ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2451
https://elibrary.ru/IVKWII

Обзорная статья
https://fptt.ru

Микробиологическая контаминация продовольственного сырья и готовой пищевой продукции (аналитический обзор)

А. С. Хишов[1], Т. В. Балагула[2], О. И. Лаврухина[1,3,*], А. В. Третьяков[1], О. Е. Иванова[1], Е. С. Козеичева[1]

[1] *Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Москва, Россия*

[2] *Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору, Москва, Россия*

[3] *Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия*

Поступила в редакцию: 10.03.2023
Принята после рецензирования: 04.04.2023
Принята к публикации: 02.05.2023

**О. И. Лаврухина: hamsster@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6248-5726*
А. С. Хишов: https://orcid.org/0000-0003-3641-7644
Т. В. Балагула: https://orcid.org/0000-0003-0583-4277
А. В. Третьяков: https://orcid.org/0000-0002-4984-9502
О. Е. Иванова: https://orcid.org/0000-0002-5030-4876
Е. С. Козеичева: https://orcid.org/0000-0001-6609-8256

© А. С. Хишов, Т. В. Балагула, О. И. Лаврухина, А. В. Третьяков, О. Е. Иванова, Е. С. Козеичева, 2023

Аннотация.
Микробиологическая контаминация занимает важное место в системе обеспечения безопасности пищевой продукции из-за возможности изменения ее качественных и количественных характеристик. Особенно это касается готовой продукции, содержащей в своем составе компоненты животного происхождения или растительного и животноводческого сырья одновременно. В обзоре представлен анализ научных сведений и официальных данных о наиболее распространенных источниках микробиологического загрязнения готовой продукции, а также информации о возможных подходах его предотвращения или снижения до приемлемого уровня.
Поиск научной литературы осуществлялся на английском и русском языках по базам данных Scopus, ScienceDirect, PubMed и eLIBRARY.RU с использованием дескрипторов microbiological contamination (микробиологическое загрязнение), food raw materials (продовольственное сырье) и ready-to-eat products (готовые продукты). Глубина поиска – 20 лет, а также более ранние значимые публикации при условии их высокой цитируемости и релевантные публикации – безотносительно количества цитирований. Критерии поиска ограничены анализом сведений о выявлении в продовольственном сырье и пищевой продукции микробиологических загрязнителей в России и за рубежом. Процент обнаружений по отдельным группам микроорганизмов рассчитывали относительно их общего числа.
Анализ научных сведений и официальных данных показал, что для минимизации риска микробиологической контаминации необходим регулярный контроль уровня загрязнения на предприятии. Для готовых продуктов смешанного состава высок риск переноса микробиологических контаминантов каждого из ингредиентов, поэтому необходима как минимум их тепловая обработка. В случае композитных продуктов, не подразумевающих дополнительной температурной обработки, для минимизации микробиологической контаминации возможно внедрение современных технологий: интенсивное охлаждение и шоковая заморозка, обработка кулинарной продукции электромагнитным полем, применение защитных пищевых покрытий.
Компоненты готовой продукции смешанного состава, даже с небольшим количеством сырья животного происхождения, обуславливают дополнительный риск контаминации микробиологическими загрязнителями (*Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* и т. д.). Смешивание разных видов сырья может привести к изменению микробиологического профиля, поэтому безопасность готовой продукции должна обеспечиваться по всей цепи ее жизненного цикла, независимо от процентного содержания компонентов животного происхождения.

Ключевые слова. Пищевая безопасность, продукты питания, сырье животного происхождения, продукция смешанного состава, полуфабрикаты, риск загрязнения, микробиологическое загрязнение

Финансирование. Работа выполнена на базе Всероссийского государственного центра качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов (ФГБУ «ВГНКИ»).

Для цитирования: Микробиологическая контаминация продовольственного сырья и готовой пищевой продукции (аналитический обзор) / А. С. Хишов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 486–503. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2451

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2451
https://elibrary.ru/IVKWII

Review article
Available online at https://fptt.ru/en

Microbiological Contamination of Food Raw Materials and Ready-To-Eat Foods: Analytical Review

Andrei S. Khishov[1], Tatiana V. Balagula[2], Olga I. Lavrukhina[1,3,*], Aleksey V. Tretyakov[1], Olga E. Ivanova[1], Elizaveta S. Kozeicheva[1]

[1] *The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, Moscow, Russia*

[2] *Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, Moscow, Russia*

[3] *Alexander and Nikolay Stoletovs Vladimir State University, Vladimir, Russia*

Received: 10.03.2023
Revised: 04.04.2023
Accepted: 02.05.2023

**Olga I. Lavrukhina: hamsster@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6248-5726*
Andrei S. Khishov: https://orcid.org/0000-0003-3641-7644
TatianaV. Balagula: https://orcid.org/0000-0003-0583-4277
Aleksey V. Tretyakov: https://orcid.org/0000-0002-4984-9502
Olga E. Ivanova: https://orcid.org/0000-0002-5030-4876
Elizaveta S. Kozeicheva: https://orcid.org/0000-0001-6609-8256

© A.S. Khishov, T.V. Balagula, O.I. Lavrukhina, A.V. Tretyakov, O.E. Ivanova, E.S. Kozeicheva, 2023

Abstract.
Microbiological contamination changes the qualitative and quantitative profile of food, which makes it an important issue of food safety systems. Finished products with components of animal origin or combined vegetable and livestock raw materials are especially prone to microbiological contamination. This review features the most common sources of microbiological contamination and its prevention in finished products.
The review covered 20 years of English and Russian scientific articles and standards indexed in Scopus, ScienceDirect, PubMed, and eLIBRARY.RU. The descriptors included *microbiological contamination*, *food raw materials*, and *ready-to-eat products*. The analysis involved some older publications, provided they possessed a high scientific relevance and/or a high citation index. The search criteria concentrated on the detection of microbiological contaminants in food raw materials and food products in Russia and abroad. The percentage of detections for individual groups of microorganisms was calculated as opposed to their total number.
The data obtained can be summarized as follows. Regular industrial monitoring can minimize the risk of microbiological contamination. Complex finished products have a higher risk and require heat treatment. Composite products that cannot be succumbed to additional heat treatment need new technologies that minimize microbiological contamination, e.g., intensive cooling, shock freezing, electromagnetic processing, protective food coatings, etc.
Even a small amount of animal raw materials may cause extra risk of contamination with *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, etc. A mix of different raw materials changes the microbiological profile of the finished product. As a result, finished products have to be monitored throughout the entire shelf-life cycle, regardless of the percentage of animal raw material in the formulation.

Keywords. Food safety, food products, raw materials of animal origin, mixed products, semi-finished products, risk of contamination, microbiological contamination

Funding. The research was performed on the premises of the Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality (FGBU “VGNKI”).

For citation: Khishov AS, Balagula TV, Lavrukhina OI, Tretyakov AV, Ivanova OE, Kozeicheva ES. Microbiological Contamination of Food Raw Materials and Ready-To-Eat Foods: Analytical Review. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(3):486–503. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2451

Введение

Обеспечение безопасности пищевых продуктов относится к основным задачам поддержания продовольственной безопасности Российской Федерации, поскольку имеет значение для сохранения и укрепления здоровья населения. Безопасность пищевой продукции – это такое ее состояние, которое свидетельствует об отсутствии недопустимого риска,

связанного с вредным воздействием на человека и будущие поколения (ТР ТС 021/2011). Российская Федерация при вступлении в ВТО сохранила право установления более жестких требований, по сравнению с международными, при условии научного обоснования, разработанного на основе системы оценки риска [1]. Загрязнение продуктов питания может происходить на любом этапе технологического цикла: от стадии получения сырья до стадии хранения. Безопасность сырья должна быть обеспечена его производителем и контролироваться системой государственного надзора. Система управления предполагает проведение анализа, включающего изучение всех факторов, которые способны влиять на безопасность продукции для потребителя.

Научные публикации и результаты анализа данных электронных систем контроля за последние 3 года обращают внимание на готовую продукцию, содержащую в своем составе компоненты животного происхождения. Готовая продукция – это пищевая продукция, которая была подвергнута переработке: тепловой обработке (кроме замораживания и охлаждения), копчению, консервированию, созреванию, сквашиванию, посолу, сушке, маринованию, концентрированию, экстракции, экструзии или сочетанию этих процессов (ТР ТС 021/2011). К готовой продукции, содержащей в своем составе компоненты животного происхождения, могут быть отнесены следующие группы товаров: мясная, рыбная и яичная продукция; зерномучные и макаронные изделия с начинкой; готовые супы и бульоны, а также заготовки для их приготовления; гомогенизированные и не гомогенизированные составные готовые пищевые продукты и продукты переработки овощей, фруктов, орехов или прочих частей растений, содержащие колбасу, мясо, мясные субпродукты, кровь, рыбу, ракообразных, моллюсков или прочих беспозвоночных; молочные продукты; пищевые жиры (масло, жир, маргарин и майонез); мороженое, кроме плодово-ягодного и фруктового льда; кондитерские изделия.

Наиболее опасными загрязнителями готовой пищевой продукции, представляющими риск для здоровья населения, являются химические вещества (токсичные элементы, пестициды, нитрозамины, полихлорированные бифенилы и диоксины) и контаминанты физической природы (радиоактивное загрязнение, частицы микропластика и других посторонних инертных материалов). Однако одно из первых мест по распространенности и степени опасности занимают биологические агенты: бактерии, токсигенные микроскопические грибы, вирусы и паразиты.

Микробиологическая контаминация занимает особое место в системе обеспечения безопасности пищевой продукции, т. к. изменяет качественные и количественные характеристики продукции из-за роста и размножения микроорганизмов, а также продуцирования ими токсинов.

В Российской Федерации и странах Таможенного союза ЕАЭС значения микробиологических показателей в пищевых продуктах не должны превышать нормативов, установленных ТР ТС 021/2011 и иных ТР ТС, действие которых распространяется на них. Микробиологические исследования образцов пищевой продукции и продовольственного сырья проводятся в соответствии с действующими ГОСТ, СанПиН, методическими указаниями и другими нормативными документами.

