



Бактерии рода сальмонелла в кормах для сельскохозяйственных животных. Обзор

Н. Б. Шадрова¹, О. В. Прунтова², Г. С. Скитович³, О. А. Акулич⁴

^{1,2,3} ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»), г. Владимир, Россия

⁴ Управление Россельхознадзора по Владимирской, Костромской и Ивановской областям, г. Владимир, Россия

¹ <https://orcid.org/0000-0001-7510-1269>, e-mail: shadrova@arriah.ru

² <https://orcid.org/0000-0003-3143-7339>, e-mail: pruntova@arriah.ru

³ <https://orcid.org/0000-0003-0714-3912>, e-mail: skitovich@arriah.ru

⁴ e-mail: vladvetnadzor@mail.ru

РЕЗЮМЕ

В обзоре представлен анализ данных по исследованию кормов для сельскохозяйственных животных, подготовленный на основании сведений из научных публикаций за период с 1955 по 2020 г. Установлено, что общая комбинированная оценка распространенности выявления сальмонелл составила 0,14 с распространенностью 0,18 в компонентах сырого корма, 0,09 – в готовом корме и 0,08 – в смывах с поверхностей комбикормового оборудования. Вероятность заражения сальмонеллой компонентов сырого корма животного происхождения в 3,9 раза выше, чем компонентов сырого корма растительного происхождения. Отмечена тенденция к сокращению выявления бактерий рода *Salmonella* в сырьевых компонентах кормов, в то время как выявляемость в готовых кормах остается неизменной на протяжении десятилетий. Превалентность сальмонелл при исследовании проб, отобранных с объектов окружающей среды и поверхностей оборудования комбикормовых заводов, составила 0,08. Риск выявления сальмонелл на предприятиях по производству кормов в зоне предтермической обработки был в 1,5 раза выше, чем риск обнаружения в зоне посттермической обработки. При анализе серовариантного состава сальмонелл установлено, что *S. senftenberg*, *S. montevideo*, *S. typhimurium*, *S. anatum*, *S. havana*, *S. enteritidis*, *S. cerro* выделяют повсеместно. Серотип *S. salford* встречается только на территории Африканского континента. При изучении антибиотикорезистентности изолятов сальмонелл отмечена устойчивость к таким препаратам, как цефтриаксон, карбапенем и имипенем, а полногеномное секвенирование показало наличие по крайней мере одного гена антибиотикорезистентности у 40% изолятов сальмонелл, выделенных на заводах по производству комбикормов для свиней.

Ключевые слова: обзор, *Salmonella*, корма для сельскохозяйственных животных, распространенность сальмонелл, антибиотикорезистентность

Благодарность: Работа выполнена за счет средств ФГБУ «ВНИИЗЖ» в рамках тематики научно-исследовательских работ «Ветеринарное благополучие».

Для цитирования: Шадрова Н. Б., Прунтова О. В., Скитович Г. С., Акулич О. А. Бактерии рода сальмонелла в кормах для сельскохозяйственных животных. Обзор. *Ветеринария сегодня*. 2022; 11 (4): 290–295. DOI: 10.29326/2304-196X-2022-11-4-290-295.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Шадрова Наталья Борисовна, кандидат биологических наук, заведующий отделом микробиологических исследований ФГБУ «ВНИИЗЖ», 600901, Россия, г. Владимир, мкр. Юрьевец, e-mail: shadrova@arriah.ru.

Salmonella bacteria in farm animal feeds. Review

N. B. Shadrova¹, O. V. Pruntova², G. S. Skitovich³, O. A. Akulich⁴

^{1,2,3} FGBI "Federal Centre for Animal Health" (FGBI "ARRIAH"), Vladimir, Russia

⁴ Rosselkhoznadzor Territorial Administration for Vladimir, Kostroma and Ivanovo Oblasts, Vladimir, Russia

¹ <https://orcid.org/0000-0001-7510-1269>, e-mail: shadrova@arriah.ru

² <https://orcid.org/0000-0003-3143-7339>, e-mail: pruntova@arriah.ru

³ <https://orcid.org/0000-0003-0714-3912>, e-mail: skitovich@arriah.ru

⁴ e-mail: vladvetnadzor@mail.ru

SUMMARY

This review provides a data analysis of the test results for farm animal feeds. The analysis is based on the articles published from 1955 to 2020. It was found that the overall pooled prevalence estimates of *Salmonella* was 0.14: with a prevalence of 0.18 in raw feed components, 0.09 – in finished feed and 0.08 – in swabs from the surfaces of feed production equipment. The probability of contaminating raw animal feed components with *Salmonella* is 3.9 times higher than that for raw vegetable feeds. There is a tendency for *Salmonella* to be less detected in raw feed components; however, in finished feeds *Salmonella* detectability has remained unchanged for decades. The *Salmonella* prevalence in samples taken from environmental objects and surfaces of feed mill production equipment was 0.08. The risk of *Salmonella* detection at feed mills in the pre-heat treatment zone was 1.5 times higher than the risk of detection in the post-heat treatment zone. The analysis of *Salmonella* serovariants revealed that *S. senftenberg*, *S. montevideo*, *S. typhimurium*, *S. anatum*, *S. havana*, *S. enteritidis*, *S. cerro* are isolated everywhere. The *S. salford* serotype is found only on the African continent. A research into antimicrobial resistance of *Salmonella* isolates demonstrated resistance to such medicinal

products as ceftriaxone, carbapenem and imipenem; and full genome sequencing showed at least one antibiotic resistance gene in 40% of *Salmonella* isolates detected at pig feed production plants.

