, повышает биодоступность. Основной модельный объект — непатогенные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, выбор которых объясняют низкой осмочувствительностью, лабильностью к внешним воздействиям и высоким потенциалом целевого метаболического ответа (Серб и др., 2020b; Jordá & Puig, 2020).

Необходимость фортификации авторы обосновывают распространенностью дефицита микроэлементов: около 32 % населения испытывает недостаток эссенциальных микроэлементов, прежде всего железа, меди, цинка и хрома; дефицит железа и меди — основная причина железодефицитной анемии (около 20 % населения мира и порядка 39 % россиян), а недостаток цинка и хрома относят к факторам риска сахарного диабета II типа (Ayele et al., 2021; Dubey et al., 2020; Kumar et al., 2022; Соколова и др., 2025a). Традиционное обогащение готовых продуктов неорганическими солями признается малоэффективным из-за плохого усвоения, тогда как фортификация микроорганизмов переводит микроэлементы в органическую, предположительно более биодоступную форму (Król et al., 2017; Zhang et al., 2018; Krausova et al., 2021).

Описаны два способа обогащения. При прижизненном обогащении клетки культивируют на средах с микроэлементами в дозировках, не угнетающих рост, но стимулирующих синтез белка на 20–30 % (Серб и др., 2020b; Соколова и др., 2024; Юраскина и др., 2021). При пост-культивационной фортификации микроэлементы вводят в инактивированные клетки после ферментативной де-

струкции, что повышает степень встраивания на 38–89 % в зависимости от элемента; исследована и возможность сочетанного обогащения парами (Fe + Cu) и (Zn + Cr), при котором содержание микроэлементов покрывает свыше 15 % физиологической нормы (Серб и др., 2022a; Соколова и др., 2024, 2025a). Встраивание подтверждают методом молекулярно-массового распределения: основная часть микроэлементов ассоциирована с низкомолекулярными фракциями, что трактуют как переход из неорганической формы в органическую (Юраскина и др., 2023; Соколова и др., 2025a).

Именно эта трактовка и составляет уязвимое место направления. Доказательства «перехода в органическую форму» косвенны: молекулярно-массовое распределение показывает, с какими фракциями ассоциированы микроэлементы, но не доказывает ни ковалентной связи с органическими молекулами, ни повышенной биодоступности; прямые методы (EXAFS-спектроскопия, изотопная метка) не применялись. Исследования биодоступности *in vivo* единичны и выполнены на животных (Król et al., 2017; Zhang et al., 2018; Krausova et al., 2021), причем сравнивались разные формы микроэлементов вообще, а не именно те, что получены по описанным протоколам фортификации дрожжей; данных на людях нет. Отсутствуют и результаты токсикологической оценки при длительном применении и анализа возможных антагонизмов при сочетанном приеме пар микроэлементов. Технологические параметры проработаны детально, но ключевые утверждения об инновационной ценности подхода пока не имеют прямых доказательств: потенциал направления следует оценивать как многообещающий, но требующий верификации более строгими методами.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ 130 публикаций за 2015–2025 годы выявил отчетливую асимметрию в разработанности четырех направлений (Таблица 4). Наиболее полные данные, включающие промышленные апробации, относятся к биокаталитической переработке зернового сырья, что является следствием многолетней традиции бродительных производств. В трех других блоках преобладают лабораторные результаты, а свидетельства эффективности в условиях, приближенных к промышленным, единичны или отсутствуют.

Е.М. Сербя

Таблица 4
Сводная оценка доказательной базы по четырём направлениям пищевой биотехнологии

Table 4
Summary Appraisal of the Evidence Base across the Four Directions of Food Biotechnology

Направление	Достигнутый масштаб	Независимое воспроизведение	Данные о безопасности	Подтверждение <i>in vivo</i> / клин.	Уровень доказательности
Генная и клеточная инженерия	Лабораторный	Единичное (преим. обзоры)	Фрагментарные	Практически отсутствует	Низкий
Биокаталитическая переработка зернового сырья	Промышленный	Множественное	Есть (методология контроля ФП)	Частичное (бродильные производства)	Высокий
Ферментация: снижение аллергенности и функц. продукты	Лабораторный, отд. пилотный	Умеренное	Ограниченные	Единичные клин. испытания	Средний/низкий
Фортификация микроорганизмов	Лабораторный	Умеренное	Отсутствуют (долгосрочная)	Только на животных	Низкий

Примечание. Составлено автором по результатам анализа выборки; категории отражают экспертную классификацию утверждений по степени обоснованности.
Note. Compiled by the author from the results of the analysis; the categories reflect the expert classification of statements by degree of substantiation.

Все четыре блока объединяют три сквозных ограничения. Во-первых, эксперименты выполнены преимущественно в лабораторном масштабе, а данные о воспроизводимости при переходе к пилотным установкам практически отсутствуют. Во-вторых, дизайн исследований (контрольные группы, рандомизация, ослепление) описан фрагментарно или не описан вовсе. В-третьих, систематические исследования безопасности новых объектов (рекомбинантные штаммы, культивируемые клетки, гидролизаты нетрадиционного сырья, фортифицированные микроорганизмы) не представлены. Дополнительный признак — отсутствие в выборке работ с отрицательными результатами, указывающее на публикационное смещение.