Наиболее значимыми в эпидемиологическом отношении являются возбудители бактериальных инфекций *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., энтерогеморрагические *Escherichia coli* (EHEC), *Campylobacter jejuni*, *Enterobacter sakazakii* и др., распространенные серотипы *Salmonella*, ассоциированные с заболеванием человека *Enteritidis*, *Newport* и *Infantis* [2–4]. В монографии Ю. Г. Костенко представлены сведения о частоте выявления в некоторых странах возбудителей болезней, передаваемых человеку через пищевые продукты [5]. В Дании в 17 % случаев источником заболеваний пищевого происхождения являются бактерии *Salmonella* spp., 6 % – *Campylobacter*, 3 % – *Clostridium perfringens* и *Bacillus cereus*, 1 % – *Staphylococcus aureus* и *E. coli* O157. Согласно сведениям, представленным в обзоре Е. В. Федоренко и др., высокая степень риска для здоровья потребителей связана с такими продуктами, как сырое мясо, птица и рыба, непастеризованное молоко и готовая к употреблению кулинарная продукция; средняя – со свежими фруктами и овощами, соками, пастеризованным молоком, консервированной продукцией, яйцами, мороженым и молочными десертами [6]. Продукты переработки зерновых, хлеб, газированные напитки, сахаристые кондитерские изделия, сухофрукты, масла и жиры, алкоголь отнесены к продуктам с низкой степенью риска.

Бактерии, вызывающие пищевые отравления и инфекции, и их источники:

– *E. coli* – недожаренный сырой фарш, зелень, соки, майонез и парное молоко;
– *C. jejuni* – сырая непроваренная курица и сырое мясо;
– *S. aureus* – готовые продукты с высоким содержанием протеина, например, ветчина, салаты, хлебобулочные и молочные продукты; источник – коровы, больные маститом;
– *Salmonella* spp. – сырые и полусырые яйца, не до конца приготовленные птица или мясо, молочные и морские продукты, фрукты и овощи;
– *Shigella* spp. – салаты, молочные продукты и загрязненная вода;
– *Yersinia enterocolitica* – свинина, молочные продукты и зелень;
– *Clostridium botulinum* – почва, растения, пища домашнего приготовления и растительное масло;

– *L. monocytogenes* – почва, вода, молочные продукты, включая мягкие сыры, сырое и полусырое мясо, птица, морские продукты и зелень [7].

Подавляющее большинство случаев листериоза (99 %) связано с пищевым путем, т. е. с готовыми к употреблению продуктами, контаминированными *L. monocytogenes* [8].

По данным средств массовой информации, отмечен ряд серьезных вспышек заболеваний, связанных с микробиологическими контаминантами в готовой продукции, содержащей компоненты животного происхождения. С конца декабря 2020 г. по начало апреля 2021 г. 32 человека, которые проживают в 15 округах Швеции, заболели сальмонеллёзом, вызванным одним и тем же типом *Salmonella enteritidis* [9]. Большая часть заболевших – дети в возрасте до 10 лет и пожилые люди старше 70 лет. После проведенного расследования выяснилось, что все они употребляли шоколадные вафли марки «Eldorado» (Польша). Во Франции в 2022 г. 48 детей и двое взрослых заболели кишечной инфекцией, вызванной *E. coli*, после употребления замороженной пиццы «Nestlé» бренда «Buitoni» [10]. В начале 2022 г. компания «Ferrero» отозвала всю продукцию «Kinder», произведенную на одном из заводов в Бельгии, из-за сообщений из Франции об обнаружении возбудителя сальмонеллёза [11].

Потенциальный риск для человека от попадания в организм опасных микроорганизмов с продуктами питания обусловлен их природой, способностью вызывать заболевания и тяжестью их течения. Важен масштаб распространения микроорганизма и особенности применяемого для его минимизации технологического процесса.

Зависимость риска от технологического процесса обусловлена влиянием его этапов на создание условий для роста и размножения микроорганизмов, накопления продуцируемых ими токсинов и их выживаемости в ходе переработки компонентов при производстве готовой продукции. Среди факторов, влияющих на рост микроорганизмов в смешанной готовой продукции, нормативными актами Российской Федерации и ЕАЭС регламентируются температурные параметры и присутствие воды (Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 09.10.2013 № 68 «О техническом регламенте Таможенного союза “О безопасности мяса и мясной продукции”».

Температура является одним из определяющих параметров роста микроорганизмов в зависимости от их видовых особенностей: для психрофильных бактерий оптимальная температура 15–20 °C, для мезофильных – 30–37 °C, для термофильных – 50–60 °C [12]. Термоустойчивость бактерий и устойчивость к воздействию режимов пастеризации и стерилизации зависят от возраста культуры и вида микроорганизма [5].

Активность воды (A_w) – это отношение давления паров воды над данным продуктом к давлению паров над чистой водой при той же температуре [5, 13]. Для определения содержания воды, способной стимулировать рост нежелательных микроорганизмов, существуют как простые показатели (массовая доля), так и физико-химические, отражающие доступность воды для живых клеток. Последние важны из-за абсорбционных и адсорбционных свойств воды и активного взаимодействия с различными веществами органической и неорганической природы, растительными и животными тканями. Активность воды не нормирована в ЕАЭС, но часто используется для построения программ анализа риска в критических контрольных точках (АРККТ) на производстве. Нормируется в странах Европейского Союза и США [13].

Безопасность готовой продукции, содержащей в своем составе компоненты животного происхождения, должна соответствовать современным нормам и обеспечиваться по всей цепи ее жизненного цикла, включая стадии производства самого продукта и получения продовольственного сырья, транспортировку, хранение и его реализацию. Необходимо учитывать, что добавление ингредиентов растительного происхождения в процессе производства может повлиять на микробиологический профиль готового продукта. Поэтому необходимо учитывать дополнительные факторы риска при производстве продукции, содержащей одновременно растительное и животноводческое сырье.

Целью данного обзора являлся анализ сведений научных и официальных профильных ведомств и организаций о наиболее распространенных источниках микробиологического загрязнения готовой продукции, содержащей компоненты животного или животного и растительного происхождения одновременно, а также анализ возможных подходов его предотвращения или снижения до приемлемого уровня.

Объекты и методы исследования

Поиск научной литературы осуществлялся по базам данных Scopus, ScienceDirect, PubMed и eLIBRARY.RU на английском и русском языках с использованием дескрипторов microbiological contamination (микробиологическое загрязнение), food raw materials (продовольственное сырье) и ready-to-eat products (готовые продукты).

Для иностранных баз данных выбраны «Journals subject area» – Health (все подкатегории) и Life science, сортировка по релевантности. Углубленный поиск включал типы публикаций: Review articles, Research articles, Encyclopedia, Book chapters, Case reports, Discussion, Editorials, Mini reviews, News, Other; «Subject area»: Agricultural and Biological Sciences, Immunology and Microbiology, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Veterinary Science

and Veterinary Medicine. В связи с междисциплинарным характером научных работ по тематике обзора поиск в eLIBRARY.RU был ограничен несколькими направлениями: сельское и лесное хозяйство, пищевая промышленность, биология; сортировка по релевантности и числу цитирований (2 и более); исключены из результатов поиска учебные пособия, патенты и отчеты. Глубина архива – 20 лет. С учетом специфики и сложности темы обзорного исследования были включены некоторые более ранние значимые публикации при условии их высокой цитируемости и релевантные публикации – безотносительно количества цитирований.

Критерии поиска информации в научной литературе были ограничены анализом данных о выявлении в продовольственном сырье и пищевой продукции микробиологических загрязнителей из зарубежных и отечественных информационных систем: Федеральной государственной информационной системы в области ветеринарии (Ветис, компонент «Веста») и Системы быстрого оповещения о безопасности пищевых продуктов и кормов Европейского Союза (RASFF). Также принимали во внимание сообщения СМИ и компетентных ведомств в области обеспечения пищевой безопасности о вспышках заболеваний у людей, связанных с употреблением контаминированной пищевой продукции. Процент обнаружений (Веста) и нотификаций (RASFF) по отдельным группам микроорганизмов рассчитывали относительно их общего числа для всех групп.

Результаты и их обсуждение

Мониторинг микробиологической контаминации продукции животноводства. «В целях определения приоритетных направлений государственной политики в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов, охраны здоровья населения, а также в целях разработки мер по предотвращению поступления на потребительский рынок некачественных и опасных пищевых продуктов, материалов и изделий органами государственного надзора организуется и проводится мониторинг качества и безопасности пищевых продуктов, здоровья населения» (ст. 14 Федерального закона от 02.01.2000 № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов»). «Под мониторингом понимается система наблюдения, анализа, оценки качества и безопасности пищевых продуктов, материалов и изделий, контактирующих с пищевыми продуктами (далее именуются – пищевая продукция), питания и здоровья населения» (Постановление Правительства Российской Федерации от 22.11.2000 № 883 «Об организации и проведении мониторинга качества, безопасности пищевых продуктов и здоровья населения»). Мониторинг безопасности представляет собой рутинный лабораторный контроль содержания в образцах продукции опасных для здоровья человека и животных загрязнителей, в том числе микробиологических.

Результаты ретроспективного анализа мониторинга микробиологического загрязнения продукции птицеводства за 2015–2019 гг., проведенного по данным автоматизированной системы учета лабораторных исследований «Веста» А. М. Абдуллаевой и др., демонстрируют тенденцию сохранения ежегодного стабильно высокого уровня контаминации бактериями *Salmonella* spp. в июле и *Listeria monocytogenes* в августе [14]. В другой работе А. М. Абдуллаевой за указанный период максимальное количество случаев заражения птицы и продукции отмечено в октябре и марте для бактерий рода *Salmonella*, в мае и июле для бактерий рода *Listeria* [15]. Информация об изменениях контаминации продукции птицеводства конкретными доминирующими микроорганизмами необходима при разработке превентивных мер ее контроля. Данные мониторинга сопоставлены с информацией о заболеваемости сальмонеллёзом поголовья птиц [14]. Совпадение максимумов контаминации и заболеваемости указывает на необходимость усиления мер санации производства по всей технологической цепи.

Ретроспективный анализ результатов исследований пищевой продукции в Нижегородской области за 2011–2020 гг. (данные лабораторных исследований пищевой продукции и Государственные доклады Управления Роспотребнадзора по Нижегородской области) позволил выявить группы пищевой продукции с наибольшим риском микробиологического загрязнения (в порядке убывания процента превышения гигиенических нормативов по микробиологическим показателям): кулинарная продукция (39,2 %), молоко и молочные продукты (23,1 %), мясо и мясные продукты (10,4 %), птица, яйца и продукты их переработки (5,2 %), мукомольно-крупяные и хлебобулочные изделия (3,5 %), кондитерские изделия (3,3 %), рыба, нерыбные объекты промысла и продукты, вырабатываемые из них (3 %), зелень и плодоовощная продукция (1,7 %) [16].

Согласно результатам мониторинга за 2016 г. готовой к употреблению мясной продукции в Китае 33,17 % образцов были контаминированы колиформными бактериями. Превалентность *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp. и *Staphylococcus aureus* составила 2,18, 0,75 и 1,14 % соответственно [17]. Самый высокий уровень загрязнения продукции аэробными бактериями и колиформами отмечен с июля по сентябрь (благоприятные температурные условия для роста), а *L. monocytogenes* с января по март (способность к росту при низкой температуре, где снижен рост конкурентной микрофлоры).

