



<https://doi.org/10.29326/2304-196X-2026-15-2-139-147>
УДК 619:616.98:578.835.2:615.371



Сравнительный анализ свойств масляных адъювантов компании VITAVAC в составе инактивированных вакцин против ящура

Д. И. Кара, М. И. Доронин, А. В. Борисов, Д. В. Михалишин, В. В. Михалишин, М. Н. Гусева, Т. В. Жбанова, Т. В. Оковытая
ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»), ул. Гвардейская, 6, мкр. Юрьевец, г. Владимир, 600901, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Ящур по-прежнему остается одной из наиболее значимых трансграничных вирусных инфекций сельскохозяйственных животных, что демонстрируют данные по эпизоотической ситуации за последние 5 лет. Для специфической профилактики данного заболевания применяют культуральные инактивированные вакцины. Для изготовления эмульсионных вакцинных препаратов требуется использование масляных адъювантов. В настоящее время на мировом рынке представлена широкая линейка данных компонентов, в частности новый продукт индийской компании VITAVAC.

Цель исследования. Проведение сравнительного анализа свойств масляных адъювантов компании VITAVAC в составе инактивированных вакцин против ящура.

Материалы и методы. Исследовали следующие экспериментальные образцы масляных адъювантов: VITAVAC 50 (серия G-221), VITAVAC 70 (серия G-223), VITAVAC 250 (серия M-2508). Осуществляли анализ физико-химических свойств эмульсионных вакцин, изготовленных с применением данных адъювантов, а также определяли авирулентность, безвредность и иммуногенность в соответствии с требованиями Всемирной организации здравоохранения животных.

Результаты. Наиболее оптимальное сочетание стабильности эмульсии при длительном хранении и выраженного иммунного ответа отмечено в экспериментальном образце вакцины, содержащей масляный адъювант VITAVAC 70. Препараты на основе VITAVAC 250 обеспечивали выработку вируснейтрализующих антител с титром выше $1,65 \text{ Ig SN}_{50\%}$, однако уступали по стабильности эмульсии при хранении. Вакцина с масляным адъювантом VITAVAC 50 по сравнению с другими вариантами индуцировала образование более низкого уровня специфических вируснейтрализующих антител. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования масляных адъювантов линейки VITAVAC, прежде всего VITAVAC 70, для создания инактивированных вакцин против ящура.

Заключение. Совокупность полученных данных позволяет рассматривать VITAVAC 70 как наиболее перспективный адъювант для использования в промышленном производстве инактивированных эмульсионных вакцин против ящура для свиней. Данный препарат сопоставим по ряду показателей с традиционно применяемыми масляными адъювантами Montanide ISA 206 VG и Montanide ISA 61 VG.

Ключевые слова: ящур, свиньи, инактивированная эмульсионная вакцина, масляные адъюванты, VITAVAC, Montanide, иммунный ответ, реакция микронеutralизации

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

Для цитирования: Кара Д. И., Доронин М. И., Борисов А. В., Михалишин Д. В., Михалишин В. В., Гусева М. Н., Жбанова Т. В., Оковытая Т. В. Сравнительный анализ свойств масляных адъювантов компании VITAVAC в составе инактивированных вакцин против ящура. *Ветеринария сегодня*. 2026; 15 (2): 139–147. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2026-15-2-139-147>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Доронин Максим Игоревич, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории профилактики ящура ФГБУ «ВНИИЗЖ», ул. Гвардейская, 6, мкр. Юрьевец, г. Владимир, 600901, Россия, doronin@arriah.ru

Comparative analysis of VITAVAC oil adjuvants formulated in inactivated foot-and-mouth disease vaccines

Dmitry I. Kara, Maksim I. Doronin, Alexey V. Borisov, Dmitry V. Mikhailishin, Valery V. Mikhailishin, Marina N. Guseva, Tatyana V. Zhanova, Tatyana V. Okovytaya
Federal Centre for Animal Health, ul. Gvardeyskaya, 6, Yur'evets, Vladimir 600901, Russia

ABSTRACT

Introduction. Foot-and-mouth disease remains one of the most significant transboundary viral infections of livestock, as evidenced by epizootic situation data over the past five years. Culture inactivated vaccines are used for the specific prevention of this disease. For the manufacture of emulsion vaccines, the use of oil adjuvants is essential. Currently, a wide range of these components is available on the global market, including a new product from the Indian company VITAVAC.

Objective. Comparative analysis of VITAVAC oil adjuvants formulated in inactivated foot-and-mouth disease vaccines.

Materials and methods. The following experimental samples of oil adjuvants were tested: VITAVAC 50 (Batch G-221), VITAVAC 70 (Batch G-223), VITAVAC 250 (Batch M-2508). The physicochemical properties of emulsion vaccines manufactured using these adjuvants were analyzed, and their innocuity, safety, and potency were evaluated in accordance with the requirements of the World Organisation for Animal Health.

© Кара Д. И., Доронин М. И., Борисов А. В., Михалишин Д. В., Михалишин В. В., Гусева М. Н., Жбанова Т. В., Оковытая Т. В., 2026

Results. The most favorable combination of emulsion stability after long-term storage and a pronounced immune response was observed in an experimental vaccine sample formulated with VITAVAC 70 oil adjuvant. Vaccines based on VITAVAC 250 induced virus-neutralizing antibodies with a titer above 1.65 Ig SN₅₀, but exhibited lower emulsion stability during storage. The vaccine based on VITAVAC 50 oil adjuvant induced lower levels of specific virus-neutralizing antibodies than the other vaccine variants. The results obtained suggest that oil-based adjuvants of the VITAVAC line, particularly VITAVAC 70, are promising candidates for use in the production of inactivated foot-and-mouth disease vaccines.

Conclusion. The results obtained support the view that VITAVAC 70 is the most promising adjuvant for use in the production of inactivated emulsion vaccines against foot-and-mouth disease for pigs. This product demonstrates comparable performance to the traditionally used oil adjuvants Montanide ISA 206 VG and Montanide ISA 61 VG across several parameters.

Keywords: foot-and-mouth disease, pigs, inactivated emulsion vaccine, oil adjuvants, VITAVAC, Montanide, immune response, micro-neutralization test

Acknowledgements: The work was performed at the expense of the Federal Centre for Animal Health in the framework of scientific research on the topic "Veterinary Welfare".

For citation: Kara D. I., Doronin M. I., Borisov A. V., Mikhailishin D. V., Mikhailishin V. V., Guseva M. N., Zhbanova T. V., Okovytaya T. V. Comparative analysis of VITAVAC oil adjuvants formulated in inactivated foot-and-mouth disease vaccines. *Veterinary Science Today*. 2026; 15 (2): 139–147. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2026-15-2-139-147>

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

For correspondence: Maksim I. Doronin, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Laboratory for FMD Prevention, Federal Centre for Animal Health, ul. Gvardeyskaya, 6, Yur'evets, Vladimir 600901, Russia, doronin@arriah.ru

ВВЕДЕНИЕ

Ящур остается одной из наиболее опасных трансграничных вирусных инфекций сельскохозяйственных животных [1, 2, 3]. Особую эпизоотологическую и экономическую значимость болезнь приобретает в свиноводстве, где характеризуется высокой контагиозностью, быстрым развитием клинической картины и серьезными ограничительными мероприятиями для хозяйств [4, 5]. В настоящее время опасность заноса вируса ящура на территорию Российской Федерации сохраняется.