Keywords: review, *Salmonella*, farm animal feed, *Salmonella* prevalence, antimicrobial resistance

Acknowledgements: The study was funded by the FGBl "ARRIAH" within the framework of "Veterinary Welfare" research work.

For citation: Shadrova N. B., Pruntova O. V., Skitovich G. S., Akulich O. A. *Salmonella* bacteria in farm animal feeds. Review. *Veterinary Science Today*. 2022; 11 (4): 290–295. DOI: 10.29326/2304-196X-2022-11-4-290-295.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For correspondence: Natalya B. Shadrova, Candidate of Science (Biology), Head of Department for Microbiological Testing, FGBl "ARRIAH", 600901, Russia, Vladimir, Yur'evets, e-mail: shadrova@arriah.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность и качество таких пищевых продуктов, как мясо, молоко и яйца, зависят от безопасности и качества кормов для животных [1]. Промышленные системы животноводства используют рецептурные комбикорма, производимые на коммерческих комбикормовых заводах. Комбикормовая промышленность представляет собой сложную структуру, состоящую из комбикормовых заводов, заводов по переработке крупяного сырья и производству белково-витаминных добавок [2]. Зерно, побочные продукты мукомольного производства, побочные продукты животного происхождения, витаминные и минеральные добавки, а также жиры и масла являются типичными ингредиентами кормов. Патогенные организмы, такие как сальмонелла, могут попасть на комбикормовый завод с сырьевыми компонентами корма, выжить при переработке, заразить сельскохозяйственных животных и далее контаминировать пищевые продукты, потребляемые человеком, что иногда приводит к вспышкам пищевых токсикоинфекций [1, 3–6].

При перемещении кормов и кормовых ингредиентов в рамках внутренней или международной торговли создаются риски для распространения патогенов на новых территориях [7].

Всемирная организация здравоохранения животных признала влияние качества кормов для животных на здоровье людей и животных, посвятив этому вопросу главу Кодекса здоровья наземных животных «Контроль рисков для здоровья животных и значимость кормов для общественного здравоохранения» [7]. Этот раздел дополняется рекомендациями Комиссии Codex Alimentarius, изложенными в «Руководстве по применению оценки риска для кормов» [8].

Цель данной работы состоит в анализе данных научных публикаций о распространенности бактерий рода сальмонелла в комбикормах, а также в характеристике основных серотипов сальмонелл, обнаруживаемых в компонентах сырых кормов, на поверхностях мукомольного оборудования и в готовых кормах.

РИСК, СВЯЗАННЫЙ С ОТБОРОМ ПРОБ, И ВЫЯВЛЯЕМОСТЬ САЛЬМОНЕЛЛ

При проведении исследований по распространенности бактерий рода сальмонелла основной источник систематической ошибки связан с методом отбора проб. На практике очень немногие специалисты при-

меняют процедуру рандомизации для сбора образцов, чаще пробы отбираются исходя из готовности субъектов (комбикормовые заводы, поставщики сырьевых компонентов кормов и розничные торговые точки) принять участие в исследовании.

Parker E. M. et al. оценили источники выявления сальмонелл и рассчитали значение систематической ошибки, связанной с процедурой отбора проб [9]. Davies R. H. and Wray C. установили, что сбор пыли с поверхностей оборудования и объектов окружающей среды комбикормовых заводов может обеспечить репрезентативную выборку материалов, перерабатываемых на предприятии, в части содержания в них сальмонелл [10].

Из-за неравномерности распределения сальмонелл в партии компонентов сырого или готового корма для создания репрезентативной составной пробы требуется несколько подвыборок из случайных мест в партии. D. McChesney et al. [11] с помощью формулы:

$$\frac{\ln(a)}{\ln(q)} = n,$$

где n – количество проб;

a – (1 – доверительный интервал);

q – (1 – ожидаемая превалентность),

рассчитали, что для проведения испытания требуется отобрать 30 проб, чтобы с 95%-й вероятностью обнаружить сальмонеллы в партии корма при условии заражения патогеном 10% партии корма:

$$\frac{\ln(0,5)}{\ln(0,9)} = 30.$$

На основе данной формулы E. M. Parker et al. для выявления сальмонелл определили показатель «вероятности обнаружения» (DP , detection probability) для каждого исследования, который рассчитывался исходя из количества проб, собранных для формирования составной выборки для проведения микробиологического анализа [9]:

$$1 - e^{\ln(q) \times n} = DP.$$

Например, если для создания составной выборки из большого количества корма были отобраны четыре пробы, показатель DP будет равен:

$$1 - e^{\ln(0,9) \times 4} = 0,34.$$

То есть вероятность обнаружения сальмонелл составит 0,34, если они присутствуют в 10% партии, тогда как для 95%-й достоверности выявления бактерий необходимо отобрать 60 проб, и это при условии, что только 5% партии загрязнены. На практике немногие исследователи отбирают такое количество проб. Таким образом, сообщаемая распространенность заражения сальмонеллой в готовых кормах часто является недооценкой истинной распространенности.