По данным Федеральной государственной информационной системы в области ветеринарии

(Ветис, компонент «Веста»), доля проб продукции животноводства (включая сырье, полуфабрикаты и готовую мясную продукцию), несоответствующих по микробиологическим показателям нормативным значениям (включая наличие дрожжей, плесеней, превышение КМАФАнМ и др.), составила 3,2, 2,6 и 2,0 % в 2020, 2021 и 2022 гг. соответственно (табл. 1) [18]. Расчет проводили с учетом количества исследований в каждом году. Снижение доли проб с обнаружениями обусловлено эффективностью административных мер по выводу с рынка недоброкачественной продукции. Учтены результаты репрезентативных исследований по программе мониторинга ветеринарной безопасности в части контроля пищевой продукции и продовольственного сырья.

Количество выявляемых бактерий группы кишечной палочки снизилось с 2020 по 2022 г. Это может быть связано с ужесточением на предприятиях контроля за соблюдением правил санитарной обработки и их совершенствованием.

Доля обнаружений *S. aureus* невысока, но увеличилась за три года более чем в 7 раз. Это может быть связано с усугублением проблемы устойчивости бактерий, появлением новых резистентных штаммов и/или увеличением количества бессимптомных носителей стафилококков. *L. monocytogenes* и *Salmonella* spp. могут попадать в продукцию из-за нарушений процесса производства или от персонала, что нивелирует улучшение технологии.

Согласно данным Системы быстрого оповещения о безопасности пищевых продуктов и кормов Европейского Союза RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) в 2020–2022 гг. по категории опасности «патогенные микроорганизмы» зарегистрировано 887 нотификаций (учтены «alert notification» (оповещение о тревоге) и «border rejection notification» (уведомление о запрете на ввоз в ЕС)). Кроме продукции животноводства, в анализ включены кондитерские изделия, мороженое, готовые блюда и закуски, супы, бульоны и соусы [19]. Снижение за последние три года на территории ЕС количества нотификаций об обнаружении в пищевой продукции и животноводческом сырье бактерий *Salmonella* spp. и увеличение *L. monocytogenes* может быть связано с изменениями рынка продовольственного сырья и мер контроля на животноводческих предприятиях, а также со специфическими особенностями самих микроорганизмов (табл. 2). Вступили в силу нормы по композитной продукции.

Отсутствие линейного тренда обнаружений *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, сульфитредуцирующих клостридий и единичные обнаружения *Yersinia enterocolitica* и коагулазопозитивных штаммов *Staphylococcus* spp. можно объяснить, как и в случае выявления несоответствий по микробиологическим показателям в рамках государственного мониторинга ветеринарной безопасности на территории РФ, вспышечным характером контаминации. Согласно сведениям RASFF стафилококки за 2020–2022 гг. были впервые обнаружены в охлажденной лапше с яйцами из Словакии в ноябре 2021 г. (уровень риска признан незначительным, нотификация классифицирована как «information notification for attention»), второй случай – «Нэм-Чуа» (мясная закуска из свинины) – из Франции в сентябре 2022 г. (высокий уровень опасности, «alert notification»).

Таким образом, актуален анализ сведений научных публикаций о наиболее распространенных

Таблица 1. Выявление несоответствия проб продукции животноводства, исследованных в рамках государственного мониторинга ветеринарной безопасности по микробиологическим показателям в 2020–2022 гг.

Table 1. Violations of livestock product safety: state monitoring of veterinary microbiological safety, 2020–2022

Показатель	Доля выявлений микроорганизмов, %		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Бактерии группы кишечной палочки	23,6	20,7	18,8
Listeria monocytogenes	15,2	13,7	17,3
Salmonella spp.	7,3	8,6	7,6
Staphylococcus aureus	0,22	0,50	1,60
Бактерии рода *Proteus*	0	0	0,058
Сульфитредуцирующие клостридии	0,090	0	0,058
Доля несоответствующих проб по всем микробиологическим показателям, %	3,2	2,6	2,0

Таблица 2. Выявление патогенных микроорганизмов в пищевой продукции и животноводческом сырье на территории ЕС в 2020–2022 гг. по данным системы быстрого оповещения RASFF

Table 2. Pathogenic microbial contamination of food products and livestock raw materials in the European Union in 2020-2022, RASFF Rapid Alert System

Показатель	Доля выявлений микроорганизмов, %		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Salmonella spp.	61,2	57,8	56,9
Listeria monocytogenes	22,4	25,3	30,3
Escherichia coli (включая шига-токсин- и веротоксин-продуцирующие штаммы)	10,7	15,2	9,9
Bacillus cereus	0,95	0,34	0,37
Сульфитредуцирующие клостридии	0,32	0,68	0,37
Yersinia enterocolitica	0	0	0,37
Staphylococcus spp. (коагулазопозитивные)	0	0	0,37

источниках микробиологического загрязнения продовольственного сырья и готовой продукции бактериями рода *Salmonella*, *Listeria*, *Staphylococcus* и *Proteus*, *E. coli*, *B. cereus*, *Y. enterocolitica* и сульфитредуцирующими клостридиями, а также возможных подходах предотвращения/снижения до приемлемого уровня контаминации.

Зарубежный опыт изучения микробиологической контаминации готовой продукции. В современном мире растет спрос на удобные для употребления и полезные продукты питания, которые состоят из смешанных компонентов растительного и животного происхождения. Необходимо различать композитную продукцию, переработанные продукты животного происхождения и продукты, ошибочно относимые к композитным. Решение об отнесении продукции к конкретной категории принимается в каждом случае индивидуально. Композитный продукт – это пищевой продукт, содержащий как переработанные продукты животного происхождения, так и продукты растительного происхождения (формулировка применяется для композитных продуктов, импортируемых в ЕС) [20]. К композитным пищевым продуктам можно отнести готовые к употреблению макаронные изделия, рис и другие зерновые культуры с добавлением переработанных компонентов животного происхождения.

Патогенные микроорганизмы обнаружены в каждом первом из 10 образцов салатов, предназначенных для употребления без термической обработки и содержащих макароны, курицу, ветчину и копченый лосось [21]. В 1,4 % случаев выделена *L. monocytogenes*, в 5 % случаев обнаружен ген *ail* (*attachment invasion locus*), в 2,1 % – шига-токсин типа 1 (Stx1) и 2 (Stx2). Патогенные штаммы *Y. enterocolitica* и шига-токсин, продуцирующие *E. coli* (STEC), выделены не были. Ген *ail* отвечает, как и *inv*-ген, за инвазивность патогенных штаммов *Y. enterocolitica* [22]. Их экспрессия зависит от температуры. *Ail*-ген присутствует только у патогенных видов и штаммов *Yersinia*, в том числе во всех патогенных для человека изолятах *Y. enterocolitica*. Ни из одного исследованного образца не были выделены *Salmonella*, *Campylobacter* spp. и термотолерантные колиформные бактерии. Хранение продуктов питания при температуре 8 °C в течение короткого срока годности (3–5 суток) может способствовать росту психротрофных микроорганизмов (*L. monocytogenes* и *Y. enterocolitica*). Поэтому для минимизации риска микробной контаминации необходимо снижение максимально допустимой температуры хранения до 4 °C [21].

В работе M. L. Chau и др. выявлен потенциальный риск для потребителей, связанный с бактерией *L. monocytogenes* в ингредиентах салата из морепродуктов (копченый лосось) [23]. Однако, как отмечено в исследовании K. Söderqvist, многие компоненты салата (и растительные, и животные) могут быть контаминированы *L. monocytogenes*, и риск заражения возрастает с увеличением количества добавляемых в салат ингредиентов [24]. Бактерия широко распространена в природе, обладает способностью к росту при низких температурах (> 1 °C) и широком диапазоне pH (4–9) [25]. Кроме того, для нее характерна высокая адгезия к поверхности оборудования пищевых производств и способность к формированию биопленок, в которых *L. monocytogenes* более устойчива к дезинфекции.

Количественная оценка риска для мясной продукции, проведенная Министерством сельского хозяйства США в 2003 г., показала высокий и очень высокий риск от *L. monocytogenes* для здоровья населения при употреблении неразогретых сосисок и мясных деликатесов [26]. Сухие/полусухие ферментированные колбасы, разогретые сосиски, паштеты и мясные спреды были охарактеризованы как продукты с низким и умеренным риском. Готовые продукты из мяса птицы при недостаточной термической обработке, согласно исследованиям, проведенным в Германии, по истечении срока годности представляют высокий риск для здоровья потребителей в связи с контаминацией бактериями *L. monocytogenes* [27]. В Южной Африке в 2017–2018 гг. зарегистрирована вспышка листериоза (1060 случаев), связанная с потреблением мясной продукции крупного предприятия «Enterprise Foods». *L. monocytogenes* ST6 была обнаружена в пробах окружающей среды производственного объекта и в готовых к употреблению мясных продуктах [28].

Генетическая характеристика штаммов *L. monocytogenes*, выделенных из образцов клинического биологического материала, отобранного у людей, которые заразились листериозом, и готовой мясной продукции с предприятий промышленной переработки и розничной торговли в Португалии, показала их сходство более чем на 90 % [29]. Изучение циркуляции *L. monocytogenes* на территории Польши и характеристика выделенных штаммов при сопоставлении результатов мониторинга пищевой продукции 2017–2019 гг. (молоко и молочная продукция, мясо и мясная продукция, рыба и рыбная продукция, кондитерские изделия и деликатесы) и клинических образцов 2012–2013 гг. доказывает, что пищевые продукты, готовые к употреблению, являются потенциальным источником листериоза человека [30].

В 2014 г. группой ученых проведено исследование влияния технологических стадий производства ветчины и колбас на уровень микробиологического загрязнения конечного продукта [31]. Отобрано 180 проб с заводов на четырех этапах: после измельчения, смешивания, охлаждения после первого процесса нагрева и охлаждения после второго нагрева. *L. monocytogenes* и *S. aureus* были обнаружены в образцах только на стадиях измельчения и смеши-

вания, но не в готовой продукции. Это свидетельствует о важности соблюдения температурных условий первого и второго нагревания для обеспечения микробиологической безопасности. Количество аэробных микроорганизмов в конечном продукте не превышало 1,85 и 3,85 log КОЕ/г для ветчины и колбасы соответственно.