По данным источников, описывающих эпизоотическую ситуацию по ящуру в мире, в период с 2020 г. по третий квартал 2025 г. в странах, сопредельных с Россией, было зарегистрировано большое количество вспышек данного заболевания. Так, в 2020 г. выявлено 2 очага в Китае; 156 – в Турции. В 2021 г. в Китае произошли 2 вспышки, в Монголии – 103. В 2022 г. в Китае вновь зафиксирована 1 вспышка ящура; в Монголии – 3; в Казахстане – 1. В 2023 г. в Китае выявлено 4 вспышки; в Южной Корее – 11. Все эти случаи были связаны с возбудителем ящура серотипа О, генетические варианты которого являются наиболее распространенными в мире. В 2023 г. в Турции произошла крупная вспышка заболевания, которая включала 200 очагов ящура, вызванного вирусом серотипов О и SAT 2 [6, 7]. В 2024 г. в Китае выявили 3 очага (серотип О); в Турции – 104 (серотипы А, О, SAT 2). В 1–3 кварталах 2025 г. случаи ящура были зарегистрированы не только в странах Азии, но и Европы. На Азиатском континенте 2 очага заболевания (серотип О) обнаружили в Китае; 1 (серотип О) – в Монголии; 19 (серотип О) – в Южной Корее. В Турции произошло 4 вспышки ящура, вызванных возбудителем серотипа А, 222 – серотипа О, 12 – серотипа SAT 1, 91 – серотипа SAT 2. За последние десятилетия в Европе впервые зафиксировали случаи возникновения данного заболевания. Так, в Германии обнаружили 1 очаг ящура, вызванного вирусом генетической линии О/ME-SA/SA-2018, ранее циркулировавшим в Турции. В Венгрии и Словакии произошло более 10 вспышек заболевания, установлено, что возбудитель относится к генетической линии О/ME-SA/PanAsia2^{ANT-10}, возникшей в Пакистане в 2017–2018 гг. [8, 9, 10].

Основным средством специфической профилактики ящура является вакцинация [11]. Эффективность и продолжительность поствакцинального иммунитета определяются не только концентрацией антигена в дозе и валентностью, но и типом применяемого адьюванта [12, 13]. Адьюванты – это соединения как неорганического, так и органического происхождения, которые неспецифически стимулируют иммунный ответ к специфическим антигенам, повышая их иммуногенность в десятки раз [14, 15, 16].

В ветеринарной практике используются культуральные инактивированные сорбированные вакцины против ящура, в состав которых входят такие адьюванты, как гидроокись алюминия и сапонин [14, 16]. При этом, несмотря на широкое применение, они имеют ряд недостатков, а именно: кратковременность формируемого иммунного ответа, что требует более частых ревакцинаций; высокая реактогенность и аллергенность по причине применения сапонина как дополнительного стимулятора иммунных реакций; недостаточно высокая эффективность в отношении свиней даже при увеличении дозы и кратности введения; отсутствие высокого уровня критериев стандартизации сапонина, что может приводить к вариативности между сериями вакцин [17, 18].

В хозяйствах против ящура применяют также культуральные инактивированные эмульсионные вакцины. Использование масляных адьювантов, входящих в состав данных вакцинных препаратов, имеет ряд преимуществ. Во-первых, обеспечивается формирование более напряженного и длительного иммунитета за счет того, что масляная фаза создает в месте инъекции долгосрочное депо антигена, из которого он медленно высвобождается. Это обеспечивает продолжительную стимуляцию иммунной системы, что приводит к более длительному сохранению высокого уровня специфических антител. Во-вторых, происходит стимуляция не только гуморального ответа (Th2-клетки), но и активация клеточно-опосредованного иммунитета (Th1-клетки), что важно для формирования комплексной защиты [19, 20]. В-третьих, данные вакцины обеспечивают высокую эффективность как для крупного рогатого скота, так и, что крайне важно, для свиней, устраняя

ключевой недостаток сорбированных препаратов. В-четвертых, эмульсионные вакцины безопасны и обладают низкой реактогенностью за счет высокой биосовместимости, что проявляется в отсутствии выраженных местных реакций. В-пятых, промышленно производимые масляные адъюванты имеют стабильный и стандартизированный состав, что гарантирует воспроизводимость между сериями вакцин [21, 22].

Долгое время в Российской Федерации при изготовлении эмульсионных вакцин для крупного рогатого скота, свиней, коз, овец, птиц и объектов аквакультуры применялись масляные адъюванты компании Seppic (Франция) с торговым названием Montanide, которые обладали улучшенными свойствами. Однако высокая стоимость этих адъювантов являлась ограничивающим фактором в крупномасштабном производстве вакцинных препаратов для ветеринарии.

При изготовлении культуральных инактивированных эмульсионных вакцин против ящура наиболее часто применяются масляные адъюванты на основе минеральных и синтетических масел, формирующие эмульсии типа «вода в масле» (W/O) и «вода в масле в воде» (W/O/W). При этом к составу и свойствам масляных адъювантов предъявляются строгие требования: они должны обеспечивать стабильность эмульсии в процессе хранения и обращения, быть безвредными и хорошо переносимыми животными, а также стимулировать формирование необходимого уровня вируснейтрализующих антител ($\geq 1,65 \lg SN_{50}$) [23].

Для расширения линейки применяемых адъювантов с 2023 г. ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ») стал сотрудничать с предприятием VITAVAC (Индия), производящим масляные адъюванты. Были получены экспериментальные образцы VITAVAC 50, VITAVAC 70 и VITAVAC 250 для изготовления эмульсионных противоящурных вакцин. Особый интерес представляет их сравнительный анализ с широко применяемыми в мире масляными адъювантами Montanide ISA в условиях моделирования производства и испытания противоящурных вакцин.

Цель работы – провести сравнительный анализ свойств масляных адъювантов компании VITAVAC в составе инактивированных вакцин против ящура.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Масляные адъюванты. В работе использовали следующие экспериментальные образцы масляных адъювантов (VITAVAC, Индия): VITAVAC 50 (серия G-221),

VITAVAC 70 (серия G-223), VITAVAC 250 (серия M-2508). Контролем служили масляные адъюванты Montanide ISA 206 VG и Montanide ISA 61 VG (Seppic, Франция).

Экспериментальные образцы вакцин. В качестве антигенов применяли культуральный инактивированный вирус ящура штаммов «SAT-1/Кения/2017» (генетическая линия SAT-1/1) и «SAT-2/LIB/39/2012» (генетическая линия SAT-2/VII/Lib-12). Вирус ящура культивировали с применением питательной ростовой среды, содержащей гидролизат белков крови и перевар по Хоттингеру. Инактивацию вируса ящура для изготовления вакцин проводили в соответствии с рекомендациями авторов, опубликованными ранее [24]. На основе указанных масляных адъювантов получали пять вариантов культуральных инактивированных эмульсионных вакцин против ящура, состав которых представлен в таблице 1.