По данным E. M. Parker et al., показатель выявления сальмонелл во всех типах образцов с 1955 по 2020 г. составил 0,14 (0,11–0,17) при доверительном интервале, равном 95%. Было отмечено отсутствие влияния региона отбора образцов на распространение сальмонелл. Однако с течением времени наблюдалось снижение распространенности бактерий рода сальмонелла в сырье для комбикормов [9].

Ряд авторов связывают тенденцию к сокращению выявления сальмонелл в комбикормовом сырье с внедрением на предприятиях по производству кормов принципов надлежащей производственной практики (GMP), которые включают мониторинг микробной обсемененности сырья и готового продукта [12–14]. Однако, несмотря на все усилия по оценке условий производства, показатель превалентности (отношение количества положительных проб к количеству отобранных образцов) сальмонелл в готовых кормах остается в течение десятилетий на уровне 0,09 [9].

САЛЬМОНЕЛЛА В СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТАХ КОРМА

Общая распространенность обнаружения сальмонелл в сырье для комбикорма была рассчитана E. M. Parker et al. на основании 67 исследований и составила 0,18 (0,13–0,22) при уровне значимости 0,95 [10]. Авторы ряда работ сравнивали распространенность бактерий рода сальмонелла среди животных и растительных компонентов и установили, что риск обнаружения сальмонелл в составляющих сырого корма животного происхождения был в 3,9 раза выше, чем риск выявления в компонентах сырого корма растительного происхождения (2,5–6,1 при 95%-м доверительном интервале; $P < 0,001$) [15–23].

САЛЬМОНЕЛЛА В ГОТОВОМ КОРМЕ

При анализе опубликованных данных по обнаружению сальмонелл в готовых кормах была рассчитана величина выявления бактерий, которая составила 0,09 (0,06–0,11; 95%-й доверительный интервал), то есть в 2 раза ниже, чем в кормовом сырье. Исследователи отмечают, что не было никакой разницы в риске обнаружения сальмонеллы в корме для жвачных по сравнению с кормом для животных с однокамерным желудком (свиньи, птица) [3, 15, 16, 24–29].

САЛЬМОНЕЛЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ КОМБИКОРМОВОГО ЗАВОДА И ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Отбор проб из окружающей среды комбикормового завода и с поверхностей оборудования является чувствительным методом обнаружения сальмонелл [1, 30–33]. Производители комбикорма ограничивают применение жидких дезинфицирующих средств в рамках защиты окружающей среды

и оборудования на комбикормовом заводе [34]. Поэтому тщательная очистка оборудования и производственных помещений зависит от таких процессов, как физическое соскабливание для удаления органических веществ и удаление пыли. Пыль на оборудовании и вокруг него может служить удобным объектом для исследований [10, 35]. Как показывают результаты, полученные рядом авторов, выявляемость сальмонеллы на поверхности оборудования комбикормовых заводов и в окружающей их среде составляет 0,08 (0,05–0,14 при 95%-м доверительном интервале). Было установлено, что риск обнаружения сальмонелл в зоне предтермической обработки в 1,5 раза (1,03–2,17 при доверительном интервале 95%) превышал риск выявления в зоне посттермической обработки комбикормового сырья [3, 16, 26, 36–39].

Основным источником загрязнения окружающей среды и оборудования завода является попадание зараженных сырьевых компонентов корма. Таким образом, в рамках риск-ориентированного подхода целесообразно предполагать, что все сырьевые ингредиенты корма заражены, поэтому необходимо осуществлять систему контроля микробиологической безопасности, опираясь на это предположение [35]. Кроме того, сальмонелла, находясь в составе корма, богатого жиром и с низкой активностью воды, может пережить стадию тепловой обработки, перейти в фазу роста в теплых и влажных условиях и сформировать биопленки на поверхностях оборудования, которые потенциально могут стать источником заражения корма [40–42].

Надлежащая производственная практика на комбикормовом заводе основывается на разделении на зоны, в которых хранятся и обрабатываются сырьевые компоненты корма (грязная зона), и зоны фасовки кормов (чистая зона) [28]. Это влечет за собой контроль потока персонала, оборудования и воздуха из грязных в чистые зоны предприятия.