Расхождение между декларациями и доказательствами

Между тоном многих обзорных публикаций, где пищевая биотехнология предстает областью на пороге масштабных технологических перемен, и фактической доказательной базой оригинальных исследований обнаруживается систематическое расхождение. Особенно заметно оно в двух областях. В генной и клеточной инженерии обзоры обсуждают промышленное производство культивируемого мяса и рекомбинантных белков молока (Kreis, 2019; Kumar et al., 2021), тогда как оригинальных работ, где такие продукты получены и проверены применительно к российским условиям, в выборке практически нет, соответственно, утверждения о скорой

промышленной реализации остаются гипотетическими. В области противоопухолевых свойств ферментированных продуктов обзоры обсуждают потенциал биоактивных пептидов (Devanthi & Gkatzionis, 2019; Tasdemir & Sanlier, 2020), но исследований, подтверждающих эти эффекты на биологических моделях, не обнаружено, и сами авторы признают дефицит данных.
Это расхождение не является следствием недобросовестности: оно воспроизводит закономерность академической коммуникации, при которой обзоры обобщают и экстраполируют, а оригинальные работы фиксируют конкретные, часто ограниченные результаты. Проблема возникает там, где читатель не различает эти жанры и принимает обсуждаемый потенциал за доказанный факт.

Факторы, объясняющие выявленный разрыв

Сохранение разрыва между лабораторными данными и промышленной применимостью объясняют по меньшей мере три обстоятельства. Первое представляет собой результат публикационного смещения: отрицательные результаты публикуются реже, исследователь с меньшей вероятностью направляет в журнал данные, не подтверждающие эффективность метода, и рецензируемая литература систематически репрезентует положительные исходы. Это общая черта научной коммуникации, и при интерпретации обзорных данных ее необходимо учитывать. Второе — асимметрия требо-

ваний к доказательствам: для публикации достаточно показать, что метод работает в контролируемых условиях, тогда как для внедрения нужно доказать его работоспособность в реальном производстве, безопасность, экономическую целесообразность и масштабируемость (Heux et al., 2015; Pokataiev et al., 2023; Yuan et al., 2022). Третье — испытания безопасности новых штаммов, культивируемых клеток и нетрадиционного сырья дороги и длительны, а их результаты чаще освещают в отчетах для регуляторов и патентах, чем в рецензируемых журналах (Kumar et al., 2021; Зайцева и др., 2023); поскольку настоящий обзор ограничен рецензируемой литературой, часть таких данных могла остаться вне поля зрения.

Ограничения

Полученные выводы необходимо интерпретировать с учетом ряда ограничений. Поиск источников не охватывал патентные базы, диссертации, технические отчеты и неопубликованные клинические испытания, в которых могут содержаться данные о безопасности и масштабировании. Отсюда, заключение об их дефиците относится только к открытой рецензируемой литературе. Формальная оценка качества по стандартизованным шкалам (GRADE, QUADAS) не проводилась ввиду гетерогенности дизайнов и исходов, а классификация утверждений по степени обоснованности носила экспертный характер. Отбор и анализ выполнены одним исследователем, что исключает оценку межэкспертной надежности. Наконец, в обзор включены только публикации на русском и английском языках, а «серая» литература сознательно исключена, что могло привести к недоучету отрицательных результатов.

Практическая значимость

Для планирования будущих исследований из проведенного анализа вытекает несколько следствий. Если конечной целью является промышленное внедрение, работу целесообразно планировать с учётом последующего масштабирования, уже на ранней стадии фиксируя значимые для пилотных испытаний параметры, такие как выход целевого продукта, стабильность процесса, экономические показатели. Данные о безопасности не должны оставаться в разделе «перспективы»: включение

токсикологических, микробиологических и аллергологических испытаний в публикацию разумно считать обязательным, а не факультативным. Наконец, публикация отрицательных результатов заслуживает не меньшего внимания, чем положительных, пока эта практика не станет распространенной, представление об эффективности методов будет оставаться завышенным.

Для решений о внедрении проведенный анализ дает основание различать перспективность направления и его готовность к производству: подтвержденная лабораторными работами перспективность не эквивалентна промышленной зрелости. Наиболее уязвимы решения в трех точках, это переход от лабораторных данных к пилотным испытаниям, отсутствие систематических исследований безопасности и неподтвержденная биодоступность фортифицированных продуктов. Именно они требуют повышенного внимания при оценке инвестиционных проектов. Регуляторным органам можно рекомендовать более четкую дифференциацию требований к лабораторному прототипу, пилотной партии и промышленному образцу с явной фиксацией этих различий в нормативных документах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная систематизация позволяет зафиксировать, что карта исследований в сфере пищевой биотехнологии, какой она предстает в оригинальных исследованиях, заметно сдержаннее оптимистичного тона обзорной литературы. Из четырех рассмотренных направлений лишь биокаталитическая переработка зернового сырья прошла путь от лаборатории до производства. Остальные три накопили обширный лабораторный материал, но несопоставимый по объему массив данных о безопасности, биодоступности и клинической эффективности.