Соотношение водной (антигенной) и масляной фаз, а также режим эмульгирования подбирали в соответствии с технологическими регламентами и рекомендациями производителей адъювантов для получения стабильных мелкодисперсных эмульсий. Масляные адъюванты VITAVAC 50 и 250 по количеству, добавляемому к антигену, являются аналогами по отношению к Montanide ISA 61 VG и ISA 206 VG. Масляный адъювант VITAVAC 70 – аналог Montanide ISA 70 VG, однако для изготовления вакцин против ящура ранее он не применялся. В данном исследовании было решено изготовить экспериментальный образец эмульсионной вакцины с добавлением VITAVAC 70, поскольку он является новым продуктом.

Исследование физико-химических свойств эмульсий. Тип эмульсии определяли методом «капельной пробы» (drop-test) путем нанесения капли препарата на поверхность воды и визуальной оценки ее распределения [23]. Динамическую вязкость измеряли на вискозиметре ротационного типа при температуре эмульсии (20 ± 2) °C.

Стабильность эмульсий определяли двумя способами. При использовании экспресс-метода образец вакцины объемом 10 см³ наливали в центрифужную пробирку, через сутки после приготовления и хранения при температуре (4 ± 2) °C подвергали центрифугированию при 3000 об/мин в течение 30 мин при температуре (20 ± 2) °C. По окончании анализировали наличие фракций, на которые может разделиться эмульсия.

Возможны следующие фракции после центрифугирования эмульсии:

A – масляная фракция;

B – опалесцирующий слой (масло с белым оттенком);

Таблица 1

Характеристика экспериментальных образцов вакцин культуральных инактивированных эмульсионных против ящура серотипов SAT 1 и SAT 2

Table 1

Characteristics of experimental samples of culture inactivated emulsion vaccines against FMDV SAT 1 and SAT 2 serotypes

Наименование образца эмульсии	Концентрация 146S компонента вируса ящура, мкг/доза		Наименование адъюванта	Соотношение адъюванта и антигена (w/w) по массе
	SAT-1/Кения/2017	SAT-2/LIB/39/2012		
Контроль 1	7,5	7,5	Montanide ISA 206 VG	50/50
Контроль 2	7,5	7,5	Montanide ISA 61 VG	60/40
Опыт 1	7,5	7,5	VITAVAC 250	50/50
Опыт 2	7,5	7,5	VITAVAC 50	60/40
Опыт 3	7,5	7,5	VITAVAC 70	70/30

С – собственно эмульсия;
D – коалесцент (плотная эмульсия);
E – антигенная составляющая вакцины (водная фракция).

Второй метод заключался в хранении экспериментальных образцов эмульсий в течение всего срока годности вакцины (18 мес.) при температурах (4 ± 2), (20 ± 2) и ($37,0 \pm 0,1$) °C с периодическим визуальным контролем раз в месяц на предмет расслоения и изменения консистенции.

Определение безопасности экспериментальных образцов вакцин. Для анализа реактогенности вакцин использовали 10 гол. клинически здоровых свиней массой 30–40 кг, которых иммунизировали тройной дозой вакцин ($6,0 \text{ см}^3$) внутримышечно для каждой из 5 групп образцов. Животных наблюдали в течение 10 сут после иммунизации, оценивали общее состояние, аппетит, поведение, регистрировали температуру тела и наличие реакций в месте инъекции.

Исследование гуморального иммунитета. В работе использовали 20 клинически здоровых свиней массой 30–40 кг, которых распределяли на 5 групп по 4 гол. согласно вариантам вакцин. В каждой группе животным образцы вводили в прививном объеме $2,0 \text{ см}^3$ внутримышечно. До введения препарата и на 21-е сут после вакцинации у всех животных производили отбор крови, получали сыворотки, которые исследовали для определения уровня вируснейтрализующих антител в реакции микронейтрализации (PMH) в клеточной линии почки свиньи (IB-RS-2). В соответствии с требованиями Всемирной организации здравоохранения животных (ВОЗЖ) в PMH положительной считается сыворотка крови с титром не ниже $1,65 \text{ Ig SN}_{50}$ [23].

Все манипуляции с животными выполняли с соблюдением этических норм и международных стандартов. Исследования одобрены комиссией по биоэтике ФГБУ «ВНИИЗЖ».

Статистическую обработку данных проводили общепринятыми методами вариационной статистики с использованием статистического программного обеспечения SPSS, Microsoft Excel, Statistica. Результаты представляли в виде средних значений и их стандартных отклонений [25, 26].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для сравнительного анализа масляных адъювантов были изготовлены 5 экспериментальных образцов культуральных инактивированных эмульсионных вакцин с применением: VITAVAC 50 (серия G-221), VITAVAC 70

(серия G-223), VITAVAC 250 (серия M-2508), а также Montanide ISA 206 VG и Montanide ISA 61 VG.

Исследование динамической вязкости. Образцы эмульсионных вакцин, изготовленные с использованием адъювантов компании VITAVAC, имели динамическую вязкость, сопоставимую с контрольными препаратами. При этом для эмульсий с VITAVAC отмечалось некоторое снижение вязкости (в среднем на 10–25%) по сравнению с контролем, что потенциально облегчало введение препаратов.

Следует отметить, что на этапе получения предэмульсии степень вязкости полученных с применением масляных адъювантов VITAVAC эмульсий была довольно высокой, что наблюдалось визуально при перемешивании на многофункциональном лабораторном смесителе. Как видно из таблицы 2, динамическая вязкость исследуемых образцов полученных экспериментальных эмульсионных вакцин № 1, 2, 3 составляла ($0,081 \pm 0,001$), ($0,093 \pm 0,001$), ($0,112 \pm 0,001$) Пахс соответственно. Данные значения находились в пределах нормы (значения динамической вязкости для сложной эмульсии, полученной с применением масляного адъюванта Montanide ISA 206 VG, по многолетним наблюдениям специалистов ФГБУ «ВНИИЗЖ», находятся в диапазоне $0,090$ – $0,110$ Пахс; для простой обратной эмульсии с масляным адъювантом Montanide ISA 61 VG значения составляют $0,010$ – $0,150$ Пахс).

В целом при анализе готового продукта определили, что для эмульсий, изготовленных с применением опытных образцов масляных адъювантов VITAVAC 50, 70, 250, динамическая вязкость была соответственно на 25, 10 и 11% ниже по сравнению с контрольными значениями для двух типов эмульсий.

Определение типа эмульсий. Результаты «капельной пробы» подтвердили, что вакцины с VITAVAC 50 и VITAVAC 70 относятся к эмульсиям типа W/O, в то время как препараты с VITAVAC 250 и Montanide ISA 206 VG формировали эмульсии типа W/O/W (табл. 2). Это соответствовало заявленным характеристикам адъювантов и позволяло сопоставлять их между собой по типу системы.