СЕРОВАРИАНТНЫЙ СОСТАВ ИЗОЛЯТОВ САЛЬМОНЕЛЛ

За период с 1955 по 2020 г. в научной литературе описано выявление 19 690 изолятов *Salmonella* из кормов и кормовых компонентов, среди которых было установлено 334 различных серотипа. Основные выявляемые серотипы обобщены в таблице. Из данных, представленных в ней, следует, что большинство серотипированных изолятов было изучено в странах Европы (59%). На долю изолятов, выделенных из кормов на территории стран Американского континента, приходится 17%, Африки – 12%, Западно-Тихоокеанского региона – 10%, Восточного Средиземноморья – 0,8%, Юго-Восточной Азии – 0,7%. Но, несмотря на значительную диспропорцию в данных по серотипированию сальмонелл в лабораториях различных стран, такие сероварианты, как *S. senftenberg* (11% от общего количества серотипированных изолятов), *S. montevideo* (3,8%), *S. typhimurium* (3,7%), *S. anatum* (3,4%), *S. havana* (1,6%), *S. enteritidis* (1,3%), *S. cerro* (0,97%), встречаются на всех континентах. При этом выявление серотипа *S. salford* зафиксировано только на Африканском континенте.

Бактерии *S. typhimurium* широко распространены во всем мире и чаще всего обнаруживаются у свиней и в продуктах из свинины, тогда как *S. enteritidis* выявляют у домашней птицы, а *S. anatum* – в говядине. Такие серотипы, как *S. agona*, *S. montevideo* и *S. infantis*,

Таблица

Серотипы *Salmonella*, выделенные из кормов, кормовых компонентов, оборудования и объектов окружающей среды комбикормовых заводов за период с 1955 по 2020 г. (по данным E. M. Parker et al. [9])

Table

Salmonella serotypes isolated from feed, feed components, equipment and environmental objects of feed mills, from 1955 to 2020

(according to E. M. Parker et al. [9])

№ п/п	Серотип	Количество выявленных изолятов по регионам						
		Всего	Европа	Америка	Западно-Тихоокеанский (Китай, Япония, Корея, Новая Зеландия, Австралия Монголия, Вьетнам)	Восточное Средиземноморье (Афганистан, Египет, Иран, Ирак, Марокко, Сирия, Пакистан, Тунис)	Юго-Восточная Азия (Бангладеш, Индия, Непал, Таиланд, Индонезия)	Африка
1	<i>S. mbandaka</i>	2348	2035	126	111	0	2	74
2	<i>S. senftenberg</i>	2187	1671	285	184	4	7	36
3	<i>S. tennessee</i>	2072	1748	133	183	5	3	0
4	<i>S. agona</i>	1374	1179	56	136	0	3	0
5	<i>S. montevideo</i>	758	376	327	10	6	2	37
6	<i>S. typhimurium</i>	734	551	45	61	5	33	39
7	<i>S. anatum</i>	676	268	146	206	3	9	39
8	<i>S. infantis</i>	522	298	87	61	0	1	71
9	<i>S. binza</i>	506	250	127	3	2	0	0
10	<i>S. salford</i>	458	0	0	0	0	0	458
11	<i>S. schwarzengrund</i>	360	65	55	8	0	3	229
12	<i>S. cubana</i>	325	147	134	43	1	0	0
13	<i>S. havana</i>	323	157	21	84	2	4	55
14	<i>S. livingstone</i>	298	184	62	43	9	0	0
15	<i>S. enteritidis</i>	255	197	16	31	1	4	6
16	<i>S. orion</i>	228	21	49	77	0	3	78
17	<i>S. cerro</i>	191	14	121	40	5	1	10
18	<i>S. oranienburg</i>	190	44	114	20	0	0	12
19	<i>S. eimsbuettel</i>	188	13	134	41	0	0	0
20	<i>S. bredeney</i>	183	46	123	13	1	0	0
Всего серотипированных изолятов		19 690	11 664	3379	2011	160	140	2331

также входят в десятку наиболее часто регистрируемых серотипов, выявляемых в пищевых продуктах животного происхождения, и также связаны с болезнями пищевого происхождения у людей [43, 44]. *S. enteritidis* является наиболее часто встречающимся серотипом сальмонеллы, имеющим значение для общественного здравоохранения в США и Европе, и вторым в Австралии [45]. Таким образом, серовариантный пейзаж сальмонелл, установленный для кормов, соответствует разнообразию основных серотипов, выявляемых при исследовании продукции животноводства и расследовании случаев сальмонеллеза у людей.

АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ САЛЬМОНЕЛЛ

В научной литературе представлена информация о тестировании чувствительности к противомикробным препаратам 1735 изолятов сальмонелл, выделен-

ных из корма [27, 46–51]. Сообщается, что среди изолятов, выделенных на Африканском континенте, 75% были устойчивы к цефтриаксону, цефалоспорины третьего поколения, обычно используемому для лечения тяжелых случаев сальмонеллеза у людей [52, 53].