Таким образом, к основным микробиологическим контаминантам мясной продукции можно отнести *L. monocytogenes*, что обусловлено недостаточным контролем чистоты производственных помещений и технологического оборудования. Ее дальнейшее использование в качестве ингредиента композитной продукции повышает риск для здоровья потребителя, как и хранение готовых к употреблению продуктов, не предполагающих дальнейшей термической обработки, при температуре выше 4 °С.

Источником контаминации *S. aureus* могут являться сотрудники пищевых производств, т. к. человек может быть бессимптомным носителем данной бактерии [32]. К коагулазопозитивным относятся 7 видов стафилококков: *S. aureus*, *Staphylococcus delphini*, *Staphylococcus intermedius*, *Staphylococcus pseudintermedius*, *Staphylococcus lutrae*, *Staphylococcus schleiferi* ssp. *coagulans* и *Staphylococcus hyicus*, наиболее вирулентен *S. aureus* [33]. Результаты исследований подтверждают, что наличие в пищевой продукции не только *S. aureus*, но и других видов *Staphylococcus* spp., имеет значение для общественного здравоохранения [34].

Исследование в 2022 г. готовых к употреблению мясных продуктов чешских производителей и определение их генетических свойств, устойчивости к противомикробным препаратам и вирулентности показало, что сырая свинина является источником контаминации метициллинрезистентным штаммом *S. aureus* [35]. Результаты работы подтверждают способность этих штаммов выживать в технологическом процессе, а не при загрязнении мясных продуктов из окружающей производственной среды, и указывают на их распространение по цепи переработки мяса. Для минимизации риска необходим регулярный контроль на предприятии уровня загрязнения, а также соблюдение и совершенствование правил санитарной обработки.

Колбасные изделия, содержащие мясо жвачных животных, при недостаточной обработке могут стать источником заражения веротоксин-продуцирующей *E. coli* (VTEC) [36]. Вспышка в Дании в 2007 г. была связана с потреблением сосисок из говядины. В говядине, оставшейся на заводе, где они производились, был обнаружен вспышечный штамм *E. coli* O26:H11.

Бактерия *B. cereus* известна как опасный для человека пищевой патоген [37, 38]. Это почвенная бактерия, споры которой распространены в объектах окружающей среды [39]. *B. cereus* может поступать в композитную продукцию как с ингредиентами животного, так и растительного происхождения. Например, рисом, картофелем, макаронами, хлебом и другой выпечкой [39]. Изучение распространенности *B. cereus* в продуктах питания, реализуемых в Польше (585 образцов), показало максимальное количество обнаружений в травах и специях (63,3 %), сырах с плесенью (52,5 %), минимальный – в свежих кислых сырах (8,6 %) [40]. Хотя уровень загрязнения не превышал 4,0 log КОЕ/г(мл), токсигенные штаммы *B. cereus* обнаружены во всех продуктах как растительного, так и животного происхождения. Это свидетельствует о риске инфекций пищевого происхождения или интоксикаций при их потреблении.

Добавление к готовой к употреблению продукции соусов, не подвергающихся термической обработке, способно увеличить риск микробной контаминации. Исследование 90 образцов соусов показало отсутствие в них бактерий *Enterobacteriaceae*, *E. coli*, *Clostridium perfringens*, *Salmonella* spp. и *L. monocytogenes* [41]. Однако в трех образцах, а именно песто, грибной и сырный соусы, были обнаружены непатогенные *Listeria welshimeri*, *Listeria innocua* и *Listeria seeligeri* соответственно. Также отмечено увеличение количества несоответствующих требованиям продуктов ближе к окончанию срока годности. Наиболее высокая микробная пролиферация наблюдалась при анализе вскрытой упаковки через 48 ч. Бактерия *L. innocua* изначально считалась непатогенной и негемолитической, но исследование, проведенное в 2016 г., выявило ряд ее гемолитических изолятов [42]. Возможно, некоторые изоляты изначально были неверно классифицированы как *L. monocytogenes*. *L. welshimeri* и *L. innocua* могут маскировать присутствие в продукции *L. monocytogenes* [43, 44]. Был зарегистрирован случай заболевания человека со смертельным исходом, ассоциированный с *L. innocua* [45]. В мониторинге ЕС упор делается на контроль контаминации в готовой продукции *L. monocytogenes* [46].

По некоторым данным условия, потенциально препятствующие росту микроорганизмов в соусах, способны оказывать антагонистическое действие. Источником контаминации майонеза могут являться яйца и сырые яичные продукты [47]. Яйца и содержащие их пищевые продукты известны как основной источник вспышек инфекционных заболеваний, вызванных бактериями рода *Salmonella* [47–51]. Установлено, что снижение температуры уменьшает антибактериальную активность органических кислот, что позволяет *Salmonella typhimurium* лучше сохраняться в майонезе при низком значении pH [47]. Несмотря на преобладание сальмонеллы в соусах, содержащих яичные компоненты, и в соусах на основе молочной продукции и с добавлением растительных ингредиентов, состав микроорганизмов-контаминантов отличается.

Крупная вспышка сальмонеллёза, связанная с потреблением мороженого, контаминированного *Salmonella enteritidis*, была зарегистрирована в 1994 г. в США [52]. К загрязнению привело использование одних и тех же ёмкостей для перевозки яичных продуктов и пастеризованного премикса. Даже низкий уровень содержания некоторых бактерий, а именно 25 клеток *S. enteritidis* на порцию мороженого (65 г), может вызвать инфекцию у человека [53].

Добавление к композитной продукции смеси растительных и животных жиров, особенно без дополнительной термической обработки, может привести к повышению риска микробиологической контаминации. Исследования демонстрируют отсутствие роста *L. monocytogenes* в жирах животного происхождения на примере сливочного масла [54]. Маргарин и спреды, не содержащие сливочного масла, также не представляют дополнительной угрозы, т. к. не поддерживают рост *Salmonella* spp., *E. coli* O157:H7 и *L. monocytogenes*. Однако рост *L. monocytogenes* отмечен между 42 и 63 днями хранения при температуре 10 °C в смеси сливочного масла и маргарина, а также между 3 и 7 днями при температуре 21 °C.

Исследования микробиологической контаминации продовольственного сырья и готовой продукции в Российской Федерации. Отечественные исследования смешанной готовой пищевой продукции, содержащей компоненты животного происхождения, имеют ряд особенностей, которые требуют иного подхода к анализу научной информации по сравнению с зарубежными источниками. Во-первых, для большинства работ характерно фокусирование на одном из компонентов, по которому классифицируется вся продукция. Например, в отношении продукта «шаурма из свинины» анализу подвергается мясо как основной компонент, а растительные ингредиенты (хлеб, овощи, зелень, специи и т. д.) и дополнительные ингредиенты животного происхождения (соусы на основе яичной и молочной продукции и т. д.) в качестве источника контаминации учитываются редко. Во-вторых, в одну категорию (например, «полуфабрикаты из свинины») включается широкий ряд отличающихся по составу продуктов, независимо от дополнительных компонентов животного и растительного происхождения.

Сырое мясо может быть контаминировано бактериями *Salmonella* spp., *Y. enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*, *E. coli*, *C. perfringens* и *S. aureus* (мясо птицы бактериями родов *Salmonella* и *Campylobacter*) [55]. Исследования мясного сырья и готовой мясной продукции на базе ГБУВК Пермский ВДЦ в 2009–2013 гг. демонстрируют малое количество обнаружений (бактерии группы кишечной палочки и сальмонеллы) в мясном сырье [56]. Бактерии группы кишечной палочки обнаружены в 1 образце из 56 и в 4 из 55 в 2009 и 2011 г. соответственно, сальмонеллы – в 2 из 55 в 2011 г. В готовой продукции выявлено не только бóльшее количество образцов, контаминированных бактериями группы кишечной палочки, но также бактериями рода *Salmonella* и *Listeria*. В работе Н. А. Татарниковой О. Г. Мауль приведены данные по обнаружению *L. monocytogenes* в трех видах пищевых продуктов. Выявлено, что наибольший процент обсеменения мяса и мясных продуктов *L. monocytogenes* приходится на фарши (из говядины и мяса птицы механической обвалки) – 67 %. В 25 % проб мясных полуфабрикатов, сырьем для которых было мясо крупного рогатого скота, выявлена *L. monocytogenes* [56].

При изучении контаминации на различных этапах убоя и переработки туш крупного рогатого скота и свиней патогенными бактериями рода *Salmonella* и *L. monocytogenes* установлено, что глубокие слои мясных отрубов не обсеменены микроорганизмами [57]. Согласно литературным данным проникновение бактерий в глубокие слои мяса зависит от влажности, температуры и других факторов. Например, *Salmonella* spp. при комнатной температуре за сутки проникает на 14 см, а при 2–4 °C за месяц не более чем на 1 см. В исследовании Д. С. Батаевой и др. показано, что загрязнение происходит на этапах съемки шкур и извлечения внутренних органов [57]. Максимальный показатель контаминации микроорганизмами на этапе зачистки туш крупного рогатого скота зафиксирован в работе [58]. В связи с неэффективностью первичной переработки туш для снижения их обсемененности происходит контаминация мясных полуфабрикатов.

Таким образом, мясное сырье менее контаминировано, чем полуфабрикаты из него. По данным КГБУ «Алтайская краевая ветеринарная лаборатория» за 2010–2013 гг., *L. monocytogenes* стабильно выявляется в полуфабрикатах и готовой мясной продукции [59]. Патогенная микрофлора может проникать в готовые продукты и полуфабрикаты через объекты внешней среды, с биологическими агентами, контактным путем и в результате нарушения санитарно-гигиенического режима производства и условий хранения [60].

В работе И. Г. Серегина и др. отмечены более выраженные изменения микробиологических показателей полуфабрикатов из говядины, свинины, баранины и белого мяса птицы, по сравнению с исходным сырьем, при хранении продукции в охлажденном состоянии в течение 5 суток [61]. В начале и конце срока хранения были выявлены бактерии группы кишечной палочки в 25,0 и 37,5 % образцов, *Salmonella* spp. – в 12,5 и 25,5 % образцов соответственно. Количество образцов, контаминированных *C. perfringens* в начале и в конце срока хранения, составило 12,5 %. *Listeria* spp. и другие патогенные микроорганизмы не обнаружены ни в сырье, ни в полуфабрикатах. КМАФАнМ к концу срока хранения для большинства образцов полу-

фабрикатов было на 1–1,5 log выше, чем для сырья. Авторами отмечено, что особое внимание должно уделяться условиям и срокам хранения полуфабрикатов из свинины и мяса птицы.

Этой же группой ученых отдельно проведен анализ обнаружений по микробиологическим показателям полуфабрикатов из мяса птицы (филе, фарш и мясо механической обвалки) [62]. *L. monocytogenes* в исследованных образцах не была обнаружена, но выделены бактерии группы кишечной палочки, родов *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Proteus*, клостридии и стафилококки. Наиболее контаминированными оказались фарш и мясо механической обвалки.