Анализ стабильности эмульсий. Изготовленные экспериментальные образцы вакцин исследовали на стабильность эмульсий экспресс-методом. Как следует из таблицы 3, при центрифугировании опытных образцов № 1, 2 и 3 отмечали отделение небольшого количества масляной фазы (5%), что являлось приемлемым показателем для масляных эмульсий. Выделения антигенной (водной) фазы в препарате с VITAVAC 70 не наблюдалось. Вакцины, содержащие VITAVAC 50 и VITAVAC 250, характеризовались более выраженной склонностью к образованию опалесцирующего масляного слоя и частичному

Таблица 2

Динамическая вязкость и тип эмульсий, приготовленных с применением масляных адъювантов VITAVAC 50, 70, 250 ($n = 3$, Mean \pm SD, $p < 0,01$)

Table 2

Dynamic viscosity and type of emulsions prepared using VITAVAC 50, 70, 250 oil adjuvants ($n = 3$, Mean \pm SD, $p < 0,01$)

Наименование образца эмульсии	Наименование адъюванта	Динамическая вязкость, Пахс	Тип эмульсии (по данным drop-test)
Контроль 1	Montanide ISA 206 VG	$0,091 \pm 0,001$	W/O/W
Контроль 2	Montanide ISA 61 VG	$0,124 \pm 0,001$	W/O
Опыт 1	VITAVAC 250	$0,081 \pm 0,001$	W/O/W
Опыт 2	VITAVAC 50	$0,093 \pm 0,001$	W/O
Опыт 3	VITAVAC 70	$0,112 \pm 0,001$	W/O

W/O/W – сложная эмульсия (is a complex emulsion), W/O – простая обратная эмульсия (is a simple reverse emulsion).

выделению водной фазы, что может быть связано с особенностями состава данных адьювантов.

Стабильность эмульсий также определяли при хранении изготовленных экспериментальных образцов вакцин при температурах (4 ± 2) , (20 ± 2) и $(37,0 \pm 0,1)$ °C в течение 18 мес. Установили, что опытный образец № 1, изготовленный с применением масляного адьюванта VITAVAC 250, через 1 мес. хранения при температуре (4 ± 2) °C оставался в стабильном состоянии при выделении А-фазы в количестве 5%. При температуре (20 ± 2) °C отмечали расслоение на масляную составляющую (5%) и опалесцирующий слой (20%), при этом антигенная фаза не выделялась. Хранение в течение 1 мес. данной эмульсии при температуре $(37,0 \pm 0,1)$ °C вызывало отделение А- и В-фаз в том же количестве, а также дополнительно появлялась антигенная составляющая (Е-фаза) в количестве 7%. Спустя 18 мес. хранения при температуре (4 ± 2) °C отмечали выделение антигенной фазы на 30%, что являлось критичным по признаку стабильности эмульсии.

При температурах (4 ± 2) и (20 ± 2) °C после окончания периода наблюдения в опытном образце № 2, содержащем масляный адьювант VITAVAC 50, отделялась масляная фракция в количестве 5%. Е-фаза не выделялась. При температуре $(37,0 \pm 0,1)$ °C также отмечали появление А-фазы в количестве 5% и отделение антигенной составляющей (30%), что не являлось критичным, поскольку данная температура не предназначена для хранения вакцинного препарата.

Опытный образец № 3, содержащий масляный адьювант VITAVAC 70, спустя 18 мес. хранения при всех заявленных выше температурах сохранялся в стабильном состоянии при выделении А-фазы в количестве 5%, что абсолютно не критично. Антигенная фаза не выделялась, эмульсия сохраняла свою стабильность.

Таким образом, при длительном хранении (18 мес.) с применением различных температурных режимов наилучшими показателями стабильности эмульсии отличался препарат, содержащий VITAVAC 70: эмульсия сохраняла однородность, отделение масляной фазы не превышало ~ 5%, антигенная фаза визуально не выделялась.

Для эмульсий с VITAVAC 50 и VITAVAC 250 в ряде случаев отмечали более выраженное расслоение, включая отделение значительного объема водной фазы при повышенных температурах хранения, что может

ограничивать их применение без дополнительной оптимизации технологических параметров. Масляный адьювант VITAVAC 70 в составе исследуемых вакцин против ящура, изготовленных на основе вируса серотипов SAT 1 и SAT 2, продемонстрировал оптимальное сочетание реологических свойств и стабильности эмульсии в широком диапазоне температур хранения.

Определение безопасности экспериментальных образцов вакцин. Реактогенность экспериментальных образцов вакцин, изготовленных с применением указанных выше масляных адьювантов, исследовали на свиньях, которых наблюдали в течение 10 сут после иммунизации, оценивая общее состояние, аппетит, поведение, температуру тела и наличие реакций в месте инъекции.

Во всех группах свиней после однократного введения вакцин как в стандартной, так и в тройной дозе не наблюдали формирования олеогранулем и других выраженных местных реакций в области инъекции. Температура тела животных в первые сутки после вакцинации кратковременно повышалась до $(40,4 \pm 0,2)$ °C, что расценивалось как физиологическая реакция организма на введение инактивированной вакцины и отмечалось во всех группах, включая контрольные. В дальнейшем температурные показатели снижались до физиологической нормы, поведение и аппетит животных оставались удовлетворительными (рис. 1).

Таким образом, по результатам проведенных исследований все варианты вакцин с применением масляных адьювантов VITAVAC и Montanide ISA могут быть охарактеризованы как безвредные для свиней при однократном введении.

Исследование гуморального иммунитета. Проводили сравнение уровня гуморального иммунитета свиней после введения пяти экспериментальных образцов эмульсионных вакцин, изготовленных с применением указанных выше масляных адьювантов.

Результаты исследования сывороток крови в РМН отражены в таблице 4 и на рисунке 2. Из них следует, что на 21-е сут после иммунизации свиней формирование специфических вируснейтрализующих антител к вирусу ящура штаммов «SAT-1/Кения/2017» и «SAT-2/LIB/39/2012» наблюдали во всех опытных и контрольных группах. При этом уровни вируснейтрализующих антител и их распределение по группам различались.

Таблица 3

Стабильность образцов экспериментальных противоящурных вакцин, приготовленных с применением масляных адьювантов VITAVAC 50, 70, 250 (экспресс-метод)

Table 3

Stability of experimental FMD vaccine samples formulated with VITAVAC 50, 70, 250 oil adjuvants (accelerated aging method)

Наименование образца эмульсии	Наименование адьюванта	Доля фракций, %				
		A	B	C	D	E
Контроль 1	Montanide ISA 206 VG	5	0	95	0	0
Контроль 2	Montanide ISA 61 VG	0	0	100	0	0
Опыт 1	VITAVAC 250	5	20	65	0	10
Опыт 2	VITAVAC 50	5	5	80	0	10
Опыт 3	VITAVAC 70	5	0	95	0	0

Возможные фракции после центрифугирования эмульсии: А – масло, В – опалесцирующий слой (масло с белым оттенком), С – собственно эмульсия, D – коалесцент (плотная эмульсия), E – антигенная составляющая вакцины (водная фракция).

Potential fractions observed after centrifugation: A – oil, B – opalescent layer (creamy oil), C – emulsion, D – coalescent layer (dense emulsion), E – antigenic component (aqueous fraction).