Есть мнение, что применение цефалоспоринов в животноводстве и здравоохранении создает благоприятные конкурентные условия для микроорганизмов, устойчивых к карбапенемам [54]. Были сообщения о выявлении изолятов, устойчивых к карбапенему и имипенему, которые признаны последним средством для лечения некоторых бактериальных инфекций, а резистентность к карбапенемам считается серьезной проблемой общественного здравоохранения [55]. Полногеномное секвенирование изолятов *Salmonella*, обнаруженных на заводах по производству комбикормов для свиней, показало, что 40% из них имеют по крайней мере один ген антибиотикорезистентности [56].

Эти результаты указывают на возможность распространения микроорганизмов, устойчивых к антибактериальным препаратам, среди животных через корм и его компоненты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Контаминация бактериями рода *Salmonella* при промышленном производстве кормов остается значимой проблемой ветеринарии и общественного здравоохранения.

Совокупная распространенность выявления сальмонелл в комбикормовой промышленности снизилась с 1955 г., что связано с сокращением частоты встречаемости бактерий в сырьевых компонентах кормов. Выявляемость сальмонелл в готовых кормах, на поверхностях мукомольного оборудования и объектов окружающей среды за 50 лет наблюдений не изменилась. Микробиологический контроль на комбикормовом производстве должен включать забор образцов из окружающей среды в дополнение к пробам компонентов сырого и готового корма. Образцы пыли и комбикормов, отобранные с поверхностей мельничного оборудования и вокруг него, являются удобным объектом для исследования, обеспечивающим чувствительность метода выявления сальмонелл. Количество проб, отобранных из кормов и сырьевых компонентов, должно основываться на расчетах размера выборки, которые включают желаемый уровень достоверности и расчетный уровень загрязнения. Серотипы сальмонелл, выявляемые из образцов, отобранных на комбикормовых заводах с оборудования, из проб комбикорма и сырьевых компонентов кормов, представлены серотипами, которые обнаруживают у сельскохозяйственных животных и в случаях сальмонеллеза у людей.