Итог анализа указывает, что в исследованиях необходимо стремиться не к умножению новых объектов, а к строгой проверке уже заявленных, то есть не к масштабированию, а к систематической оценке безопасности и публикации в том числе отрицательных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- Аксенова, Л.М., & Римарева, Л.В. (2017). Направленная конверсия белковых модулей пищевых продуктов животного и растительного происхождения. *Вестник Российской академии наук*, 87(4), 355–357.
- Амелякина, М.В., Иванов, В.В., & Шариков, А.Ю. (2020). Влияние факторов дозировки глюкоамилазы и времени гидролиза на декстрозный эквивалент высококонцентрированных глюкозных сиропов экструдированного крахмала. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 8(4), 22–29. <https://doi.org/10.14529/food200403>
- Волкова, Г.С., Соколова, Е.Н., Ионов, В.В., Толокнова, А.А., & Серба, Е.М. (2023). Обоснование выбора комплекса ферментов для биокаталитической обработки жмыха рябины черноплодной. *Пищевая промышленность*, (5), 23–25. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.006>
- Гришин, Д.В., Подобед, О.В., Гладиллина, Ю.А., Покровская, М.В., Александрова, С.С., Покровский, В.С., & Соколов, Н.Н. (2017). Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности и кормопроизводстве. *Вопросы питания*, 86(3), 19–31.
- Громов, Д.А., Борисова, А.В., & Бахарев, В.В. (2021). Пищевые аллергены и способы получения гипоаллергенных пищевых продуктов. *Техника и технология пищевых производств*, (2), 232–247. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-232-247>
- Зайцева, Н.В., Зеленкин, С.Е., Шур, П.З., & Суворов, Д.В. (2023). Идентификация потенциальных опасностей и анализ критических контрольных точек производства культивируемого мяса (мяса in vitro). *Вопросы питания*, 92(6), 45–53. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-6-45-53>
- Ильина, Н.И. (2022). Аллергия в России сегодня: проблемы и решения. *Российский аллергологический журнал*, 19(3), 285–288. <https://doi.org/10.36691/RJA1566>
- Карлова, Н.А., Паюрова, Е.Н., & Галактионова, Е.А. (2023). Оценка потерь продовольствия на этапе сельскохозяйственного производства в Российской Федерации. *Вопросы экономики*, (5), 91–105. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-5-91-105>
- Касумова, А.А. (2024). Получение биологически активных добавок из вторичного сырья винодельческой промышленности. *Химия растительного сырья*, (2), 385–393. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240213470>
- Ковальчук, М.В., Нарайкин, О.С., & Яцисина, Е.Б. (2019). Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы. *Вестник Российской академии наук*, 89(5), 455–465.
- Красноштанова, А.А., & Шульц, Л.В. (2022). Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья. *Химия растительного сырья*, (4), 299–309. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220410952>
- Кручинин, А.Г., & Агаркова, Е.Ю. (2020). Биологически активные пептиды молока: обзор. *Пищевая промышленность*, (12), 92–96. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10151>
- Курбатова, Е.И., Соколова, Е.Н., Борщева, Ю.А., Давыдкина, В.Е., Римарева, Л.В., Поляков, В.А., & Погоржельская, Н.С. (2017). Микромицет *Aspergillus foetidus* — продуцент комплекса гидролитических ферментов. *Микология и фитопатология*, (1), 34–40.
- Ладнова, О.Л., Корячкина, С.Я., Корячкин, В.П., & Большакова, Л.С. (2023). Разработка технологии функциональных хлебобулочных изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 576–590. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2458>
- Ленчук, Е.Б. (2021). Россия в мировом процессе научно-технологического развития. *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*, 14(4), 72–91. <https://doi.org/10.23932/2542-0240-2021-14-4-5>
- Мезенова, О.Я. (2023). Современная пищевая биотехнология: основные проблемы и вызовы. *Вестник Международной академии холода*, (1), 35–46. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2023-22-1-35-46>
- Мезенова, О.Я., Тишлер, Д., Агафонова, С.В., Мезенова, Н.Ю., Волков, В.В., Бараненко, Д.А., Гримм, Т., & Ридель, С. (2021). Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей. *Вестник Международной академии холода*, (1), 46–58. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58>

- Меренкова, С.П., & Резанова, М.А. (2022). Технологические аспекты получения ферментированных напитков антиоксидантной направленности на основе зернового сырья. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 10(1), 76–85. <https://doi.org/10.14529/food220109>
- Меренкова, С.П., & Петрушенко, П.С. (2025). Анализ биотехнологических процессов при созревании ржаных заквасок на основе пробиотических микроорганизмов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 13(2), 103–111. <https://doi.org/10.14529/food250211>
- Милентьева, И.С., Давыденко, Н.И., & Расщепкин, А.Н. (2020). Подбор рабочих параметров для проведения направленного протеолиза казеина с целью получения биопептидов. *Техника и технология пищевых производств*, 50(4), 726–735. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-726-735>
- Мирзаев, Д.Д., & Эргашев, А.М. (2023). Использование пищевых технологий для разработки альтернативных источников белка. *Universum: технические науки*, 9(114). <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15974>
- Носова, М.В. & Дремучева, Г.Ф. (2023). Влияние мультиэнзимных композиций на качество хлеба при ускоренной технологии. *Пищевая промышленность*, (5), 48–50. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.013>
- Носова, М.В., Дремучева, Г.Ф. & Костюченко, М.Н. (2020). Исследование технологических свойств мультиэнзимных композиций на основе отечественных ферментных препаратов в производстве хлебобулочных изделий. *Всё о мясе*, (55), 242–245. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-55-242-245>
- Плотникова, Е.Ю., & Захарова, Ю.В. (2025). Пробиотики в современной медицинской практике: от мифов к научным доказательствам. *Медицинский совет*, 19(11), 197–204. <https://doi.org/10.21518/ms2025-278>
- Пожидаева, Е.А., Дымовских, Я.А., & Гребенникова, М.С. (2023). Разработка пробиотических пищевых комплексов с повышенным синтезом экзополисахаридов. *Пищевая промышленность*, (5), 13–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.003>
- Попова, Е.А., Шестакова, А.А., Суркова, Д.Е., & Осмоловский, А.А. (2024). Анализ профиля секретируемых протеолитических ферментов микромицета *Aspergillus ochraceus* ВКМ F-4104D. *Биотехнология*, 40(2), 52–61. <https://doi.org/10.56304/S023427582402008X>
- Ревякина, В.А., Серба, Е.М., Кувшинова, Е.Д., Ларькова, И.А., Римарева, Л.В., Юраскина, Т.А., & Мухортых, В.А. (2022). Влияние ферментолизата непатогенных (пивных) дрожжей (Протамин К) на показатели физического развития массы тела и роста больных пищевой аллергией. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*, 67(4), 220. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49438527>
- Римарева, Л.В., Серба, Е.М., Соколова, Е.Н., Борщева, Ю.А., & Игнатова, Н.И. (2017). Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности. *Вопросы питания*, 86(5), 63–74.
- Римарева, Л.В., Серба, Е.М., Оверченко, М.Б., Игнатова, Н.И., Кривова, А.Ю., Курбатова, Е.И., & Соколова, Е.Н. (2018). Многоцелевое использование гриба *Aspergillus oryzae* — продуцента комплекса гидролаз для пищевой промышленности. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, (5), 29–33.
- Римарева, Л.В., Серба, Е.М., Оверченко, М.Б., Таджикова, П.Ю., Серба, Е.В., Кривова, А.Ю., Калинина, А.Г., & Зорин, С.Н. (2019). Научно-экспериментальное обоснование безопасности биотехнологической продукции для пищевой промышленности. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, (1), 40–43. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/1/40-43>
- Римарева, Л.В., Оверченко, М.Б., Игнатова, Н.И., Таджикова, П.Ю., & Серба, Е.М. (2020). Некоторые аспекты методологии контроля безопасности, качества и подлинности ферментных препаратов для пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*, (4), 48–55. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10044>
- Римарева, Л.В., Оверченко, М.Б., Серба, Е.М., Игнатова, Н.И., & Шелехова, Н.В. (2021a). Конверсия полимеров зерна пшеницы и кукурузы под влиянием фитолитических и протеолитических ферментов. *Сельскохозяйственная биология*, 56(2), 374–383. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.2.374rus>
- Римарева, Л.В., Серба, Е.М., Оверченко, М.Б., Игнатова, Н.И., Погоржельская, Н.С., & Кривова, А.Ю. (2021b). Роль ферментативного катализа в производстве спирта. *Пищевая промышленность*, (9), 50–52. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.9.9.021>
- Римарева, Л.В., Крючкова, Е.Р., Серба, Е.М., Игнатова, Н.И., Погоржельская, Н.С., & Оверченко, М.Б. (2024). Биотехнологические аспекты переработки нетрадиционного зернового сырья для производства спиртных напитков. *Пищевая промышленность*, (4), 53–59. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.4.4.010>

