



<https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-114-122>
УДК 619:616.98:578.833:636.4:616-076:616-085.371



Современные подходы к диагностике и профилактике репродуктивно-респираторного синдрома свиней (обзор)

Ю. А. Николаева

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности» (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»),
Научный городок-2, г. Казань, 420075, Республика Татарстан, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Репродуктивно-респираторный синдром свиней (PPCS), вызываемый вирусом из семейства *Arteriviridae*, является одной из наиболее экономически значимых болезней свиней во многих странах мира. Основные проявления заболевания включают репродуктивную дисфункцию у свиноматок, которая проявляется абортными на поздних сроках беременности, ранними или отсроченными опоросами, рождением слабых или нежизнеспособных поросят, нерегулярным эструсом; реже сообщается о патологиях на ранних и средних сроках беременности. У поросят и откормочных свиней наблюдается респираторный дистресс-синдром: кашель, чихание, одышка, задержка роста. Кроме того, заражение вирусом PPCS приводит к снижению респираторного иммунитета, что делает инфицированных свиней более восприимчивыми к вторичным инфекциям и повышает смертность среди поголовья. В настоящем обзоре представлена актуальная информация о текущем состоянии лабораторной диагностики и специфической профилактики PPCS, а также рассмотрены перспективные биотехнологические платформы для конструирования вакцин нового поколения.

Цель исследования. Рассмотреть и обобщить современные подходы к диагностике и профилактике репродуктивно-респираторного синдрома свиней.

Материалы и методы. Материалом для аналитического исследования послужили научные публикации зарубежных и отечественных авторов.

Результаты. Приведена нозологическая характеристика заболевания, рассмотрены особенности клинических проявлений, эпизоотологии, организации генома возбудителя. Описаны и обсуждены применяемые в ветеринарной практике классические и современные методы лабораторной диагностики, а также коммерчески доступные препараты для специфической профилактики PPCS и перспективные биотехнологические платформы для создания вакцин нового поколения, которые позволяют достичь оптимального баланса между безопасностью и эффективностью. На текущем этапе изучения патогенеза PPCS существуют три основные проблемы в разработке вакцин: недостаточность сведений о механизмах иммунной защиты, способность вируса индуцировать негативные регуляторные сигналы для иммунной системы и значительная антигенная изменчивость возбудителя.

Заключение. Штаммы вируса PPCS демонстрируют значительную генетическую и антигенную гетерогенность и часто подвергаются рекомбинациям, что усугубляет проблемы эпизоотологии, профилактики и контроля заболевания. Дальнейшее углубленное изучение особенностей иммунного ответа организма-хозяина, а также идентификация Т- и В-клеточных эпитопов в структуре возбудителя позволит обеспечить рациональный дизайн генно-инженерных вакцин.

Ключевые слова: обзор, репродуктивно-респираторный синдром свиней, эпизоотология, вакцинация, диагностика

Благодарности: Исследование выполнено в рамках госзадания ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» на 2025–2026 гг. по теме 4.2.5 «Разработка технологических подходов к производству современных вакцин против вирусных и бактериальных инфекций животных».

Для цитирования: Николаева Ю. А. Современные подходы к диагностике и профилактике репродуктивно-респираторного синдрома свиней (обзор). *Ветеринария сегодня*. 2025; 14 (2): 114–122. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-114-122>

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Николаева Юлия Александровна, младший научный сотрудник лаборатории вирусных антропозоонозов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», Научный городок-2, г. Казань, 420075, Республика Татарстан, Россия, yulia.nikolaeva111@mail.ru

Modern approaches to diagnosis and prevention of porcine reproductive and respiratory syndrome (review)

Yulia A. Nikolaeva

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Nauchnyi gorodok-2, Kazan 420075, Republic of Tatarstan, Russia

ABSTRACT

Introduction. Porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS), caused by a virus from the family *Arteriviridae*, is one of the most economically significant porcine diseases in many countries. The disease is mainly manifested by reproductive disorders in sows, i.e. abortions in late pregnancy, early or delayed farrowing, birth of weak or non-viable piglets, irregular estrus; pathologies in early and middle pregnancy are less often reported. Piglets and fattening pigs have respiratory distress syndrome: coughing, sneezing, dyspnea and stunted growth. In addition, infection with PRRS virus undermines respiratory immunity, which makes the

infected pigs more susceptible to secondary infections and increases mortality in the herd. This review provides up-to-date information on the current laboratory diagnostic tools and recent data on specific PRRS prevention and gives information on the promising biotechnological platforms that can be used to design new-generation vaccines.