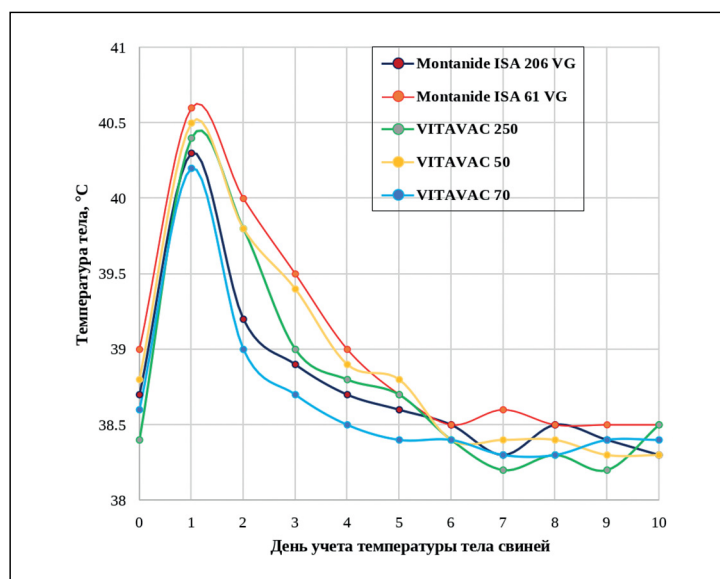


Рис. 1. Температура тела свиней при введении экспериментальных образцов эмульсионных вакцин против ящура, изготовленных с применением различных масляных адъювантов ($n = 3$, $\text{Mean} \pm \text{SD}$, $p < 0,01$)

Fig. 1. Body temperature of pigs after administration of experimental FMD emulsion vaccine samples, formulated using various oil adjuvants ($n = 3$, $\text{Mean} \pm \text{SD}$, $p < 0,01$)

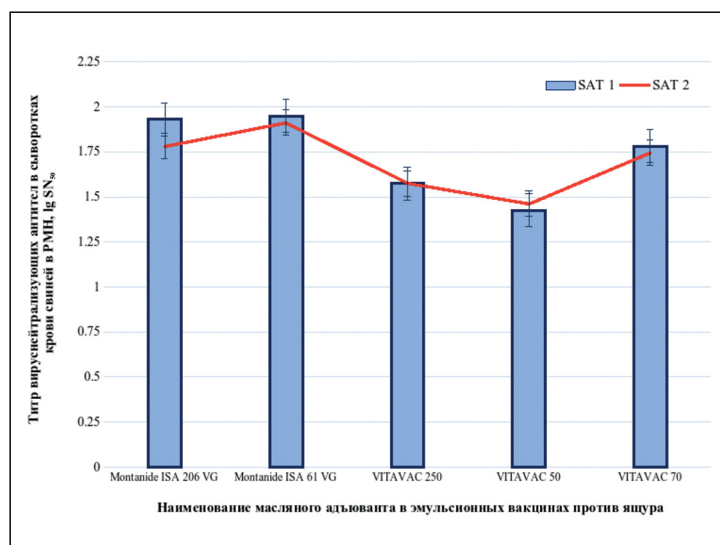


Рис. 2. Уровень вируснейтрализующих антител к вирусу ящура серотипов SAT 1 и SAT 2 на 21-е сут после введения экспериментальных образцов эмульсионных вакцин, изготовленных с применением различных масляных адъювантов ($n = 3$, $\text{Mean} \pm \text{SD}$, $p < 0,01$)

Fig. 2. Virus-neutralizing antibody levels against FMDV serotypes SAT 1 and SAT 2 at 21 dpv in pigs immunized with experimental emulsion vaccines formulated with various oil adjuvants ($n = 3$, $\text{Mean} \pm \text{SD}$, $p < 0,01$)

Введение в организм свиней эмульсионной вакцины, изготовленной с применением масляного адъюванта VITAVAC 250 (опытный образец № 1), на 21-е сут после иммунизации стимулировало выработку вируснейтрализующих антител с титрами выше пороговых значений, рекомендованных ВОЗЖ. Средние титры вируснейтрализующих антител против вируса ящура штаммов

«SAT-1/Кения/2017» и «SAT-2/LIB/39/2012» составляли по $(1,575 \pm 0,087) \lg \text{SN}_{50}$, что позволяло рассматривать данный вариант как обеспечивающий удовлетворительный уровень специфической защиты. При этом значения титров вируснейтрализующих антител были ниже по сравнению с контролем № 1 для штаммов «SAT-1/Кения/2017» и «SAT-2/LIB/39/2012» в 2,3 и 1,6 раза соответственно.

Эмульсионная вакцина, содержащая масляный адъювант VITAVAC 50, обеспечивала положительный иммунный ответ, однако средние титры вируснейтрализующих антител были ниже по сравнению с эмульсионной вакциной, содержащей Montanide ISA 61 VG, и с другими вариантами вакцин с VITAVAC. Так, масляный адъювант VITAVAC 50 стимулировал выработку антител против антигена вируса ящура штаммов «SAT-1/Кения/2017» и «SAT-2/LIB/39/2012» в сравнении с контролем № 2 ниже в 3,3 и 2,8 раза; по сравнению с VITAVAC 250 – ниже в 1,4 и 1,3 раза; в сравнении с VITAVAC 70 – ниже в 2,3 и 1,9 раза соответственно.

Наибольший уровень антител у животных опытных групп выявлен в группе № 3, которую иммунизировали экспериментальным образцом вакцины, в состав которой входил масляный адъювант VITAVAC 70.

Во всех группах при введении тройной дозы эмульсионной вакцины отмечали более высокие уровни вируснейтрализующих антител по сравнению со стандартной дозой, что соответствовало общим закономерностям дозозависимой стимуляции иммунного ответа вакцинами препаратами.

Сопоставление данных по стабильности эмульсий, их безопасности и иммуногенности показало, что масляный адъювант VITAVAC 70 обладал оптимальным комплексом характеристик. При анализе культуральных инактивированных эмульсионных вакцин адъюванты VITAVAC 250 и 50 уступали продукту VITAVAC 70 по стабильности эмульсии, а также по уровню выработки вируснейтрализующих антител. Все исследуемые адъюванты позволяли получить эмульсионные вакцинные препараты с заявленным типом эмульсии, которые являлись безвредными для свиней. При этом следует отметить, что VITAVAC 250 и 50 нуждаются в дополнительной оптимизации состава и режима эмульгирования для достижения высоких показателей стабильности эмульсии и иммуногенности вакцин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования физико-химических свойств экспериментальных образцов культуральных инактивированных эмульсионных вакцин, изготовленных с применением масляных адъювантов VITAVAC 50, 70 и 250 (Индия), выявлено, что наилучшие показатели стабильности при хранении в широком диапазоне температур продемонстрировала вакцина, в состав которой входил адъювант VITAVAC 70: при испытании не отмечено выделения антигенной фазы и значимого расслоения.

Определено, что масляные адъюванты VITAVAC 50, 70 и 250 могут быть использованы для изготовления культуральных инактивированных эмульсионных вакцин против ящура, обеспечивая формирование эмульсий с удовлетворительными реологическими характеристиками и безвредность препаратов для свиней при однократном введении тройного прививного объема вакцины.