- Рудакова, Л.В., & Рудаков, О.Б. (2022). Перспективы применения биологически активных добавок из съедобных насекомых в России. *Прикладные информационные аспекты медицины*, 25(3), 78–83. <https://doi.org/10.18499/2070-9277-2022-25-3-78-83>
- Сарсадских, А.В., & Эйриян, Н.А. (2025). Перспективы развития глобального рынка биотехнологий: технологические инновации и региональные тренды. *Фундаментальные исследования*, (3), 84–88. <https://doi.org/10.17513/fr.43800>
- Серба, Е.М., Римарева, Л.В., Курбатова, Е.И., Волкова, Г.С., Поляков, В.А., & Варламов, В.П. (2017). Исследование процесса ферментативного гидролиза биомассы дрожжей для создания пищевых ингредиентов с заданным фракционным составом. *Вопросы питания*, 86(2), 76–84.
- Серба, Е.М. (2018). Актуальные направления пищевой биотехнологии для повышения качества и хранимостоспособности продуктов питания. *Пищевая промышленность*, (6), 8–18.
- Серба, Е.М., Оверченко, М.Б., Римарева, Л.В., Фролова, М.А., Албулов, А.И., Гринь, С.А., & Серба, Е.В. (2019a). Биологически активные добавки для животных на основе конверсии вторичных биоресурсов микробного происхождения. *Ветеринария и кормление*, (5), 22–24. <https://doi.org/10.30917/АТТ-VK-1814-9588-2019-5-7>
- Серба, Е.М., Оверченко, М.Б., Игнатова, Н.И., Таджикова, П.Ю., & Римарева, Л.В. (2019b). К вопросу о контроле качества ферментных препаратов для пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*, (4), 87–88. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10044>
- Серба, Е.М., Римарева, Л.В., Оверченко, М.Б., Игнатова, Н.И., Шелехова, Н.В., Погоржельская, Н.С., & Абрамова, И.М. (2020a). Биотехнологические аспекты получения функциональных ингредиентов на основе конверсии биомассы *Saccharomyces cerevisiae* 985-T. *Биотехнология*, 36(4), 54–61. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2020-36-4-34-41>
- Серба, Е.М., Соколова, Е.Н., Римарева, Л.В., Фурсова, Н.А., Волкова, Г.С., Курбатова, Е.И., Юраскина, Т.В., & Абрамова, И.М. (2020b). Перспективные расы хлебопекарных дрожжей для получения пищевых ингредиентов, обогащенных селеном и хромом. *Вопросы питания*, 89(6), 48–57. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10078>
- Серба, Е.М., Таджикова, П.Ю., Римарева, Л.В., Оверченко, М.Б., & Игнатова, Н.И. (2020c). Получение пептидно-аминокислотных ингредиентов на основе грибной биомассы *Aspergillus oryzae*. *Микология и фитопатология*, 54(1), 23–32. <https://doi.org/10.31857/S0026364820010079>
- Серба, Е.М., Таджикова, П.Ю., Игнатова, Н.И., Оверченко, М.Б., Погоржельская, Н.С., & Римарева, Л.В. (2021a). Особенности биоконверсии соевого сырья в ферментированные продукты. *Биотехнология*, 37(5), 41–62. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2021-37-5-41-62>
- Серба, Е.М., Римарева, Л.В., Оверченко, М.Б., Игнатова, Н.И., Медриш, М.Э., Павлова, А.А., & Соколова, Е.Н. (2021b). Подбор мультиэнзимной композиции и условий подготовки концентрированного зернового суслу. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 11(3), 384–392. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-384-392>
- Серба, Е.М., Юраскина, Т.В., Римарева, Л.В., Ревякина, В.А., Медриш, М.Э., & Погоржельская, Н.С. (2022a). Ферментолит *Saccharomyces cerevisiae*: научно-практическое обоснование использования в качестве биологически активной добавки. *Биотехнология*, 38(4), 107–113. <https://doi.org/10.56304/S0234275822040123>
- Серба, Е.М., Римарева, Л.В., Оверченко, М.Б., Игнатова, Н.И., & Погоржельская, Н.С. (2022b). Роль биокатализа в технологиях переработки зернового сырья. *Пищевая промышленность*, (5), 13–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.003>
- Серба, Е.М., Юраскина, Т.В., Римарева, Л.В., Таджикова, П.Ю., Соколова, Е.Н., & Волкова, Г.С. (2023a). Микробная биомасса как биоресурс функциональных пищевых ингредиентов: обзор. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 426–444. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2446>
- Серба, Е.М., Шариков, А.Ю., Оверченко, М.Б., Римарева, Л.В., Игнатова, Н.И., Серба, В.В., & Машенцева, Н.Г. (2023b). Получение концентрированных ферментных препаратов для конверсии белка и полисахаридов сельскохозяйственного сырья в биотехнологических производствах. *Пищевая промышленность*, (4), 46–50. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.4.4.008>