Производство некоторых мясных полуфабрикатов (котлеты, ёжики, тефтели) предполагает добавление яиц в качестве одного из ингредиентов. Патогенные микроорганизмы родов *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Klebsiella* и *Rickettsia* развиваются совместно с *Enterobacteriaceae*, *Moraxellaceae*, *Bifidobacteriaceae* и *Lachnospiraceae* в кишечной среде эмбриона птичьего яйца [63]. Исследования 2016 г., проведенные на территории Кабардино-Балкарской Республики, показали, что 6,18 % продукции птицеводства (тушки кур, полуфабрикаты, субпродукты, суповые наборы, яйца) контаминировано *Salmonella* spp., основной выделяемый серотип – *S. enteritidis* [64]. Отмечено, что в возникновении пищевых сальмонеллезов у человека ведущую роль играет меланж. Для продуктов смешанного состава с добавлением яиц и яичных продуктов высок риск переноса микробиологических контаминантов из сырья. Для его минимизации необходима достаточная по времени и температуре тепловая обработка.

Рыба и рыбная продукция может быть контаминирована патогенными и условно-патогенными микроорганизмами семейства *Enterobacteriaceae* (бактерии *E. coli*, *Salmonella* spp., *Rahnella aquatilis*, *Moellerella wisconsensis*, *Hafnia alvei*, *Enterobacter cloacae* и *Citrobacter freundii*) в процессе хранения на льду [63]. При изучении микробиологических рисков, связанных с употреблением в пищу дальневосточных лососей, с учетом объемов вылова и продукции из них на потребительском рынке, показана опасность для здоровья населения [65]. Исследована динамика развития микрофлоры при хранении рыбных кулинарных полуфабрикатов с добавлением дополнительных компонентов: картофеля, моркови, репчатого лука и специй [66]. Основными микроорганизмами, которые определяют микрофлору образца полуфабриката из филе и икры трески, доведенного до полной готовности, после 33 суток хранения при –18 °C были *Bacillus asterosporus*, *Bacillus subtilis* и *Bacillus macerans*. В полуфабрикате, доведенном до полуготовности, после 50 суток хранения обнаружены протеолитически активные *Pseudomonas facilis* и *B. subtilis*, последние являлись преобладающим видом.

Молоко и молочная продукция являются благоприятной средой для развития микроорганизмов, в том числе патогенных и условно-патогенных. В сыром молоке выявляют мезофильные микроорганизмы, молочнокислые и психрофильные бактерии родов *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus* и *Corynebacterium* [63]. Мезофильные и анаэробные лактатсбраживающие микроорганизмы *Clostridium butyricum*, *Clostridium tyrobutyricum* и *Clostridium sporogenes*, приводящие к нарушению технологии производства молочных продуктов в результате маслянокислого брожения, обнаружены в сыром молоке [67]. В исследовании установлено, что в осенне-зимний период преобладали виды *C. butyricum* и *C. tyrobutyricum*, а в весенне-летний *C. sporogenes* и *C. tertium*. После пастеризации устойчивые к высоким температурам бактерии родов *Microbacterium*, *Bacillus*, *Corynebacterium* и *Clostridium* способны развиваться и размножаться [55, 63].

Результаты исследований влияния различных групп микроорганизмов (молочнокислых, бактерий группы кишечной палочки, дрожжей и споровых бактерий) на качество и способность к хранению сырых сливок для производства масла показали, что наибольшие микробиологические риски связаны с лактококками, бактериями группы кишечной палочки и дрожжами [68]. Менее значимо обсеменение термофильным стрептококком, споровыми бактериями рода *Bacillus* и споровыми анаэробными микроорганизмами рода *Clostridium* в связи с отсутствием их развития и метаболизма при температурах хранения 10 ± 1 и 4 ± 2 °C. Г. М. Свириденко и др. отмечено, что высокотемпературная пастеризация сливок не гарантирует полной ликвидации риска, т. к. возможен выход клеток из состояния термического шока и восстановление их жизнедеятельности [68].

При производстве мучных кондитерских изделий добавление сливочного крема повышает риск контаминации готовой продукции бактериями группы кишечной палочки [69]. Как отмечено в работе С. П. Поляковой и др., средняя проба изделия в целом может соответствовать нормам безопасности, а большая часть образцов крема содержать бактерии группы кишечной палочки выше допустимого уровня в 0,01 г продукта.

Исследования переработанного молочного сырья для производства готовой продукции показали, что некоторые микроорганизмы в процессе адаптации к стрессовым внешним факторам (сепарирование, гомогенизация, УФ-облучение, резкие перепады температур при хранении и тепловой обработке) способны изменять свойства [70]. Они переходят в некультивируемое состояние (покоящиеся формы), и стандартные микробиологические методы не поз-

воляют их обнаружить. Выделенные штаммы покоящихся форм микроорганизмов могут симбиотически существовать с условно-патогенными *E. coli* и *S. aureus* и угнетать жизнедеятельность лактобактерий.

Результаты исследований бактериальной обсемененности (КМАФАнМ) и изменения функциональных свойств термически обработанных сыров (из замороженного сырного сырья или замороженных после термомеханической обработки) показали, что низкотемпературное хранение замедляет биологические и физико-химические изменения в сыре, что может увеличить срок его годности [71]. Замораживание образцов при –14 ± 2 °С позволяет снизить показатель КМАФАнМ в среднем на 0,5 порядка, а при –55 ± 2 °С – на порядок, т. е. режимы замораживания влияют на сохранность бактериальных клеток. Но при термической обработке сыра как из размороженного, так и из замороженного сырного сырья происходит ухудшение его функциональных свойств.

Рассмотрены особенности контаминации бактериями рода *Campylobacter* пищевых продуктов растительного и животного происхождения и объектов окружающей среды на производственных предприятиях: из 148 исследованных проб выделено 50 штаммов *Campylobacter* spp. [72]. Более 45 % обнаружений установлены для продукции птицеводства (в том числе полуфабрикатов). 19 штаммов из 27 принадлежали виду *C. jejuni*. Кроме того, в 19,0 % образцов мяса птицы и 14,3 % проб сырого коровьего молока обнаружены патогенные бактерии рода *Salmonella*.

Микрофлора растительных продуктов представлена микроорганизмами родов *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Proteus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* и *Enterococcus* [55]. При использовании загрязненных поливных вод в процессе выращивания растительного сырья может происходить его контаминация энтеропатогенными бактериями *L. monocytogenes*, *Salmonella* и *Shigella*, патогенными штаммами *E. coli*, *Campylobacter*, *Clostridium botulinum* и *C. perfringens*. Такие растительные ингредиенты будут представлять высокий риск контаминации композитной продукции, не предполагающей по технологии приготовления достаточную термическую обработку.

Изучены показатели микробиологической безопасности порошкообразных овощей и растительно-молочных композиций с их использованием [73]. Основную микрофлору сухих овощей составляют протеолитические микроорганизмы. Сульфитредуцирующие клостридии, *E. coli*, *Salmonella* spp., *B. cereus* и *S. aureus* не обнаружены. Липолитические микроорганизмы обнаружены лишь в моркови ($2{,}2\times10^2$ КОЕ/г). Показано, что внесение растительных ингредиентов в молочную основу, с одной стороны, усиливает ингибирующее воздействие температуры на микробные клетки за счет уменьшения pH, а с другой – защищает микроорганизмы от воздействия высокой температуры. Значение имеет степень дисперсности частиц: чем они крупнее и их количество в смеси больше, тем ниже эффективность пастеризации.

В работе С. А. Шевелевой и др. отмечено, что развитие остаточной микрофлоры в герметично упакованных охлажденных кулинарных изделиях в процессе хранения зависит от состава продукта, температуры хранения и непрерывности цепи холода [74]. Условно-патогенные и патогенные микроорганизмы (*E. coli*, *S. aureus*, бактерии *Proteus* и *Salmonella*, *L. monocytogenes*) не обнаружены на протяжении предполагаемого срока годности (7–14 суток плюс коэффициент резерва ×1,3–1,5). Однако установлено, что блюда из рыбной котлетной массы и отварная птица менее стабильны при хранении, т. к. по истечении 80 % срока хранения наблюдалась активизация анаэробной и факультативно-анаэробной микрофлоры (органолептические признаки порчи отсутствовали). В крупяных кашах и гарнирах, супах с макаронными изделиями и макаронах, картофельном пюре рост микрофлоры наступал к моменту истечения 70 % срока наблюдения и сопровождался появлением органолептических признаков порчи. Для продуктов, содержащих большое количество углеводов, активизация анаэробной и факультативно-анаэробной флоры происходит быстрее за счет развития сахаролитических микроорганизмов. Оптимальная температура хранения готовых блюд 3 ± 1 °С (активизация микрофлоры отмечена в 17 % случаев до истечения срока).

Минимизация риска микробиологической контаминации. Исходя из сведений проанализированных источников, для минимизации риска микробиологической контаминации на предприятии необходим регулярный контроль уровня загрязнения (в том числе контроль сырья), соблюдение и совершенствование правил санитарной обработки и условий хранения. Для композитной продукции требуется снижение максимально допустимой температуры хранения до 4 °С. Для продуктов смешанного состава высок риск переноса микробиологических контаминантов каждого из ингредиентов. Для его минимизации необходима достаточная по времени и температуре тепловая обработка.

В случае готовых продуктов с добавлением растительных ингредиентов и соусов, не подразумевающих дополнительной температурной обработки, возможно использование современных технологий хранения. В качестве альтернативы предложена обработка кулинарной продукции электромагнитным полем [75]. Эффективны технологии интенсивного охлаждения и шоковой заморозки [76].

Кроме того, возможно применение защитных пищевых покрытий. Перспективным антимикробным

компонентом при их изготовлении является хитозан [77]. Установлено, что защитные покрытия с его применением оказывают подавляющее воздействие на развитие микрофлоры мяса и мясопродуктов. Наиболее эффективны составы на основе растворов хитозана с желатином и хитозана с альгинатом натрия в соотношении 1:1. Предлагаемая в работе технология позволяет контролировать наиболее важные при хранении продукции барьерные факторы: активность воды (A_w), pH среды, окислительно-восстановительный потенциал (ОВ-потенциал) и добавление консервантов [77]. В составе разработанного покрытия органическая кислота уменьшает pH и ОВ-потенциал, биополимеры уменьшают A_w, а хитозан обладает антиоксидантной активностью.