Выявлено, что вакцины, содержащие масляные адъюванты VITAVAC 70 и VITAVAC 250, обеспечивали формирование вируснейтрализующих антител к вирусу ящура штаммов «SAT-1/Кения/2017»

Таблица 4

Уровень специфических антител в РМН после иммунизации свиней противоящурными вакцинами, изготовленными с применением различных адъювантов ($n = 3$, Mean \pm SD, $p < 0,01$)

Table 4

Specific antibody levels (MNT) following immunization of pigs with FMD vaccines containing various oil adjuvants ($n = 3$, Mean \pm SD, $p < 0.01$)

Наименование образца	Наименование адъюванта	Номер животного	Уровень специфических вируснейтрализующих антител в РМН, Ig SN ₅₀			
			0 СПВ		21 СПВ	
			SAT 1	SAT 2	SAT 1	SAT 2
Контроль 1	Montanide ISA 206 VG	1	< 0,5	< 0,5	1,875	1,650
		2	< 0,5	< 0,5	1,875	1,650
		3	< 0,5	< 0,5	2,025	1,950
		4	< 0,5	< 0,5	1,950	1,875
		Mean \pm SD	< 0,5	< 0,5	1,931 \pm 0,072	1,781 \pm 0,155
		5*	< 0,5	< 0,5	2,550	2,550
		6*	< 0,5	< 0,5	2,625	2,550
Контроль 2	Montanide ISA 61 VG	7	< 0,5	< 0,5	1,725	1,650
		8	< 0,5	< 0,5	2,025	1,950
		9	< 0,5	< 0,5	2,025	2,025
		10	< 0,5	< 0,5	2,025	2,025
		Mean \pm SD	< 0,5	< 0,5	1,950 \pm 0,150	1,913 \pm 0,179
		11*	< 0,5	< 0,5	3,000	2,625
		12*	< 0,5	< 0,5	3,000	2,625
Опыт 1	VITAVAC 250	13	< 0,5	< 0,5	1,650	1,500
		14	< 0,5	< 0,5	1,650	1,650
		15	< 0,5	< 0,5	1,500	1,500
		16	< 0,5	< 0,5	1,500	1,650
		Mean \pm SD	< 0,5	< 0,5	1,575 \pm 0,087	1,575 \pm 0,087
		17*	< 0,5	< 0,5	2,475	2,475
		18*	< 0,5	< 0,5	2,550	2,475
Опыт 2	VITAVAC 50	19	< 0,5	< 0,5	1,350	1,500
		20	< 0,5	< 0,5	1,500	1,500
		21	< 0,5	< 0,5	1,350	1,350
		22	< 0,5	< 0,5	1,500	1,500
		Mean \pm SD	< 0,5	< 0,5	1,425 \pm 0,087	1,463 \pm 0,075
		23*	< 0,5	< 0,5	2,100	2,250
		24*	< 0,5	< 0,5	2,250	2,250
Опыт 3	VITAVAC 70	25	< 0,5	< 0,5	1,725	1,725
		26	< 0,5	< 0,5	1,800	1,800
		27	< 0,5	< 0,5	1,800	1,725
		28	< 0,5	< 0,5	1,800	1,725
		Mean \pm SD	< 0,5	< 0,5	1,781 \pm 0,038	1,744 \pm 0,038
		29*	< 0,5	< 0,5	2,550	2,625
		30*	< 0,5	< 0,5	2,625	2,400

СПВ – сутки после вакцинации (day post vaccination), Mean – среднее, SD – стандартное отклонение (standard deviation), p – уровень значимости (significance level), РМН – реакция микронейтрализации (micro-neutralization test), SAT 1 – штамм «SAT-1/Кения/2017» (SAT-1/Kenya/2017 strain), SAT 2 – штамм «SAT-2/LIB/39/2012» (SAT-2/LIB/39/2012 strain);

* исследование вакцины на безвредность (vaccine safety testing).

и «SAT-2/LIB/39/2012» с титром выше 1,65 Ig SN₅₀. При этом в опытной группе с применением масляного адъюванта VITAVAC 70 титры антител в РМН были наибольшими по сравнению с другими адъювантами VITAVAC.

Установлено, что вакцина, содержащая масляный адъювант VITAVAC 50, не обеспечивала формирования вируснейтрализующих антител в достаточном количестве для защиты от ящура по сравнению с другими исследованными вариантами и, вероятно, требует доработки

технологических параметров применения (концентрация, режим эмульгирования и др.).

Совокупность полученных данных позволяет рассматривать VITAVAC 70 как наиболее перспективный адъювант для использования при промышленном производстве инактивированных эмульсионных вакцин против ящура для свиней, сопоставимый по ряду показателей с традиционно применяемыми масляными адъювантами Montanide ISA 206 VG и Montanide ISA 61 VG.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Arzt J., Sanderson M. W., Stenfeldt C. Foot-and-mouth disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2024; 40 (2): 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2024.01.001>
- Родина Э. В., Родин В. Н., Боряева Ю. А. Регионализация и современная эпизоотическая ситуация по ящуру животных. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2025; (11). <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.67>
- Bouguedour R., Ripani A. Review of the foot and mouth disease situation in North Africa and the risk of introducing the disease into Europe. *Revue Scientifique et Technique*. 2016; 35 (3): 757–768. <https://doi.org/10.20506/rst.35.3.2566>
- Dhikusooka M. T., Ayebazibwe C., Namatovu A., Belsham G. J., Siegmund H. R., Wekesa S. N., et al. Unrecognized circulation of SAT 1 foot-and-mouth disease virus in cattle herds around Queen Elizabeth National Park in Uganda. *BMC Veterinary Research*. 2016; 12:5. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0616-1>
- Fana E. M., Mpoloka S. W., Leteane M., Seoke L., Masoba K., Mokopasetso M., et al. A five-year retrospective study of foot-and-mouth disease outbreaks in Southern Africa, 2014 to 2018. *Veterinary Medicine International*. 2021; 2021:7438809. <https://doi.org/10.1155/2021/7438809>
- Jo H.-E., You S.-H., Choi J.-H., Ko M.-K., Shin S. H., Song J., et al. Evaluation of novel inactivated vaccines for the SAT 1, SAT 2 and SAT 3 serotypes of foot-and-mouth disease in pigs. *Virology Journal*. 2019; 16 (1):156. <https://doi.org/10.1186/s12985-019-1262-1>
- Ularamu H. G., Lefebvre D. J., Haegeman A., Wungak Y. S., Ehizibolo D. O., Lazarus D. D., et al. Complex circulation of foot-and-mouth disease virus in cattle in Nigeria. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; (7):466. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00466>
- Kabelo T. I., Fana E. M., Hyera J. M., Lebani K. A review of foot-and-mouth disease status and control measures in Botswana. *Tropical Animal Health and Production*. 2023; 55 (4):278. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03674-5>
- Wasfy M., Bazid A. H., Nayel M., Ata E. B., Efeif W. K., Attia M., Elsayed M. Immunogenicity of a foot-and-mouth disease (FMD) vaccine against serotypes O, A, SAT-2, and Asia-1 in the Middle East and many parts of Africa, Southeast Asia and Europe. *Virology Journal*. 2025; 22 (1):98. <https://doi.org/10.1186/s12985-025-02698-7>
- Kardjadj M. History of foot-and-mouth disease in North African countries. *Veterinaria Italiana*. 2018; 54 (1): 1–12. <https://doi.org/10.12834/vetit.928.4711.2>
- Лозовой Д. А., Рахманов А. М., Михалишин Д. В., Михалишин В. В., Гуленкин В. М. Экономическая целесообразность использования эмульсионных вакцин против ящура в России в современных условиях. *Научные основы производства и обеспечения качества биологических препаратов для АПК: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию института (Щелково, 25–27 сентября 2019 г.)*. М.: ФГБНУ «ВНИИПБ»; 2019; 59–64. <https://elibrary.ru/glnut>
- Пиголева И. В., Шарыпов А. С., Шабалина Т. Н., Заглядова С. В., Китова М. В., Антонов С. А. и др. Испытания эмульсионных вакцин на основе белых масел, полученных гидрокаталитической переработкой нефтяного сырья. *Ветеринария сегодня*. 2017; (4): 42–48. <https://veterinary.ariah.ru/jour/article/view/332>
- Akache B., Stark F. C., Agbayani G., Renner T. M., McCluskie M. J. Adjuvants: engineering protective immune responses in human and veterinary vaccines. *Methods in Molecular Biology*. 2022; 2412: 179–231. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1892-9_9
- Михалишин Д. В., Елькина Ю. С., Гочмурадов Ы. М., Доронин М. И., Гусева М. Н. Эффективный способ ликвидации вспышек ящура. *Ветеринария*. 2025; (1): 10–14. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.1.10-14>
- Zhou Y., Yin W., Teng Z., Zhao Y., Lu Y., Qian Y., Deng B. Enhanced immunogenicity of foot-and-mouth disease virus-like particles using a water-in-oil-in-water adjuvant. *Vaccines*. 2024; 13 (1):24. <https://doi.org/10.3390/vaccines13010024>
- Jones L. S., Peek L. J., Power J., Markham A., Yazzie B., Middaugh C. R. Effects of adsorption to aluminum salt adjuvants on the structure and stability of model protein antigens. *Journal of Biological Chemistry*. 2005; 280 (14): 13406–13414. <https://doi.org/10.1074/jbc.M500687200>
- Aucouturier J., Dupuis L., Ganne V. Adjuvants designed for veterinary and human vaccines. *Vaccine*. 2001. 19 (17–19): 2666–2672. [https://doi.org/10.1016/s0264-410x\(00\)00498-9](https://doi.org/10.1016/s0264-410x(00)00498-9)
- Стариков В. А., Михалишин Д. В., Лёзова Т. Н., Михалишин В. В. Сравнительное изучение активности сорбированных и эмульсионных вакцин для крупного рогатого скота. *Ветеринария*. 2015; (3): 21–26. <https://elibrary.ru/rppxc>
- Brito L. A., Malyala P., O'Hagan D. T. Vaccine adjuvant formulations: a pharmaceutical perspective. *Seminars in Immunology*. 2013; 25 (2): 130–145. <https://doi.org/10.1016/j.smim.2013.05.007>
- Shi S., Zhu H., Xia X., Liang Z., Ma X., Sun B. Vaccine adjuvants: understanding the structure and mechanism of adjuvanticity. *Vaccine*. 2019; 37 (24): 3167–3178. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.04.055>
- Singh R. K., Sharma G. K., Mahajan S., Dhama K., Basagoudanavar S. H., Hosamani M., et al. Foot-and-mouth disease virus: immunobiology, adjuvants in vaccines and vaccination strategies addressing vaccine failures – an Indian perspective. *Vaccines*. 2019; 7 (3):90. <https://doi.org/10.3390/vaccines7030090>
- Charentantanakul W. Adjuvants for swine vaccines: mechanisms of actions and adjuvant effects. *Vaccine*. 2020; 38 (43): 6659–6681. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2020.08.054>
- Foot and mouth disease (infection with foot and mouth disease virus). In: *WOAH. Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*. Chapter 3.1.8. https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.01.08_FMD.pdf
- Михалишин Д. В., Михалишин В. В., Гочмурадов Ы. М., Елькина Ю. С. Инактивация вируса ящура для изготовления вакцин. *Ветеринария сегодня*. 2023; 12 (2): 164–170. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-2-164-170>
- Stumpf M. P. H. Biology challenging statistics. *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology*. 2018; 17 (4):20180048. <https://doi.org/10.1515/sagmb-2018-0048>
- Viari A. Big data in biology. *Médecine Sciences*. 2012; 28 (12): 1027–1028. <https://doi.org/10.1051/medsci/20122812001>