- Сидорова, Ю.С., Зорин, С.Н., Петров, Н.А., Фролова, Ю.В., Кочеткова, А.А., & Мазо, В.К. (2019). Сравнительная оценка эффектов белка сои и его ферментализата на липидный обмен крыс-самцов линии Wistar с индуцированным ожирением. *Вопросы питания*, 88(4), 18–24.
- Синицын, А.П., Синицына, О.А., & Рожкова, А.М. (2022). Получение промышленно важных ферментов на основе экспрессионной системы гриба *Penicillium verruculosum*. *Биотехнология*, 38(2), 14–25. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2020-36-6-24-41>
- Синицын, А.П., Синицына, О.А., Рожкова, А.М., Рубцова, Е.А., Шашков, И.А., Сатрутдинов, А.Д., Цурикова, Н.В., Костылева, Е.В., Середа, А.С., & Великорецкая, И.А. (2023). Возможности промышленного производства ферментов: создание микроорганизмов — продуцентов технических ферментов. *Пищевая промышленность*, (5), 26–30. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.007>
- Синицына, О.А., Рубцова, Е.А., Синельников, И.Г., Осипов, Д.О., Рожкова, А.М., Матыс, В.Ю., Бубнова, Т.В., Немашкалов, В.А., Середа, А.С., Щербакова, Л.А., & Синицын, А.П. (2020). Создание продуцента хитиназы и использование её препарата для разрушения клеточной стенки микроскопических грибов. *Биохимия*, 85(6), 840–848. <https://doi.org/10.31857/S0320972520060093>
- Сновская, М.А., Семикина, Е.Л., Макарова, С.Г., Ерешко О.А., Ясаков, Д.С., & Галимова, А.А. (2022). Возрастные особенности сенсибилизации к белку куриного яйца у детей с пищевой аллергией. *Российский аллергологический журнал*, 19(4), 460–471. <https://doi.org/10.36691/RJA1565>
- Соколова, Е.Н., Шариков, А.Ю., Юраскина, Т.В., & Серба, Е.М. (2022). Протеолиз белковых компонентов растительного сырья с высоким аллергенным потенциалом. *Вестник КрасГАУ*, (10), 207–214. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-207-214>
- Соколова, Е.Н., Серба, Е.М., Римарева, Л.В., Фурсова, Н.А., & Волкова, Г.С. (2024). Современные микробиологические подходы к получению штамма хлебопекарных дрожжей, перспективного для создания обогащенных пищевых ингредиентов. *Вестник КрасГАУ*, (7), 243–250. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-7-243-250>
- Соколова, Е.Н., Шариков, А.Ю., Фурсова, Н.А., Серба, Е.М., & Волкова, Г.С. (2025a). Биосовместимость микроэлементов для получения обогащенных пищевых ингредиентов. *Вестник КрасГАУ*, (8), 226–238. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-8-226-238>
- Соколова, Е.Н., Шариков, А.Ю., & Серба, Е.М. (2025b). Биотехнологическая модификация сушеного растительного сырья — инновационный способ получения натуральных пищевых ингредиентов. *Аграрно-пищевые инновации*, (2), 61–69. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2025-30-61-69>
- Соколова, О.В., & Федотова, О.Б. (2023). Некоторые аспекты создания ферментированных молочных продуктов сложного сырьевого состава с эмерджентными свойствами. *Пищевая промышленность*, (5), 42–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.011>
- Соколова, А.П., & Сухарева, О.А. (2024). Инновационные технологии как драйвер развития аграрных предприятий России. *Вестник Академии знаний*, (3), 390–396.
- Стоянова, Л.Г., Дбар, С.Д., & Полянская, И.С. (2022). Метабиотические свойства штаммов *Lactobacillus acidophilus*, входящих в комплексные закваски для производства пробиотических молочных продуктов. *Биотехнология*, 38(1), 3–12. <https://doi.org/10.56304/S0234275822010070>
- Степанов, В.И., Иванов, В.В., Шариков, А.Ю., Поливановская, Д.В., & Хабибулина, Н.В. (2017). Биокатализ экстрадированного крахмала в технологии мальтодекстрина. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (4), 8–12.
- Титова, Е.С., Шишкин, С.С. (2023). *Актуальные проблемы биоэкономики, роль постгеномных дисциплин*. Москва: ВАШ ФОРМАТ.
- Тышко, Н.В., Садыкова, Э.О., Шестакова, С.И., & Аксюк, И.Н. (2020). Новые источники пищи: от генно-инженерно модифицированных организмов к расширению биоресурсной базы России. *Вопросы питания*, 89(4), 100–109. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10046>
- Фауст, Е.А. (2015). *Основы биотехнологии: краткий курс лекций*. Саратов: Саратовский ГАУ.