Барьерными бактериостатическими свойствами обладают органические кислоты, разрешенные в качестве безопасных консервантов. Добавление к мясным полуфабрикатам смеси лимонной (E330), винной (E334), яблочной (E296) и уксусной (E260) кислот и лактата калия приводит к угнетению роста и размножения микроорганизмов в процессе хранения [78]. Антимикробное влияние лактатов на мясные продукты описано в работе [5]. Для разных видов продукции при добавлении лактата натрия отмечены подавление роста аэробных и анаэробных микроорганизмов, факультативно анаэробной *L. monocytogenes*, задержка выработки токсинов в протеолитическом микроорганизме *C. botulinum* и т. д.

При длительном хранении охлажденного мясного сырья для предотвращения его микробиологической контаминации возможно применение упаковки под вакуумом [79]. В случае нарезанных и готовых к употреблению мясных продуктов (на примере чоризо и хамона) показана эффективность упаковки под вакуумом и в модифицированной газовой среде (20 % CO_2, 80 % N_2) [80]. Количество *L. monocytogenes* снижалось в течение всего срока хранения (180 дней) при температурах 3, 11 и 20 °C. C. N. Horita и др. указывают на необходимость дополнительных исследований условий хранения сухого соленого вяленого продукта из говядины (чечина), т. к. состав жирных кислот в разных видах мяса может обуславливать различия уровней содержания *L. monocytogenes* в хамоне (свинина) и чечине. Возможно также применение современных нетермических технологий обеззараживания (импульсное электромагнитное облучение, импульсный ультразвук и т. д.) на этапе хранения [81].

Получены данные об эффективности использования бактериофагов для подавления роста и развития микроорганизмов, контаминирующих мясные полуфабрикаты (куриный фарш) [82]. Бактериофаги в экспериментальном исследовании лизировали внесенные клетки культур-хозяев. A. M. Abdullaeva и др. отметили целесообразность проведения дальнейших исследований взаимодействия бактериофагов в случае смешанного состава микробиоты.

Для контроля риска микробиологической порчи мясного сырья предложена интеллектуальная экспертная автоматизированная система контроля [83]. В ее основе лежит эмпирическая прогнозная компьютерная модель для широкого спектра микроорганизмов, температур, различных условий хранения и начальной обсемененности. Система позволяет осуществлять оценку состояния микробиологического статуса в режиме реального времени и прогнозировать риск микробного обсеменения и развития микробиологической порчи мясного сырья.

Выводы

Смешивание разных видов сырья, даже если речь идет только о сырье животного происхождения, может привести к изменению микробиологического профиля готовой продукции. Добавление растительного сырья, для которого не предусмотрено жестких стандартов температурной обработки, может влиять на уровень и профиль микробиологического загрязнения. Таким образом, безопасность готовой пищевой продукции с компонентами животного происхождения (независимо от их процентного содержания) должна обеспечиваться по всей цепи ее жизненного цикла: получение продовольственного сырья, производство, транспортирование, хранение и реализация.

Причинами загрязнения готовой продукции смешанного состава, содержащей компоненты животного и растительного происхождения, могут являться контаминация сырья и оборудования и несоблюдение персоналом санитарно-гигиенических правил. Профили микробиологической контаминации свидетельствуют о возникновении дополнительных факторов риска, обусловленных синергетическими и антагонистическими эффектами, что приводит к усилению патогенности микроорганизмов в многокомпонентной продукции. Кроме того, необходимо учитывать изменение специфических свойств самих бактерий, таких как развитие антибиотикорезистентности и способность к формированию биопленок. Все это требует дополнительных мер контроля на конечной стадии производства продукции, а также при ее транспортировке, хранении и реализации.

Микробиологический риск, ассоциированный с потреблением контаминированных бактериями *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* и веротоксин-продуцирующей *Escherichia coli* готовых продуктов, может быть эффективно снижен термической обработкой, а в случае невозможности ее применения – упаковкой под вакуумом, в модифицированной газовой среде, использованием безопасных биологических препаратов, защитных пищевых покрытий и внедрением других современных барьерных технологий.

Контроль сырья является неотъемлемой частью процесса установления норм микробиологической безопасности готовой продукции. При оптимальном подборе сырья, соблюдении санитарных правил и норм на предприятиях, а также условий хранения возможно добиться ограничения роста нежелательных микроорганизмов в готовой продукции.

Критерии авторства

А. С. Хишов – сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста. Т. В. Балагула – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных. О. И. Лаврухин – сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста, редактирование. А. В. Третьяков – концепция и дизайн исследования, интерпретация данных, редактирование. О. Е. Иванова – анализ и интерпретация данных, написание текста, редактирование. Е. С. Козеичева – сбор, анализ и интерпретация данных, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность отделу «Аналитический центр» ФГБУ «ВГНКИ» и отделу организации проведения лабораторных исследований в сфере ветеринарии Управления государственного ветеринарного надзора Россельхознадзора.

Contribution

A.S. Khishov collected, analyzed, and interpreted the data, as well as wrote the manuscript. T.V. Balagula developed the research concept and plan, analyzed and interpreted the data. O.I. Lavrukhina collected, analyzed, and interpreted the data, wrote and proofread the manuscript. A.V. Tretyakov developed the research concept and plan, interpreted the data, and proofread the article. O.E. Ivanova analyzed and interpreted the data, wrote and proofread the manuscript E.S. Kozeicheva collected, analyzed, and interpreted the data, proofread the manuscript. All the authors approved of the final version of the article and bear equal responsibility for the integrity of all its paragraphs.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgments

The authors express their deepest gratitude to the Analytical Center of the Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality and to the Department for Laboratory Veterinary Research, Directorate for Domestic Veterinary Surveillance, Federal Veterinary and Phytosanitary Monitoring Service (Rosselkhoznadzor).

References/Список литературы

1. Shur PZ, Zaitseva NV. Health risk assessment when giving grounds for hygienic criteria of food products safety. Health Risk Analysis. 2018;(4):43–56. (In Russ.). https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.05

2. Shepelin AP, Dyatlov IA, Polosenko OV. Microbiological control of food products quality. Bacteriology. 2017;2(2):39–47. (In Russ.). [Шепелин А. П., Дятлов И. А., Полосенко О. В. Микробиологический контроль качества пищевой продукции // Бактериология. 2017. Т. 2. № 2. С. 39–47.]. https://elibrary.ru/OSZQBZ

3. Beczkiewicz ATE, Kowalcyk BB. Risk factors for *Salmonella* contamination of whole chicken carcasses following changes in U.S. regulatory oversight. Journal of Food Protection. 2021;84(10):1713–1721. https://doi.org/10.4315/JFP-21-144

4. Mbarga MJA, Desobgo SCZ, Tatsadjieu LN, Kavhiza N, Kalisa L. Antagonistic effects of raffia sap with probiotics against pathogenic microorganisms. Foods and Raw Materials. 2021;9(1):24–31. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-24-31

5. Kostenko YuG. Guidelines on microbiological sanitary and risk prevention in the production and storage of meat products. Moscow: TEKHNOSFERA; 2015. 640 p. (In Russ.). [Костенко Ю. Г. Руководство по санитарно-микробиологическим основам и предупреждению рисков при производстве и хранении мясной продукции. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. 640 с.].

6. Fedorenko EV, Kolomiets ND, Sychik SI. Actual problems of the microbiological safety of food products. Hygiene and Sanitation. 2016;95(9):873–878. (In Russ.). https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-9-873-878

7. Tulyakova TV, Kryukova EV, Paramonov GV. Problems of biological food safety. Bulletin of the Medical Institute of Continuing Education. 2022;(2):50–52. (In Russ.). https://doi.org/10.46393/27821714_2022_2_50

8. Malley TJV, Butts J, Wiedmann M. Seek and destroy process: *Listeria monocytogenes* process controls in the ready-to-eat meat and poultry industry. Journal of Food Protection. 2015;78(2):436–445. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-507

9. Salmonella outbreak in Sweden linked to chocolate wafers [Internet]. [cited 2023 Jan 09]. Available from: https://www.foodsafetynews.com/2021/04/salmonella-outbreak-in-sweden-linked-to-chocolate-wafers

10. Fifty infected with *Escherichia coli* in France after eating pizza [Internet]. [cited 2023 Jan 09]. Available from: https://vetandlife.ru/sobytiya/chislo-zarazhenij-kishechnoj-palochkoj-vo-francii-posle-upotrebleniya-piccy-vyroslo-do-50

11. Salmonella found in Kinder products in France [Internet]. [cited 2023 Jan 09]. Available from: https://vetandlife.ru/sobytiya/salmonellu-obnaruzhili-v-produkcii-kinder-vo-francii

12. Gosmanov RG. Microbiology. St. Petersburg: Lan′; 2017. 496 p. (In Russ.). [Госманов Р. Г. Микробиология. СПб.: Лань, 2017. 496 с.].

13. Tsukanov MF, Chernomorets AB. Technological aspects of the water activity indicator and its role in the quality of public catering products. Technico-tehnologicheskie Problemy Servisa. 2010;11(1):58–63. (In Russ.). [Цуканов М. Ф., Черноморец А. Б. Технологические аспекты показателя «активность воды» и его роль в обеспечении качества продукции общественного питания // Технико-технологические проблемы сервиса. 2010. Т. 11. № 1. С. 58–63.]. https://elibrary.ru/MNJDPH

14. Abdullaeva AM, Blinkova LP, Usha BV, Valitova RK, Hokkanen MA. Microbiological monitoring of contamination of poultry products. Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2020;35(3):291–303. (In Russ.). https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202003003

15. Abdullaeva AM. Assessment of the level of contamination in a retrospective analysis of poultry meat and poultry products. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2020;86(6):232–236. (In Russ.). https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-232-236

16. Bogomolova ES, D′yakova AO, Maksimenko EO, Olyushina EA. Microbiological and parasitological safety of food products: Retrospective analysis. Relevant Issues of Public Health Management: Proceedings of the V All-Russian Scientific and Practical Conference, Issue XV; 2022; Nizhny Novgorod. Nizhny Novgorod: Privolzhsky Research Medical University; 2022. p. 144–149. (In Russ.). [Ретроспективный анализ микробиологической и паразитологической безопасности пищевой продукции / Е. С. Богомолова [и др.] // Актуальные проблемы управления здоровьем населения: Сборник научных трудов V Всероссийской научно-практической конференции. Выпуск XV. Нижний Новгород, 2022. С. 144–149.]. https://elibrary.ru/TEOWEE

17. Yang S, Pei X, Yang D, Zhang H, Chen Q, Chui H, *et al.* Microbial contamination in bulk ready-to-eat meat products of China in 2016. Food Control. 2018;91:113–122. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.03.027

18. Vesta [Internet]. [cited 2023 Jan 10]. Available from: https://www.vetrf.ru/vetrf/vesta.html

19. RASFF Window [Internet]. [cited 2023 Jan 10]. Available from: https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/search?event=SearchForm&cleanSearch=1

20. Import of composite products to the EU. Questions and answers [Internet]. [cited 2023 Jan 10]. Available from: https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/importExport/eu/files/FAQ-Composite-products.pdf

21. Söderqvist K, Thisted-Lambertz S, Vågsholm I, Boqvist S. Foodborne bacterial pathogens in retail prepacked ready-to-eat mixed ingredient salads. Journal of Food Protection. 2016;79(6):978–985. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-515

22. Tseneva GYa, Solodovnikova NYu, Voskresenskaya EA. Molecular aspects of yersinia virulence. Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy. 2002;4(3):248–266. (In Russ.). [Ценева Г. Я., Солодовникова Н. Ю., Воскресенская Е. А. Молекулярные аспекты вирулентности иерсиний // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2002. Т. 4. № 3. С. 248–266.].