Среди изолятов сальмонелл, выделяемых из проб корма, обнаруживают бактерии, устойчивые к современным антибактериальным препаратам, которые, по классификации Всемирной организации здравоохранения, являются «критически важными» для медицинского применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Crump J. A., Griffin P. M., Angulo F. J. Bacterial contamination of animal feed and its relationship to human foodborne illness. *Clin. Infect. Dis.* 2002; 35 (7): 859–865. DOI: 10.1086/342885.
- Sapkota A. R., Lefferts L. Y., McKenzie S., Walker P. What do we feed to food production animals? A review of animal feed ingredients and their potential impacts on human health. *Environ. Health Perspect.* 2007; 115 (5): 663–670. DOI: 10.1289/ehp.9760.
- Parker E. M., Edwards L. J., Mollenkopf D. F., Ballash G. A., Wittum T. E., Parker A. J. *Salmonella* monitoring programs in Australian feed mills: a retrospective analysis. *Aust. Vet. J.* 2019; 97 (9): 336–342. DOI: 10.1111/avj.12851.
- Selim S. A., Cullor J. S. Number of viable bacteria and presumptive antibiotic residues in milk fed to calves on commercial dairies. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1997; 211 (8): 1029–1035. PMID: 9343549.
- Shariat N. W., Larsen B. R., Schaeffer Ch., Richardson K. E. Animal feed contains diverse populations of *Salmonella*. *J. Appl. Microbiol.* 2022; 132 (6): 4476–4485. DOI: 10.1111/jam.15525.
- O'Connor A. M., Denagamage T., Sargeant J. M., Rajić A., McKean J. Feeding management practices and feed characteristics associated with *Salmonella* prevalence in live and slaughtered market-weight finisher swine: a systematic review and summation of evidence from 1950 to 2005. *Prev. Vet. Med.* 2008; 87 (3–4): 213–228. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2008.06.017.
- The Control of Hazards of Animal Health and Public Health Importance in Animal Feed. In: *World Organisation for Animal Health. Terrestrial Animal Health Code.* 2022; Vol. 1, Chapter 6.4. Режим доступа: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahc/current/chapitre_control_feed_hazard.pdf.
- FAO/WHO Codex Alimentarius. CAC/GL 80-2013 Guidelines on the Application of Risk Assessment for Feed. 2013. Режим доступа: <http://www.fao.org/feed-safety/resources/resources-details/fr/c/1054051>.
- Parker E. M., Parker A. J., Short G., O'Connor A. M., Wittum T. E. *Salmonella* detection in commercially prepared livestock feed and the raw ingredients and equipment used to manufacture the feed: A systematic review and meta-analysis. *Prev. Vet. Med.* 2022; 198:105546. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2021.105546.
- Davies R. H., Wray C. Distribution of *Salmonella* contamination in ten animal feedmills. *Vet. Microbiol.* 1997; 57 (2–3): 159–169. DOI: 10.1016/S0378-1135(97)00114-4.
- McChesney D. G., Kaplan G., Gardner P. FDA survey determines *Salmonella* contamination. *Feedstuffs.* 1995; 67: 20–23.
- Food and Drug Administration. Current Good Manufacturing Practice and Hazard Analysis and Risk-based Preventive Controls for Food for Animals. No. FDA-2011-N-0922. Режим доступа: <https://www.fda.gov/media/86635/download>.
- American Feed Industry Association. Safe Feed/Safe Food Certification Program. Режим доступа: <https://www.afia.org/issues/feed-food-safety/safe-feed-safe-food-certification>.
- Leiva A., Granados-Chinchilla F., Redondo-Solano M., Arrieta-González M., Pineda-Salazar E., Molina A. Characterization of the animal by-product meal industry in Costa Rica: Manufacturing practices through the production chain and food safety. *Poult. Sci.* 2018; 97 (6): 2159–2169. DOI: 10.3382/ps/pey058.
- Li X., Bethune L. A., Jia Y., Lovell R. A., Proescholdt T. A., Benz S. A., et al. Surveillance of *Salmonella* prevalence in animal feeds and characterization of the *Salmonella* isolates by serotyping and antimicrobial susceptibility. *Foodborne Pathog. Dis.* 2012; 9 (8): 692–698. DOI: 10.1089/fpd.2011.1.1083.
- Davies R. H., Wales A. D. Investigations into *Salmonella* contamination in poultry feedmills in the United Kingdom. *J. Appl. Microbiol.* 2010; 109 (4): 1430–1440. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2010.04767.x.
- Davies R. H., Wales A. D. *Salmonella* contamination of cereal ingredients for animal feeds. *Vet. Microbiol.* 2013; 166 (3–4): 543–549. DOI: 10.1016/j.vetmic.2013.07.003.
- Durand A. M., Giesecke W. H., Barnard M. L., Walt M. L., Steyn H. C. *Salmonella* isolated from feeds and feed ingredients during the period 1982–1988: animal and public health implications. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 1990; 57 (3): 175–181. PMID: 2234864.
- Hsieh Y. C., Lee K. M., Poole T., Runyon M., Jones B., Herrman T. J. Detection and isolation of *Salmonella* spp. in animal feeds from 2007–2011. *Int. J. Regul. Sci.* 2014; 2 (1): 14–27.
- Jiang X. Prevalence and characterization of *Salmonella* in animal meals collected from rendering operations. *J. Food Prot.* 2016; 79 (6): 1026–1031. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-15-537.
- Kukier E., Kwiatek K. Microbiological quality of feed materials used in Poland. *Bull. Vet. Inst. Pulawy.* 2011; 55: 709–715. DOI: 10.2478/bvip-2013-0093.
- Kutay H. C., Dümen E., Keser O., Bilgin Aş., Ergin S., Kocabağlı N. Prevalence and antimicrobial susceptibility of *Salmonella* in rendered animal products used in poultry feed in Turkey. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 2016; 22: 909–916. DOI: 10.9775/kvfd.2016.15657.
- MacKenzie M. A., Bains B. Dissemination of *Salmonella* serotypes from raw feed ingredients to chicken carcasses. *Poult. Sci.* 1976; 55 (3): 957–960. DOI: 10.3382/ps.0550957.
- Parker A. J., Parkes R. W., Overend D., Hepworth G. Prevalence of *Salmonella* spp. in feed mills following the introduction of Feedsafe. In: *Australasian Milling Conference (April 14–16, 2008)*. Sydney; 2008; 162–165.
- Shilangale R. P., Di Giannatale E., Chimwamurombe P. M., Kaaya G. P. Prevalence and antimicrobial resistance pattern of *Salmonella* in animal feed produced in Namibia. *Vet. Ital.* 2012; 48 (2): 125–132. PMID: 22718330.
- Torres G. J., Piquer F. J., Algarra L., de Frutos C., Sobrino O. J. The prevalence of *Salmonella enterica* in Spanish feed mills and potential feed-related risk factors for contamination. *Prev. Vet. Med.* 2011; 98 (2–3): 81–87. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2010.11.009.
- Turcu A. A. Characterisation of *Salmonella* isolates from animal feed additives. *Lucrări Ştiinţifice.* 2011; 54 (4): 50–53.
- Wierup M., Kristoffersen T. Prevention of *Salmonella* contamination of finished soybean meal used for animal feed by a Norwegian production plant despite frequent *Salmonella* contamination of raw soy beans, 1994–2012. *Acta Vet. Scand.* 2014; 56 (1): 41. DOI: 10.1186/s13028-014-0041-7.
- Malmqvist M., Jacobsson K. G., Häggblom P., Cerenius F., Sjöland L., Gunnarsson A. *Salmonella* isolated from animals and feedstuffs in Sweden during 1988–1992. *Acta Vet. Scand.* 1995; 36 (1): 21–39. DOI: 10.1186/BF03547700.
- Mørtrø T., Midtgaard E. S., Nesse L. L., Langsrud S. Susceptibility of *Salmonella* isolated from fish feed factories to disinfectants and air-drying at surfaces. *Vet. Microbiol.* 2003; 94 (3): 207–217. DOI: 10.1016/S0378-1135(03)00105-6.