- Филькин, С.Ю., Липкин, А.В., & Федоров, А.Н. (2024). Использование рекомбинантных белков в современной пищевой биотехнологии: обзор предметного поля. *FOOD METAENGINEERING*, 2(2), 48–74. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.2.46>
- Цыбулько, Н.С., & Мясникова, С.Б. (2020). Коллекция клеточных культур как альтернативный источник получения биологически активных веществ. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 23(2), 12–17. <https://doi.org/10.29296/25877313-2020-02-02>
- Чернуха, И.М., Машенцева, Н.Г., Вострикова, Н.Л. Ковалев, Л.И., Ковалева, М.А., & Афанасьев, Д.А. (2020). Образование биологически активных пептидов в мясном сырье под влиянием лизатов стартовых бактериальных культур. *Сельскохозяйственная биология*, 55(6), 1182–1203. <https://doi.org/10.15389/AGROBIOLOGY.2020.6.1182RUS>
- Шариков, А. Ю., Соколова, Е. Н., Амелякина, М. В., Юраскина, Т. В., Иванов, В. В., & Серб, Е. М. (2020). Разработка концепции производства снеков из пшеницы с элиминацией глютена биокаталитическим методом. *Вестник ВГУИТ*, 82(4), 77–83. <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-77-83>
- Шариков, А.Ю., Иванов, В.В., Амелякина, М.В., Середа, А.С., & Поливановская, Д.В. (2021). Биокатализ крахмала кукурузы термостабильной α -амилазой в двухшнековом экструдере. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 64–75. <http://doi.org/10.36107/spfp.2021.244>
- Шариков, А.Ю., Соколова, Е.Н., Волкова, Г.С., Куксова, Е.В., Амелякина, М.В., & Иванов, В.В. (2022). Процессы биокатализа и термопластической экструзии в технологии готовых к употреблению продуктов с использованием жмыхов плодово-ягодного сырья. *Биотехнология*, 38(4), 67–71. <https://doi.org/10.56304/S0234275822040135>
- Шишкина, Д.И., Штовхун, А.И., Клейн, Е.Э., & Беркетова, Л.В. (2022). Современные технологии производства альтернативного молока из растительных продуктов. *Вестник ВГУИТ*, 84(4), 141–148. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-4-141-148>
- Юраскина, Т.В., Соколова, Е.Н., Фурсова, Н.А., Андреева, С.С., & Серб, Е.М. (2021). Инновационные биотехнологические подходы при получении пищевых ингредиентов на основе обогащенных микроорганизмов. *Пищевая промышленность*, (9), 64–66. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.9.9.029>
- Юраскина, Т.В., Соколова, Е.Н., Фурсова, Н.А., & Серб, Е.М. (2023). Инновационный подход к обогащению пищевых продуктов с применением хлебопекарных дрожжей. *Пищевые системы*, 6(4), 554–560. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-554-560>
- Ayele, A., Haile, S.T., Alemu, D., & Kamaraj, M. (2021). Comparative utilization of dead and live fungal biomass for the removal of heavy metal: A concise review. *The Scientific World Journal*, (1), 1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/5588111>
- Bazzaz, S., Abbasi, A., Ghotbabad, A.G., Pourjafar, H., & Hosseini, H. (2025). Novel encapsulation approaches in the functional food industry: With a focus on probiotic cells and bioactive compounds. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 17(3), 1132–1170. <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10364-7>
- Bulakhov, A.G., Volkov, P.V., Rozhkova, A.M., Gusakov, A.V., Nemashkalov, V.A., Satrutdinov, A.D., & Sinitsyn, A.P. (2017). Using an inducible promoter of a gene encoding *Penicillium verruculosum* glucoamylase for production of enzyme preparations with enhanced cellulase performance. *PLoS One*, 12, e0170404. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170404>
- Cao, Z.-H., Green-Johnson, J.M., Buckley, N.D., & Lin, Q.-Y. (2019). Bioactivity of soy-based fermented foods: A review. *Biotechnology Advances*, 37(1), 223–238. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.12.001>
- Dean, S.N., Rimmer, M.A., Turner, K.B., & Phillips, D.A. (2020). *Lactobacillus acidophilus* membrane vesicles as a vehicle of bacteriocin delivery. *Frontiers in Microbiology*, 11, 710. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00710>
- Devanthi, P.V.P., & Gkatzionis, K. (2019). Soy sauce fermentation: Microorganisms, aroma formation, and process modification. *Food Research International*, 120, 364–374. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.010>
- Cagno, R.Di, Angelis, M.De, Lavermicocca, P., & Vincenzi, M. De (2002). Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(2), 623–633. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.2.623-633.2002>