23. Chau ML, Aung KT, Hapuarachchi HC, Lee PSV, Lim PY, Lin JS, *et al.* Microbial survey of ready-to-eat salad ingredients sold at retail reveals the occurrence and the persistence of *Listeria monocytogenes* Sequence Types 2 and 87 in pre-packed smoked salmon. BMC Microbiology. 2017;17. https://doi.org/10.1186/s12866-017-0956-z

24. Söderqvist K. Is your lunch salad safe to eat? Occurrence of bacterial pathogens and potential for pathogen growth in pre-packed ready-to-eat mixed-ingredient salads. Infection Ecology and Epidemiology. 2017;7(1). https://doi.org/10.1080/20008686.2017.1407216

25. Møretrø T, Langsrud S. *Listeria monocytogenes*: Biofilm formation and persistence in food-processing environments. Biofilms. 2004;1(2):107–121. https://doi.org/10.1017/S1479050504001322

26. Mataragas M, Skandamis PN, Drosinos EH. Risk profiles of pork and poultry meat and risk ratings of various pathogen/product combinations. International Journal of Food Microbiology. 2008;126(1–2):1–12. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.05.014

27. Meyer C, Fredriksson-Ahomaa M, Kleta S, Ellerbroek L, Thiel S, Märtlbauer E. Occurrence of *L. monocytogenes* in ready-to-eat poultry products available on the German market. Food Research International. 2012;48(2):944–947. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.02.022

28. Smith AM, Tau NP, Smouse SL, Allam M, Ismail A, Ramalwa NR, *et al.* Outbreak of *Listeria monocytogenes* in South Africa, 2017–2018: Laboratory activities and experiences associated with whole-genome sequencing analysis of isolates. Foodborne Pathogens and Disease. 2019;16(7):524–530. https://doi.org/10.1089/fpd.2018.2586

29. Henriques AR, Cristino JM, Fraqueza MJ. Genetic characterization of *Listeria monocytogenes* isolates from industrial and retail ready-to-eat meat-based foods and their relationship with clinical strains from human listeriosis in Portugal. Journal of Food Protection. 2017;80(4):551–560. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-16-310

30. Maćkiw E, Korsak D, Kowalska J, Felix B, Stasiak M, Kucharek K, *et al.* Genetic diversity of *Listeria monocytogenes* isolated from ready-to-eat food products in retail in Poland. International Journal of Food Microbiology. 2021;358. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109397

31. Park M-S, Wang J, Park J-H, Forghani F, Moon J-S, Deog-Hwan O. Analysis of microbiological contamination in mixed pressed ham and cooked sausage in Korea. Journal of Food Protection. 2014;77(3):412–418. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-322

32. Caggiano G, Dambrosio A, Ioanna F, Balbino S, Barbuti G, De Giglio O, *et al.* Prevalence and characterization of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* isolates in food industry workers. Annali di Igiene: Medicina Preventiva e di Comunita. 2016;28:8–14. https://doi.org/10.7416/ai.2016.2080

33. Balbutskaya AA, Dmitrenko OA, Skvortsov VN. The modern characteristics of species identification of coagulase-positive bacteria of genus. Clinical Laboratory Diagnostics. 2017;62(8):497–502. (In Russ.). [Балбуцкая А. А., Дмитренко О. А., Скворцов В. Н. Современные особенности видовой идентификации коагулазоположительных бактерий рода *Staphylococcus* // Клиническая лабораторная диагностика. 2017. Т. 62. № 8. С. 497–502.]. https://elibrary.ru/ZFMCYL

34. Fijałkowski K, Peitler D, Karakulska J. Staphylococci isolated from ready-to-eat meat – Identification, antibiotic resistance and toxin gene profile. International Journal of Food Microbiology. 2016;238:113–120. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.001

35. Gelbíčová T, Brodíková K, Karpíšková R. Livestock-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in Czech retailed ready-to-eat meat products. International Journal of Food Microbiology. 2022;374. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109727

36. Ethelberg S, Smith B, Torpdahl M, Lisby M, Boel J, Jensen T, *et al.* An outbreak of verocytotoxin-producing Escherichia coli O26:H11 caused by beef sausage, Denmark 2007. Eurosurveillance. 2007;12(22). https://doi.org/10.2807/esw.12.22.03208-en

37. Dewey-Mattia D, Manikonda K, Hall AJ, Wise ME, Crowe SJ. Surveillance for foodborne disease outbreaks – United States, 2009–2015. Morbidity and Mortality Weekly Report. Surveillance Summaries. 2018;67(10):1–11. https://doi.org/10.15585/mmwr.ss6710a1

38. Risks for public health related to the presence of *Bacillus cereus* and other *Bacillus* spp. including *Bacillus thuringiensis* in foodstuffs. EFSA Journal. 2016;14(7). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4524

39. Webb MD, Barker GC, Goodburn KE, Peck MW. Risk presented to minimally processed chilled foods by psychrotrophic *Bacillus cereus*. Trends in Food Science and Technology. 2019;93:94–105. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.024

40. Berthold-Pluta A, Pluta A, Garbowska M, Stefańska I. Prevalence and toxicity characterization of *Bacillus cereus* in food products from Poland. Foods. 2019;8(7). https://doi.org/10.3390/foods8070269

41. Caggiano G, Diella G, Trerotoli P, Lopuzzo M, Triggiano F, Ricci M, *et al.* A pilot survey on hygienic-sanitary characteristics of ready-to-eat sauces and pesto. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(14). https://doi.org/10.3390/ijerph17145005

42. Orsi RH, Wiedmann M. Characteristics and distribution of *Listeria* spp., including *Listeria* species newly described since 2009. Applied Microbiology and Biotechnology. 2016;100:5273–5287. https://doi.org/10.1007/s00253-016-7552-2

43. Dailey RC, Welch LJ, Hitchins AD, Smiley RD. Effect of *Listeria seeligeri* or *Listeria welshimeri* on *Listeria monocytogenes* detection in and recovery from buffered *Listeria* enrichment broth. Food Microbiology. 2015;46:528–534. https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.09.008

44. Caggiano G, De Giglio O, Lovero G, Rutigliano S, Diella G, Balbino S, *et al.* Detection of Listeria *monocytogenes* in ready-to-eat foods sampled from a catering service in Apulia, Italy. Annali di Igiene: Medicina Preventiva e di Comunità. 2015;27:590–594. https://doi.org/10.7416/ai.2015.2050

45. Perrin M, Bemer M, Delamare C. Fatal case of *Listeria innocua* bacteremia. Journal of Clinical Microbiology. 2003;41(11):5308–5309. https://doi.org/10.1128/JCM.41.11.5308-5309.2003

46. Commission Regulation (EC) No 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs [Internet]. [cited 2023 Jan 12]. Available from: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02005R2073-20200308

47. Keerthirathne TP, Ross K, Fallowfield H, Whiley H. The combined effect of pH and temperature on the survival of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and implications for the preparation of raw egg mayonnaise. Pathogens. 2019;8(4). https://doi.org/10.3390/pathogens8040218

48. Louis MES, Morse DL, Potter ME, DeMelfi TM, Guzewich JJ, Tauxe RV, *et al.* The emergence of grade a eggs as a major source of Salmonella enteritidis infections: New implications for the control of salmonellosis. JAMA. 1988;259(14):2103–2107. https://doi.org/10.1001/jama.1988.03720140023028

49. Chousalkar KK, Sexton M, McWhorter A, Hewson K, Martin G, Shadbolt C, *et al. Salmonella typhimurium* in the Australian egg industry: Multidisciplinary approach to addressing the public health challenge and future directions. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017;57(12):2706–2711. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1113928

50. Patrick ME, Adcock PM, Gomez TM, Altekruse SF, Holland BH, Tauxe RV, *et al. Salmonella* enteritidis infections, United States, 1985–1999. Emerging Infectious Diseases. 2004;10(1):1–7. https://doi.org/10.3201/eid1001.020572

51. Kenny B, Miller MJ, McEvoy V, Centofanti A, Stevens CP, Housen T. A protracted outbreak of *Salmonella* Hessarek infection associated with one brand of eggs – South Australia, March 2017–July 2018. Communicable Diseases Intelligence. 2019;43. https://doi.org/10.33321/cdi.2019.43.22

52. Hennessy TW, Hedberg CW, Slutsker L, White KE, Besser-Wiek JM, Moen ME, *et al.* A national outbreak of Salmonella enteritidis infections from ice cream. The New England Journal of Medicine. 1996;334(20):1281–1286. https://doi.org/10.1056/NEJM199605163342001

53. Vought KJ, Tatini SR. *Salmonella enteritidis* contamination of ice cream associated with a 1994 multistate outbreak. Journal of Food Protection. 1998;61(1):5–10. https://doi.org/10.4315/0362-028X-61.1.5

54. El-Hajjaji S, Gérard A, de Laubier J, Di Tanna S, Lainé A, Patz V, *et al.* Assessment of growth and survival of *Listeria monocytogenes* in raw milk butter by durability tests. International Journal of Food Microbiology. 2020;321. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108541

55. Efimochkina NR, Sheveleva SA, Nityaga IM, Stankevich AA, Romanenko OS. The most significant species of microorganisms in separate groups of foodstuff. Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2019;32(4):417–427. (In Russ.). https://doi.org/10.25725/vet.san.hyg.ecol.201904013

56. Tatarnikova NA, Maul OG. Pathogenic microflora of meat and meat products. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015;51(1):87–89. (In Russ.). [Татарникова Н. А., Мауль О. Г. Патогенная микрофлора мяса и мясных продуктов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. Т. 51. № 1. С. 87–89.]. https://elibrary.ru/TKKXUH