31. Davi M. A., Hancock D. D., Rice D. H., Call D. R., DiGiacomo R., Samadpour M., Besser T. E. Feedstuffs as a vehicle of cattle exposure to *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica*. *Vet. Microbiol.* 2003; 95 (3): 199–210. DOI: 10.1016/s0378-1135(03)00159-7.
32. Nesse L. L., Refsum T., Heir E., Nordby K., Vardund T., Holstad G. Molecular epidemiology of *Salmonella* spp. isolates from gulls, fish-meal factories, feed factories, animals and humans in Norway based on pulsed-field gel electrophoresis. *Epidemiol. Infect.* 2005; 133 (1): 53–58. DOI: 10.1017/s0950268804003279.
33. Maciorowski K. G., Herrera P., Jones F. T., Pillai S. D., Ricke S. C. Cultural and immunological detection methods for *Salmonella* spp. in animal feeds – a review. *Vet. Res. Commun.* 2006; 30 (2): 127–137. DOI: 10.1007/s11259-006-3221-8.
34. Habimana O., Møretro T., Langsrud S., Vestby L. K., Nesse L. L., Heir E. Micro ecosystems from feed industry surfaces: a survival and biofilm study of *Salmonella* versus most resident flora strains. *BMC Vet. Res.* 2010; 6:48. DOI: 10.1186/1746-6148-6-48.
35. Jones F. T. A review of practical *Salmonella* control measures in animal feed. *J. Appl. Poult. Res.* 2011; 20 (1): 102–113. DOI: 10.3382/japr.2010-00281.
36. Jones F. T., Richardson K. E. *Salmonella* in commercially manufactured feeds. *Poult. Sci.* 2004; 83 (3): 384–391. DOI: 10.1093/ps/83.3.384.
37. Magossi G., Cernicchiaro N., Dritz S., Houser T., Woodworth J., Jones C., Trinetta V. Evaluation of *Salmonella* presence in selected United States feed mills. *Microbiologyopen.* 2019; 8 (5):e00711. DOI: 10.1002/mbo3.711.
38. Magossi G., Lambertini E., Noll L., Bai J., Jones C., Nagaraja T. G., et al. Potential risk-factors affecting *Salmonella* sp. and *Escherichia coli* occurrence and distribution in Midwestern United States swine feed mills. *J. Appl. Microbiol.* 2020; 129 (6): 1744–1750. DOI: 10.1111/jam.14758.
39. Whyte P., McGill K., Collins J. D. A survey of the prevalence of *Salmonella* and other enteric pathogens in a commercial poultry feed mill. *Journal of Food Safety.* 2003; 23 (1): 13–24. DOI: 10.1111/j.1745-4565.2003.tb00348.x.
40. Vestby L. K., Møretro T., Langsrud S., Heir E., Nesse L. L. Biofilm forming abilities of *Salmonella* are correlated with persistence in fish meal – and feed factories. *BMC Vet. Res.* 2009; 5:20. DOI: 10.1186/1746-6148-5-20.
41. Lories B., Belpaire T. E. R., Yssel A., Ramon H., Steenackers H. P. Agaric acid reduces *Salmonella* biofilm formation by inhibiting flagellar motility. *Biofilm.* 2020; 2:100022. DOI: 10.1016/j.biofilm.2020.100022.
42. Velmourougane K., Prasanna R., Saxena A. K. Agriculturally important microbial biofilms: present status and future prospects. *J. Basic Microbiol.* 2017; 57 (7): 548–573. DOI: 10.1002/jobm.201700046.
43. Magwedere K., Rauff D., De Klerk G., Keddy K. H., Dziva F. Incidence of nontyphoidal *Salmonella* in food-producing animals, animal feed, and the associated environment in South Africa, 2012–2014. *Clin. Infect. Dis.* 2015; 61 (Suppl 4): S283–289. DOI: 10.1093/cid/civ663.
44. Ferrari R. G., Rosario D. K. A., Cunha-Neto A., Mano S. B., Figueiredo E. E. S., Conte-Junior C. A. Worldwide epidemiology of *Salmonella* serovars in animal-based foods: a meta-analysis. *Appl. Environ. Microbiol.* 2019; 85 (14):e00591-19. DOI: 10.1128/AEM.00591-19.
45. National Notifiable Diseases Surveillance System (NNDSS) public dataset – *Salmonella* (2009–2021). Режим доступа: <https://www.health.gov.au/resources/publications/nndss-public-dataset-salmonella>.
46. Tate H., Folster J. P., Hsu C. H., Chen J., Hoffmann M., Li C., et al. Comparative analysis of extended-spectrum- β -lactamase CTX-M-65-producing *Salmonella enterica* serovar Infantis isolates from humans, food animals, and retail chickens in the United States. *Antimicrob. Agents Chemother.* 2017; 61 (7):e00488-417. DOI: 10.1128/AAC.00488-17.
47. Hsieh Y. C., Poole T. L., Runyon M., Herrman T. J. Prevalence of nontyphoidal *Salmonella* and *Salmonella* strains with conjugative antimicrobial-resistant serovars contaminating animal feed in Texas. *J. Food Prot.* 2016; 79 (2): 194–204. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-15-163.
48. Ge B., LaFon P. C., Carter P. J., McDermott S. D., Abbott J., Glenn A. Retrospective analysis of *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli*, and *Enterococcus* in animal feed ingredients. *Foodborne Pathog. Dis.* 2013; 10 (8): 684–691. DOI: 10.1089/fpd.2012.1470.
49. Ge B., Domesle K. J., Gaines S. A., Lam C., Bodeis Jones S. M., Yang Q. Prevalence and antimicrobial susceptibility of indicator organisms *Escherichia coli* and *Enterococcus* spp. isolated from US animal food, 2005–2011. *Microorganisms.* 2020; 8 (7):1048. DOI: 10.3390/microorganisms8071048.
50. Agga G. E., Silva P. J., Martin R. S. Prevalence, serotypes, and antimicrobial resistance of *Salmonella* from mink feces and feed in the United States. *Foodborne Pathog. Dis.* 2022; 19 (1): 45–55. DOI: 10.1089/fpd.2021.0037.
51. Su L. H., Chiu C. H., Chu C., Ou J. T. Antimicrobial resistance in nontyphoid *Salmonella* serotypes: a global challenge. *Clin. Infect. Dis.* 2004; 39 (4): 546–551. DOI: 10.1086/422726.
52. Okoli C., Ndujihe G., Ogbuwu I. Frequency of isolation of *Salmonella* from commercial poultry feeds and their anti-microbial resistance profiles, Imo State, Nigeria. *Online J. Health Allied Sci.* 2006; 5 (2):3. Режим доступа: <http://www.ojhas.org/issue18/2006-2-3.htm>.
53. Medalla F., Gu W., Friedman C. R., Judd M., Folster J., Griffin P. M., Hoekstra R. M. Increased incidence of antimicrobial-resistant nontyphoidal *Salmonella* infections, United States, 2004–2016. *Emerg. Infect. Dis.* 2021; 27 (6): 1662–1672. DOI: 10.3201/eid2706.204486.
54. Ogunrinu O. J., Norman K. N., Vinasco J., Levent G., Lawhon S. D., Fajt V. R., et al. Can the use of older-generation beta-lactam antibiotics in livestock production over-select for betalactamases of greatest consequence for human medicine? An *in vitro* experimental model. *PLoS One.* 2020; 15 (11):e0242195. DOI: 10.1371/journal.pone.0242195.
55. Infectious Diseases Society of America (IDSA), Spellberg B., Blaser M., Guidos R. J., Boucher H. W., Bradley J. S., et al. Combating antimicrobial resistance: policy recommendations to save lives. *Clin. Infect. Dis.* 2011; 52 (Suppl 5): S397–428. DOI: 10.1093/cid/cir153.
56. Trinetta V., Magossi G., Allard M. W., Tallent S. M., Brown E. W., Lomonaco S. Characterization of *Salmonella enterica* isolates from selected US swine feed mills by whole-genome sequencing. *Foodborne Path. Dis.* 2020; 17 (2): 126–136. DOI: 10.1089/fpd.2019.2701.