REFERENCES

- Arzt J., Sanderson M. W., Stenfeldt C. Foot-and-mouth disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2024; 40 (2): 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2024.01.001>
- Rodina E. V., Rodin V. N., Boryaeva Y. A. Regionalisation and the current epizootic situation regarding foot-and-mouth disease in animals. *International Research Journal*. 2025; (11). <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.67> (in Russ.)
- Bouguedour R., Ripani A. Review of the foot and mouth disease situation in North Africa and the risk of introducing the disease into Europe. *Revue Scientifique et Technique*. 2016; 35 (3): 757–768. <https://doi.org/10.20506/rst.35.3.2566>
- Dhikusooka M. T., Ayebazibwe C., Namatovu A., Belsham G. J., Siegmund H. R., Wekesa S. N., et al. Unrecognized circulation of SAT 1 foot-and-mouth disease virus in cattle herds around Queen Elizabeth National Park in Uganda. *BMC Veterinary Research*. 2016; 12:5. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0616-1>
- Fana E. M., Mpoloka S. W., Leteane M., Seoke L., Masoba K., Mokopasetso M., et al. A five-year retrospective study of foot-and-mouth disease outbreaks in Southern Africa, 2014 to 2018. *Veterinary Medicine International*. 2021; 2021:7438809. <https://doi.org/10.1155/2021/7438809>
- Jo H.-E., You S.-H., Choi J.-H., Ko M.-K., Shin S. H., Song J., et al. Evaluation of novel inactivated vaccines for the SAT 1, SAT 2 and SAT 3 serotypes of foot-and-mouth disease in pigs. *Virology Journal*. 2019; 16 (1):156. <https://doi.org/10.1186/s12985-019-1262-1>
- Ularamu H. G., Lefebvre D. J., Haegeman A., Wungak Y. S., Ehizibolo D. O., Lazarus D. D., et al. Complex circulation of foot-and-mouth disease virus in cattle in Nigeria. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; (7):466. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00466>
- Kabelo T. I., Fana E. M., Hyera J. M., Lebani K. A review of foot-and-mouth disease status and control measures in Botswana. *Tropical Animal Health and Production*. 2023; 55 (4):278. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03674-5>
- Wasfy M., Bazid A. H., Nayel M., Ata E. B., Efeif W. K., Attia M., Elsayed M. Immunogenicity of a foot-and-mouth disease (FMD) vaccine against serotypes O, A, SAT-2, and Asia-1 in the Middle East and many parts of Africa, Southeast Asia and Europe. *Virology Journal*. 2025; 22 (1):98. <https://doi.org/10.1186/s12985-025-02698-7>
- Kardjadj M. History of foot-and-mouth disease in North African countries. *Veterinaria Italiana*. 2018; 54 (1): 1–12. <https://doi.org/10.12834/vetit.928.4711.2>
- Lozovoy D. A., Rakhmanov A. M., Mikhailishin D. V., Mikhailishin V. V., Gulenkin V. M. Ekonomicheskaya tselesoobraznost' ispol'zovaniya emul'sionnykh vaksin protiv yashchura v Rossii v sovremennykh usloviyakh = Economic feasibility of emulsion-based FMD vaccine application in Russia under current conditions. *Nauchnye osnovy proizvodstva i obespecheniya kachestva biologicheskikh preparatov dlya APK: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu instituta (Shcholkovo, 25–27 sentyabrya 2019 g.)*. = *Scientific grounds for biological product manufacture and quality assurance in agribusiness: proceedings of the International Scientific and Practical Conference devoted to 50th Anniversary of the Institute (Scholkovo, September 25–27, 2019)*. Moscow: All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry; 2019; 59–64. <https://elibrary.ru/glnut> (in Russ.)
- Pigoleva I. V., Sharypov A. S., Shabalina T. N., Zaglyadova S. V., Kitova M. V., Antonov S. A. et al. Testing of emulsion vaccines based on white oils obtained as a result of hydrocatalytic processing of oilstock. *Veterinary Science Today*. 2017; (4): 42–48. <https://veterinary.ariah.ru/jour/article/view/332> (in Russ.)
- Akache B., Stark F. C., Agbayani G., Renner T. M., McCluskie M. J. Adjuvants: engineering protective immune responses in human and veterinary vaccines. *Methods in Molecular Biology*. 2022; 2412: 179–231. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1892-9_9
- Mikhailishin D. V., Elkina Yu. S., Gochmuradov Yk. M., Doronin M. I., Guseva M. N. An effective way to eliminate foot-and-mouth disease. *Veterinariya*. 2025; (1): 10–14. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2025.28.1.10-14> (in Russ.)
- Zhou Y., Yin W., Teng Z., Zhao Y., Lu Y., Qian Y., Deng B. Enhanced immunogenicity of foot-and-mouth disease virus-like particles using a water-in-oil-in-water adjuvant. *Vaccines*. 2024; 13 (1):24. <https://doi.org/10.3390/vaccines13010024>
- Jones L. S., Peek L. J., Power J., Markham A., Yazzie B., Middaugh C. R. Effects of adsorption to aluminum salt adjuvants on the structure and stability of model protein antigens. *Journal of Biological Chemistry*. 2005; 280 (14): 13406–13414. <https://doi.org/10.1074/jbc.M500687200>
- Aucouturier J., Dupuis L., Ganne V. Adjuvants designed for veterinary and human vaccines. *Vaccine*. 2001. 19 (17–19): 2666–2672. [https://doi.org/10.1016/s0264-410x\(00\)00498-9](https://doi.org/10.1016/s0264-410x(00)00498-9)
- Стариков В. А., Михалишин Д. В., Лёзова Т. Н., Михалишин В. В. Comparative examination of immunogenicity of sorbate and emulsion vaccines for cattle. *Veterinariya*. 2015; (3): 21–26. <https://elibrary.ru/rppxc> (in Russ.)
- Brito L. A., Malyala P., O'Hagan D. T. Vaccine adjuvant formulations: a pharmaceutical perspective. *Seminars in Immunology*. 2013; 25 (2): 130–145. <https://doi.org/10.1016/j.smim.2013.05.007>