Objective. To consider and summarize modern approaches to diagnosis and prevention of porcine reproductive and respiratory syndrome.

Materials and methods. Scientific publications of foreign and domestic authors served as the material for the research.

Results. The paper presents nosological characteristics of the disease, explores distinctive features of its clinical manifestations and epizootiology; analyzes structure of the pathogen's genome. This review describes and evaluates laboratory diagnostic techniques (both conventional and modern); currently available anti-PRRS vaccines and novel biotech platforms enabling to design safer and more effective next-generation vaccines. There are three major challenges in vaccine development at the current stage of PRRS pathogenesis research: insufficient understanding of immune protection mechanisms, the virus's ability to induce negative regulatory signals for the immune system, and the pathogen's high antigenic variability.

Conclusion. PRRS virus strains exhibit significant genetic and antigenic heterogeneity and frequently undergo recombination, which exacerbates the challenges of epizootiology, disease prevention, and control. Further in-depth study of host immune response characteristics, along with identification of T- and B-cell epitopes in the pathogen structure, will enable rational design of genetically engineered vaccines.

Keywords: review, porcine reproductive and respiratory syndrome, epizootiology, vaccination, diagnosis

Acknowledgements: The study was conducted as part of a state-funded research program of the Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety for 2025–2026 on topic 4.2.5 “Development of technological approaches for production of modern vaccines against viral and bacterial infections in animals”.

For citation: Nikolaeva Yu. A. Modern approaches to diagnosis and prevention of porcine reproductive and respiratory syndrome (review). *Veterinary Science Today*. 2025; 14 (2): 114–122. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-114-122>

Conflict of interests: The author declares no conflict of interests.

For correspondence: Yulia A. Nikolaeva, Junior Researcher, Laboratory of Viral Anthroozoonoses, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Nauchnyi gorodok-2, Kazan 420075, Republic of Tatarstan, Russia, yulia.nikolaeva111@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Репродуктивно-респираторный синдром свиней (PPCC, porcine reproductive and respiratory syndrome, PRRS), вызываемый вирусом PPCC (*Betaarterivirus* 1-го и 2-го типов), является одной из наиболее экономически значимых болезней свиней во многих странах мира: глобальный ущерб, связанный с данной инфекцией, оценивается более чем в 600 млн долларов США ежегодно. Первые вспышки заболевания неизвестной этиологии были зарегистрированы в США и Западной Европе в конце 1980-х – начале 1990-х гг., несколько лет спустя превратившись в пандемию [1, 2]. У свиноматок наблюдались репродуктивные нарушения в виде аборт, мумификации плодов, мертворождения либо рождения нежизнеспособного потомства; у растущих поросят – респираторные симптомы (одышка, кашель и лихорадка) [3]. В 1991 г. в Нидерландах и впоследствии в 1992 г. в США было установлено, что возбудителем заболевания является ранее неизвестный РНК-содержащий вирус; заболевание получило название «репродуктивно-респираторный синдром свиней» [4]. Ретроспективные исследования показали, что антитела к возбудителю PPCC были обнаружены еще до 1979 г. в Восточной Канаде и в середине 1980-х гг. в Айове [5], однако сами вирусы так и не были идентифицированы. Вероятно, в истории распространения возбудителя PPCC произошел ряд значимых эпизоотических событий, в связи с чем происхождение ряда штаммов, в частности из кластера, связанного со штаммом MN184 [6], вызывающих «острый PPCC», или «шторм аборт» [7], и некоторых высокопатогенных китайских штаммов, остается неизвестным [8]. В России первая вспышка PPCC была зафиксирована в 1991 г. при абортах у свиноматок в хозяйствах Курской области [9]. В 2007 г. во время вспышки PPCC в Иркутской области был выделен возбудитель американского генотипа (PPCC-2) [10].