Поступила в редакцию / Received 04.08.2022

Поступила после рецензирования / Revised 30.09.2022

Принята к публикации / Accepted 14.11.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шадрова Наталья Борисовна, кандидат биологических наук, заведующий отделом микробиологических исследований ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия.

Прунтова Ольга Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия.

Скитович Галина Сергеевна, кандидат биологических наук, руководитель Владимирской испытательной лаборатории ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия.

Акулич Ольга Андреевна, заместитель начальника отдела государственного ветеринарного надзора Управления РСХН по Владимирской, Костромской и Ивановской областям, г. Владимир, Россия.

Natalya B. Shadrova, Candidate of Science (Biology), Head of Department for Microbiological Testing, FGBI "ARRIAH", Vladimir, Russia.

Olga V. Pruntova, Doctor of Science (Biology), Professor, Chief Researcher, Information and Analysis Centre, FGBI "ARRIAH", Vladimir, Russia.

Galina S. Skitovich, Candidate of Science (Biology), Head of the Vladimir Testing Centre, FGBI "ARRIAH", Vladimir, Russia.

Olga A. Akulich, Deputy Head of the Department of State Veterinary Surveillance in the Rosselkhoz nadzor Territorial Administration for Vladimir, Kostroma and Ivanovo Oblasts, Vladimir, Russia.