- Dobermann, D., Swift, J.A., & Field, L.M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin*, 42(4), 293–308. <https://doi.org/10.1111/nbu.12291>
- Dubey, P., Thakur, V., & Chattopadhyay, M. (2020). Role of minerals and trace elements in diabetes and insulin resistance. *Nutrients*, 12(6), 1864. <https://doi.org/10.3390/nu12061864>
- Fernandes, R.A., Regateiro, F., Pereira, C., & Faria E. (2018). Anaphylaxis in a food allergy outpatient department: One-year review. *European Annals of Allergy and Clinical Immunology*, 50(2), 81–88. <https://doi.org/10.23822/EurAnnACI.1764-1489.45>
- Gautam, I., Yarava, J.R., Xu, Y., Li, R., Scott, F.J., Mentink-Vigier, F., Momany, M., Latgé, J.-P., & Wang, T. (2025). Comparative analysis of polysaccharide and cell wall structure in *Aspergillus nidulans* and *Aspergillus fumigatus* by solid-state NMR. *Carbohydrate Polymers*, 348(A), 122907. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122907>
- Gründling, A. (2021). Modifications of cell wall polymers in Grampositive bacteria by glycosylation. *Current Opinion in Microbiology*, 60, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2021.01.007>
- Halavach, T.M., Dudchik, N.V., Tarun, E.I., Zhygankov, V.G., Kurchenko, V.P., Romanovich, R.V., Khartitonov, V.D., & Asafov, V.A. (2020). Biologically active properties of hydrolysed and fermented milk proteins. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9(4), 714–720. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.4.714-720>
- Halavach, T.M., Savchuk, E.S., Bobovich, A.S., Dudchik, N.V., Tsygankow, V.G., Tarun, E.I., Yantsevich, A.V., Kurchenko, V.P., Kharitonov, V.D., & Asafov, V.A. (2021). Antimutagenic and antibacterial activity of β -cyclodextrin clathrates with extensive hydrolysates of colostrum and whey. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(2), 8626–8638. <https://doi.org/10.33263/BRIAC112.86268638>
- Hettinga, K., & Bijl, E. (2022). Can recombinant milk proteins replace those produced by animals? *Current Opinion in Biotechnology*, 75, 102690. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102690>
- Heux, S., Meynial-Salles, I., O'Donohue, M.J., & Dumon, C. (2015). White biotechnology: State of the art strategies for the development of biocatalysts for biorefining. *Biotechnology Advances*, 33, 1653–1670. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.08.004>
- Jeske, S., Zannini, E., & Arendt, E.K. (2022). Fermentation of plant-based proteins with *Aspergillus* species: Impact on nutritional and sensory properties. *Trends in Food Science & Technology*, 121, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.018>
- Jordá, T., & Puig, S. (2020). Regulation of ergosterol biosynthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *Genes*, 11(7), 795. <https://doi.org/10.3390/genes11070795>
- Kalebina, T.S., & Rekstina, V.V. (2019). Molecular organization of yeast cell envelope. *Molecular Biology*, 53(6), 850–861. <https://doi.org/10.1134/S0026893319060062>
- Kawaguchi, H., Takada, K., Elkasaby, T., Pangestu, R., Toyoshima, M., Kahar, P., Ogino, C., Kaneko, T., & Kondo, A. (2022). Recent advances in lignocellulosic biomass white biotechnology for bioplastics. *Bioresource Technology*, 344(B), 126165. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126165>
- Kępińska-Pacelik, J., & Biel, W. (2022). Insects in pet food industry — Hope or threat? *Animals*, 12(12), 1515. <https://doi.org/10.3390/ani12121515>
- Kluge, J., Terfehr, D., & Kück, U. (2018). Inducible promoters and functional genomic approaches for genetic engineering of filamentous fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, 6357–6372. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9115-1>
- Krausova, G., Kana, A., Vecka, M., Hyrslova, I., Stankova, B., Kantorova, V., Mrvikova, I., Huttli, M., & Malinska, H. (2021). In vivo bioavailability of selenium in selenium-enriched *Streptococcus thermophilus* and *Enterococcus faecium* in CD IGS rats. *Antioxidants*, 10(3), 463. <https://doi.org/10.3390/antiox10030463>
- Kreis, W. (2019). Exploiting plant cell culture for natural product formation. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 92, 216–225. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2019.092.030>
- Król, B., Słupczyńska, M., Kinal, S., Bodarski, R., Tronina, W., & Mońka, M. (2017). Bioavailability of organic and inorganic sources of chromium in broiler chicken feeds. *Journal of Elementology*, 22(1), 283–294. <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.1.1119>
- Kumar, P., Sharma, N., Sharma, S., Mehta, N., Verma, A.K., Chemmalar, S., & Sazili, A.Q. (2021). In-vitro meat: A promising solution for sustainability of meat sector. *Journal of Animal Science and Technology*, 63(4), 693–724. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e85>