20. Shi S., Zhu H., Xia X., Liang Z., Ma X., Sun B. Vaccine adjuvants: understanding the structure and mechanism of adjuvant activity. *Vaccine*. 2019; 37 (24): 3167–3178. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.04.055>

21. Singh R. K., Sharma G. K., Mahajan S., Dhama K., Basagoudanavar S. H., Hosamani M., et al. Foot-and-mouth disease virus: immunobiology, advances in vaccines and vaccination strategies addressing vaccine failures – an Indian perspective. *Vaccines*. 2019; 7 (3):90. <https://doi.org/10.3390/vaccines7030090>

22. Charentantanakul W. Adjuvants for swine vaccines: mechanisms of actions and adjuvant effects. *Vaccine*. 2020; 38 (43): 6659–6681. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2020.08.054>

23. Foot and mouth disease (infection with foot and mouth disease virus). In: WOAH. *Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*. Chapter 3.1.8. https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.01.08_FMD.pdf

24. Mikhailishin D. V., Mikhailishin V. V., Gochmuradov Y. M., El'kina Yu. S. Inactivation of foot and mouth disease virus for vaccine. *Veterinary Science Today*. 2023; 12 (2): 164–170. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-2-164-170>

25. Stumpf M. P. H. Biology challenging statistics. *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology*. 2018; 17 (4):20180048. <https://doi.org/10.1515/sagmb-2018-0048>

26. Viari A. Big data in biology. *Médecine Sciences*. 2012; 28 (12): 1027–1028. <https://doi.org/10.1051/medsci/20122812001> (in French)

Поступила в редакцию / Received 29.12.2025

Поступила после рецензирования / Revised 03.03.2026

Принята к публикации / Accepted 25.03.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кара Дмитрий Игоревич, аспирант, ветеринарный врач лаборатории профилактики ящура ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0009-0005-6242-9886>, kara@arriah.ru

Dmitry I. Kara, Postgraduate Student, Veterinarian, Laboratory for FMD Prevention, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0009-0005-6242-9886>, kara@arriah.ru

Доронин Максим Игоревич, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории профилактики ящура ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-4682-6559>, doronin@arriah.ru

Maksim I. Doronin, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Laboratory for FMD Prevention, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-4682-6559>, doronin@arriah.ru

Борисов Алексей Валерьевич, канд. вет. наук, заведующий лабораторией профилактики ящура ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-9880-9657>, borisov_av@arriah.ru

Alexey V. Borisov, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Head of Laboratory for FMD Prevention, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-9880-9657>, borisov_av@arriah.ru

Михалишин Дмитрий Валерьевич, д-р вет. наук, главный эксперт информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-1718-1955>, mihalishindv@arriah.ru

Dmitry V. Mikhailishin, Dr. Sci. (Veterinary Medicine), Chief Expert, Information and Analysis Centre, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-1718-1955>, mihalishindv@arriah.ru

Михалишин Валерий Васильевич, д-р вет. наук, профессор, главный научный сотрудник информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0009-0001-9538-5657>, mihalishin@arriah.ru

Valery V. Mikhailishin, Dr. Sci. (Veterinary Medicine), Professor, Chief Researcher, Information and Analysis Centre, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0009-0001-9538-5657>, mihalishin@arriah.ru

Гусева Марина Николаевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории профилактики ящура ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-3997-3390>, guseva_mn@arriah.ru

Marina N. Guseva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory for FMD Prevention, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3997-3390>, guseva_mn@arriah.ru

Жбанова Татьяна Валентиновна, канд. вет. наук, младший научный сотрудник отдела образования и научной информации ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-9857-5915>, zhananova@arriah.ru

Tatyana V. Zhananova, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Junior Researcher, Education and Scientific Support Department, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-9857-5915>, zhananova@arriah.ru

Оковитая Татьяна Владимировна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории профилактики ящура ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0009-0002-8403-8665>, okovitaya@arriah.ru

Tatyana V. Okovytaya, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory for FMD Prevention, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0009-0002-8403-8665>, okovitaya@arriah.ru

Вклад авторов: Кара Д. И. – проведение исследований, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка рисунков; Доронин М. И. – формирование идеи, формулировка и развитие ключевых целей и задач, проведение исследований, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и за ее окончательный вариант; Борисов А. В. – научное консультирование, редактирование текста статьи; Михалишин Д. В. – научное консультирование; Михалишин В. В. – научное консультирование; Гусева М. Н. – сбор статистических данных; Жбанова Т. В. – статистический анализ; Оковитая Т. В. – подготовка рисунков и редактирование текста.

Contribution of the authors: Kara D. I. – investigation, data analysis and interpretation, visualization; Doronin M. I. – conceptualization, methodology, investigation, formal analysis, writing of original draft, paper review & editing, supervision, project administration; Borisov A. V. – scientific consultation, paper editing; Mikhailishin D. V. – scientific consultation; Mikhailishin V. V. – scientific consultation; Guseva M. N. – statistical data collection; Zhananova T. V. – statistical analysis; Okovytaya T. V. – visualization, paper editing.