57. Bataeva DS, Yushina YuK, Zaiko EV. Identification of the microbiological risks of contamination of cattle and pig carcasses with pathogens at slaughter and processing. Theory and Practice of Meat Processing. 2016;1(2):34–41. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-2-34-41

58. Boeva SV. Microbial contamination of cattle carcasses at various slaughter stages. Students' Contribution to Science and Practice of the Agro-Industrial Complex: Proceedings of 107th International Scientific and Practical Conference of Bachelors and Masters. In 2 parts; 2022; Vitebsk. Vitebsk: Vitebsk State Akademy or Veterinary Medicine; 2022. p. 29–30. (In Russ.). [Боева С. В. Контаминация туш крупного рогатого скота микроорганизмами на различных этапах убоя // Студенты – науке и практике АПК: Материалы 107-й Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов. В 2-х частях. Витебск, 2022. С. 29–30.]. https://elibrary.ru/YLIQWC

59. Shcherbinin AV, Mezentsev SV, Spirkina OS. Listeriae in the products of meat-processing companies. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2014;118(8):101–104. (In Russ.). [Щербинин А. В., Мезенцев С. В., Спиркина О. С. Листерии в продукции мясоперерабатывающих предприятий // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. Т. 118. № 8. С. 101–104.]. https://elibrary.ru/SMSYTN

60. Makarov VA, Frolov VP, Shuklin NF. Veterinary and sanitary expertise: basic technology and standardization of livestock products. Moscow: Agropromizdat; 1991. 463 p. (In Russ.). [Макаров В. А., Фролов В. П., Шуклин Н. Ф. Ветеринарно-санитарная экспертиза с основами технологии и стандартизации продуктов животноводства. М.: Агропромиздат, 1991. 463 с.].

61. Seryogin IG, Nikitchenko DV, Abdullayeva AM. Morphological composition of carcasses and muscle development of eland antelope. RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2017;12(2):201–209. (In Russ.). https://doi.org/10.22363/2312-797X-2017-12-2-201-209

62. Abdullaeva AM, Seryogin IG, Nikitchenko VE. Microbiological monitoring of commercial poultry meat semi-finished products. RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2017;12(4):350–358. (In Russ.). https://doi.org/10.22363/2312-797X-2017-12-4-350-358

63. Filatova VI. Microbiological control of food products of animal origin. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2022;(1):104–109. (In Russ.). https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.1.104

64. Sabanchieva LK, Karashaev MF. Scientific concept of maintaining microbiological safety of poultry production. Sustainable development: problems, concepts, and models: Proceedings of the All-Russian Conference with international participation; 2017; Nalchik. Nalchik: Kabardino-Balkar Scientific Center of the RAS; 2017. p. 306–308. (In Russ.). [Сабанчиева Л. К., Карашаев М. Ф. Научная концепция обеспечения микробиологической безопасности продукции птицеводства // Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Нальчик, 2017. С. 306–308.]. https://elibrary.ru/ZFEYHJ

65. Lazhentseva LYu, Shul′gin YuP. Microbiological risks of raw materials and products from the Far Eastern salmon. Bulletin of the Pacific State Economic University. 2007;41(1):68–74. (In Russ.). [Лаженцева Л. Ю., Шульгин Ю. П. Микробиологические риски сырья и продукции из дальневосточных лососевых рыб // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. 2007. Т. 41. № 1. С. 68–74.]. https://elibrary.ru/JXQRBX

66. Sych AG, Anokhina ON. Microflora development in semi-finished fish products during storage. Innovative Technologies in the Food Industry: science, education, and production: Proceedings of the Extra-Mural International Scientific and Technical Conference; 2013; Voronezh. Voronezh: Voronezh State Technological Academy; 2013. p. 159–163. (In Russ.). [Сыч А. Г., Анохина О. Н. Исследование динамики развития микрофлоры при хранении рыбных кулинарных полуфабрикатов // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: сборник трудов Международной научно-технической конференции (заочная). Воронеж, 2013. С. 159–163.]. https://elibrary.ru/TDCYZB

67. Smirnov AM, Kartashova VM. Features of the microbial contamination of refrigerated milk and its effect on the milk products quality. Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2012;7(1):42–46. (In Russ.). [Смирнов А. М., Карташова В. М. Особенности микробной контаминации охлажденного молока и влияние ее на качество молочных продуктов // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2012. Т. 7. № 1. С. 42–46.]. https://elibrary.ru/PCQLXR

68. Sviridenko GM, Zakharova MB, Ivanova NV. Evaluation of microbiological risks in cream as a raw material for buttermaking. Food Systems. 2021;4(4):259–268. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-259-268

69. Polyakova SP, Voronkova NE, Khokhlova EA. Safety of confectionery in the production control. Bread Products. 2012;(9):60–63. (In Russ.). [Полякова С. П., Воронкова Н. Е., Хохлова Е. А. Обеспечение безопасности мучных кондитерских изделий в рамках производственного контроля // Хлебопродукты. 2012. № 9. С. 60–63.]. https://elibrary.ru/PCHKRD

70. Ganina VI, Grinevich AI, Loiko NG, Guchok ZhL. Microbiological safety of the milk raw materials. Dairy Industry. 2015;(11):22–23. (In Russ.). [Микробиологическая безопасность молочного сырья / В. И. Ганина [и др.] // Молочная промышленность. 2015. № 11. С. 22–23.]. https://elibrary.ru/UXVGNB

71. Sviridenko GM, Kalabushkin VV, Shishkina AN, Uskova EE. Research on the possibility of extending the shelf life of cheese raw material and heat-treated cheese by their freezing for further use in HoReCa. Food Systems. 2020;3(4):39–44. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-4-39-44

72. Efimochkina NR, Bykova IB, Stetsenko VV, Minaeva LP, Pichugina TV, Markova YuM, *et al.* The study of the contamination and the levels of Campylobacter spp. during the processing of selected types of foods. Problems of Nutrition. 2016;85(5):52–59. (In Russ.). [Изучение характера контаминации и уровней содержания бактерий рода Campylobacter в отдельных видах пищевой продукции / Н. Р. Ефимочкина [и др.] // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № 5. С. 52–59.]. https://elibrary.ru/WYMSNF

73. Kharitonov DV, Dobriyan EI, Il'ina AM. Study of microbiological background of herbal ingredients and dairy-vegetable compositions. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2016;69(3):159–163. (In Russ.). https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-3-159-163

74. Sheveleva SA, Efimochkina NR, Bykova IB, Batishcheva SYu. Substantiating microbiological safety indicators for new food products. Problems of Nutrition. 2014;83(S3):162. (In Russ.). [Обоснование микробиологических показателей безопасности для новых видов пищевой продукции / С. А. Шевелева [и др.] // Вопросы питания. 2014. Т. 83. № S3. С. 162.]. https://elibrary.ru/XCEWKD

75. Lubimova LV, Kupin GA, Vlasov PA, Bugayets NA. Processing electromagnetic field of culinary products for process control microbiological damage. Scientific Works of the Kuban State Technological University. 2016;(14):204–209. (In Russ.). [Обработка электромагнитным полем кулинарной продукции для управления процессами микробиологической порчи / Л. В. Любимова [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2016. № 14. С. 204–209.]. https://elibrary.ru/ZHJRIX

76. Zakharova II. Modern methods of cooling culinary products and raw materials in the food industry. Agro Production and Econimics Journal. 2020;(1):7–13. (In Russ.). [Захарова И. И. Современные методы охлаждения кулинарной продукции и сырья в индустрии питания // Агропродовольственная экономика. 2020. № 1. С. 7–13.]. https://elibrary.ru/WKXDZM

77. Baranenko DA, Zabelina NA. Meat and meat products spoilage microflora vital functions suppression by means of hurdle technology. Food Production Processes and Equipment. 2011;(1):238–245. (In Russ.). [Бараненко Д. А., Забелина Н. А. Подавление жизнедеятельности микрофлоры порчи мяса и мясопродуктов с помощью барьерной технологии // Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. № 1. С. 238–245.]. https://elibrary.ru/NDKBZR

78. Gonotskiy VA, Kozak SS, Dubrovskiy NV, Dubrovskaya VI, Gonotskaya VA. Effective bacteriostatics as a guarantee of microbiological safety of semi-finished products during storage. In: Gushchin VV, editor. New Methods and Technologies of Processing Poultry and eggs: Collection of scientific papers. Rzhavki: VNIIPP; 2011. pp. 83–88. (In Russ.). [Эффективные бактериостатики – залог микробиологической безопасности полуфабрикатов в процессе хранения / В. А. Гоноцкий [и др.] // Новое в технике и технологии переработки птицы и яиц: Сборник научных трудов / под ред. В. В. Гущина. Ржавки: ВНИИПП, 2011. С. 83–88.]. https://elibrary.ru/UAWYDZ

79. Kostenko YuG, Bataeva DS, Krasnova MA. Chilled pork with a long shelf life: Sanitary and microbiological production aspects. Meat Industry. 2009;(4):66–67. (In Russ.). [Костенко Ю. Г., Батаева Д. С., Краснова М. А. Санитарно-микробиологические аспекты производства охлажденной свинины длительного срока годности // Мясная индустрия. 2009. № 4. С. 66–67.]. https://elibrary.ru/KUEMNP

80. Menéndez R, Rendueles E, Sanz JJ, Capita R, García-Fernández C. Behavior of *Listeria monocytogenes* in sliced ready-to-eat meat products packaged under vacuum or modified atmosphere conditions. Journal of Food Protection. 2015;78(10):1891–1895. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-103

81. Horita CN, Baptista RC, Caturla MYR, Lorenzo JM, Barba FJ, Sant'Ana AS. Combining reformulation, active packaging and non-thermal post-packaging decontamination technologies to increase the microbiological quality and safety of cooked ready-to-eat meat products. Trends in Food Science and Technology. 2018;72:45–61. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.003

82. Abdullaeva AM, Blinkova LP, Pershina TA, Udavliev DI, Satyukova LP, Pakhomov YuD, *et al.* Testing of bacteriophages as safe means of protection of minced chicken from contamination by microorganisms. Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2019;31(3):259–265. (In Russ.). https://doi.org/10.25725/vet.san.hyg.ecol.201903004

83. Fomushkin VI, Blagoveshchenskaya MM, Nosenko SM, Blagoveshchenskii IG. The automated expert system for raw meat microbiological spoilage risks monitoring. Food Industry. 2015;(6):14–17. (In Russ.). [Интеллектуальная экспертная автоматизированная система контроля рисков микробиологической порчи мясного сырья / В. И. Фомушкин [и др.] // Пищевая промышленность. 2015. № 6. С. 14–17.]. https://elibrary.ru/ULRKYH