- Kumar, S.B., Arnipalli, S.R., Mehta, P., Carrau, S., & Ziouzenkova, O. (2022). Iron deficiency anemia: Efficacy and limitations of nutritional and comprehensive mitigation strategies. *Nutrients*, 14(14), 2976. <https://doi.org/10.3390/nu14142976>
- Latgé, J.P., Henry, T., Aïmaniananda, V., Beauvais, A., Chou, S.F., Hansen, S.W., Fontaine, T., Mäkelä, M., Delaunay, A., d'Enfert, C., & Parrou, J.L. (2023). Cell wall of *Aspergillus fumigatus*: Variability and response to stress. *Journal of Fungi*, 9(10), 1023. <https://doi.org/10.3390/jof9101023>
- Nielsen, J., Tillegreen, C.B., & Petranovic, D. (2022). Innovation trends in industrial biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 40, 1160–1172. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.03.007>
- Nielsen, M.B., Meyer, S., & Arnau, J. (2024). The next food revolution is here: Recombinant microbial production of milk and egg proteins by precision fermentation. *Annual Review of Food Science and Technology*, 15, 173–187. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-072023-034256>
- Pinotti, L., Giromini, C., Ottoboni, M., Tretola, M., & Marchis, D. (2019). Review: Insects and former foodstuffs for upgrading food waste biomasses/streams to feed ingredients for farm animals. *Animal*, 13(7), 1365–1375. <https://doi.org/10.1017/S1751731118003622>
- Plaza-Díaz, J., Ruiz-Ojeda, F.J., Gil-Campos, M., & Gil, A. (2019). Mechanisms of action of probiotics. *Advances in Nutrition*, 10(1), 49–66. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy063>
- Pokataiev, P., Liezina, A., Petukhova, H., & Andriushchenko, A. (2023). The role of biotechnology in the development of the bioeconomy. *Acta Innovations*, (46), 18–33. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.46.2>
- Polyakov, V.A., Serba, E.M., Overchenko, M.B., Ignatova, N.I., & Rimareva, L.V. (2019). Effects of a complex phytase-containing enzyme preparation on the rye fermentation process. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 221–228. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-221-228>
- Popova, E., Titova, M., Tynykulov, M., Zakirova, R., Kulichenko, I., Prudnikova, O., & Nosov, A. (2023). Sustainable production of Ajuga bioactive metabolites using cell culture technologies: A review. *Nutrients*, 15(5), 1246. <https://doi.org/10.3390/nu15051246>
- Prikhodko, D.V., & Krasnoshtanova, A.A. (2023). Using casein and gluten protein fractions to obtain functional ingredients. *Foods and Raw Materials*, 11(2), 223–231. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-569>
- Rimareva, L.V., Sokolova, E.N., Serba, E.M., Borshchev, Y.A., Kurbatova, E.I., & Krivova, A.Y. (2017). Reduced allergenicity of foods of plant nature by the method of enzymatic hydrolysis. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(4), 2009–2015. <https://doi.org/10.13005/ojc/330452>
- Rimareva, L.V., Serba, E.M., Overchenko, M.B., Shelekhova, N.V., Ignatova, N.I., & Pavlova, A.A. (2022). Enzyme complexes for activating yeast generation and ethanol fermentation. *Foods and Raw Materials*, 10(1), 127–136. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-127-136>
- Ryazantseva, K.A., Agarkova, E.Yu., & Fedotova, O.B. (2021). Continuous hydrolysis of milk proteins in membrane reactors of various configurations. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 271–281. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-271-281>
- Serba, E.M., Pimenov, N.V., Mochalina, P.Yu., Overchenko, M.B., Borscheva, Yu.A., Sharikov, A.Yu., & Rimareva, L.V. (2020a). Production of *Aspergillus oryzae* RCAM 01133 biomass with increased protein and polysaccharides content using by-products of food industry. *Agronomy Research*, 18(1), 290–300. <https://doi.org/10.15159/ar.20.026>
- Serba, E.M., Rimareva, L.V., Overchenko, M.B., Ignatova, N.I., Tadzhibova, P.Yu., & Zorin, S.N. (2020b). Production of peptides and amino acids from microbial biomass in food and feed industries: biotechnological aspects. *Foods and Raw Materials*, 8(2), 268–276. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-268-276>
- Serba, E.M., Tadzhibova, P.Yu., Rimareva, L.V., & Overchenko, M.B. (2021a). Bioconversion of soy under the influence of *Aspergillus oryzae* strains producing hydrolytic enzymes. *Foods and Raw Materials*, 9(1), 52–58. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-52-58>
- Serba, E.M., Rimareva, L.V., Yuraskina, T.V., Sokolova, E.N., & Revyakina, V.A. (2021b). Biomedical and biotechnological aspects of the production of functional ingredients based on yeast biomass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 848, 012208. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012208>
- Shah, A.A., Totakul, P., Matra, M., Cherdthong, A., Hanboonsong, Y., & Wanapat, M. (2022). Nutritional composition of various insects and potential uses as alternative protein sources in animal diets. *Animal Bioscience*, 35(2), 317–331. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0447>

Е.М. Сербя

- Tasdemir, S. S., & Sanlier, N. (2020). An insight into the anticancer effects of fermented foods: A review. *Journal of Functional Foods*, 75, 104281. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104281>
- Treich, N. (2021). Cultured meat: promises and challenges. *Environmental and Resource Economics*, 79(1), 33–61. <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00551-3>
- Wilson, B.L., Pieterse, E., Sigge, G., & Hoffman, L.C. (2020). Insects as human food; from farm to fork. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(14), 5017–5022. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8860>
- Yuan, J.S., Pavlovich, M.J., Ragauskas, A.J., & Han, B. (2022). Biotechnology for a sustainable future: biomass and beyond. *Trends in Biotechnology*, 40(12), 1395–1398. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.09.020>
- Zhang, Z.-H., Wu, Q.-Y., Chen, C., Zheng, R., Chen, Y., Ni, J.-Z., & Song, G.-L. (2018). Comparison of the effects of selenomethionine and selenium-enriched yeast in the tripletransgenic mouse model of Alzheimer's disease. *Food and Function*, 9(7), 3965–3973. <https://doi.org/10.1039/C7FO02063E>

ОБ АВТОРЕ

Сербя Елена Михайловна, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора Всероссийского Научно-Исследовательского Института Пищевой Биотехнологии — филиал Федерального Государственного Бюджетного Учреждения Науки «Федеральный Исследовательский Центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (ВНИИПБТ — филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»), (111033, Российская Федерация, г. Москва, ул. Самокатная, д. 4-Б), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>, Scopus ID: 6508377541, Researcher ID: AAW-2866-2020, SPIN-код: 1887-3498, serbae@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR

Serba Elena Mikhailovna, Dr. Sci. (Biology), Docent, Corresponding Member of the RAS, Deputy Director for Research VNIIPBT is a branch of the Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology (111033, Russian Federation, Moscow, Samokatnaya street, 4B), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>, Scopus ID: 6508377541, Researcher ID: AAW-2866-2020, SPIN-code: 1887-3498, serbae@mail.ru