Этиологическим агентом заболевания является вирус PPCC (BPPCC), представляющий собой небольшой оболочечный одноцепочечный вирус с положительной полярностью РНК, относящийся к роду *Betaarterivirus*, семейству *Arteriviridae*, отряду *Nidovirales* [11]. Штаммы BPPCC классифицируются как BPPCC типа 1 (европейский генотип – EU-like) и BPPCC типа 2 (североамериканский генотип – NA-like). Геном BPPCC характеризуется высокой изменчивостью даже относительно других РНК-вирусов: из-за отсутствия корригирующей активности РНК-зависимой РНК-полимеразы он крайне подвержен мутациям и рекомбинациям, что приводит к появлению его новых изолятов во всем мире [12]. Имея длину около 14,9–15,5 т. п. н., вирусный геном содержит не менее 11 открытых рамок считывания (*ORF*) с 5'-кэпом и 3'-полиаденилированным хвостом [13]. Неструктурные белки (*nsr* 1–12), обладающие функциями протеазы, репликазы, регуляции экспрессии генов клетки-хозяина и ответственные за синтез вирусной РНК, кодируются *ORF1a* и *ORF1b*, которые занимают примерно две трети генома [14]. Структурные белки – капсидный белок (N), мембранный белок (M), гликопротеины GP2, GP3, GP4, GP5 и белок оболочки (E) – экспрессируются субгеномной РНК и кодируются *ORF2–7* [15]. Различия нуклеотидных последовательностей наиболее консервативных (ген *ORF7*, кодирующий капсидный белок N) и переменных (ген *ORF5*, кодирующий мажорный гликопротеин GP5) генов лежат в основе современной системы генотипирования BPPCC [16].

Несмотря на обилие последовательностей, депонированных в базах данных, ни одна из имеющихся систем классификации не охватывает всего разнообразия существующих вариантов BPPCC [17]. Основными ограничениями применяемых методик генотипирования являются неполный охват доступных данных

Таблица 1
Генотипы ВРРСС и их известные представители [24, 25, 26, 27, 28]

Table 1
 PRRS virus genotypes and their known representatives [24, 25, 26, 27, 28]

Генотип	Известные представители, GenBank ID
ВРРСС-1 (европейский генотип – EU-like)	
Подтип 1 (глобальный)	штамм Lelystad (NC_043487.1), Нидерланды
Подтип 1 (российский)	штамм WestSib13 (KX668221.1), Россия
Подтип 2	штамм Bor (JN651734.1), Беларусь
Подтип 3	штамм SU1-Bel (KP889243.1), Беларусь
ВРРСС-2 (североамериканский генотип – NA-like)	
Линия 1	штамм NADC30 (MH500776.1), Китай
Линия 3	штамм QYYZ (JQ308798.1), Китай
Линия 5	штамм VR-2332 (AY150564.1), США
Линия 8	изоляты JXA1 (AY032626.1), CH-1a (EF112445.1), Китай

и отсутствие эталонных последовательностей [18]. В 2010 г. была предложена система типирования ВРРСС на основе филогенетической линии [19]. Согласно этой системе, штаммы ВРРСС-1 сгруппированы в четыре подтипа (подтип 1 – глобальный, подтип 1 – российский, подтипы 2 и 3), а штаммы ВРРСС-2 – в девять линий (линия 1 – линия 9) на основе филогенетических связей в регионе *ORF5* [20, 21]. Оба генотипа, подразделяясь на клады, линии и подштаммы, демонстрируют высокое генетическое разнообразие и обладают примерно 60%-й идентичностью нуклеотидных последовательностей [22, 23] (табл. 1).

Целью настоящего аналитического исследования явилось рассмотрение и обобщение современных подходов к лабораторной диагностике и специфической профилактике РРСС.

ЭПИЗООТОЛОГИЯ РРСС В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В номенклатуре Всемирной организации здравоохранения животных РРСС – социально и экономически значимое заболевание [10]. Согласно представленной информации, большее эпизоотическое значение имеет инфекция, вызванная ВРРСС-2, так как вирусемия у животных, инфицированных штаммами данного генотипа, была более выраженной и продолжительной, чем при заражении ВРРСС-1 [29]. Изоляты ВРРСС-1-1, включая так называемую российскую группу вирусов, ВРРСС-1-2 и ВРРСС-1-3 значительно различаются по патогенности [3]. Проведенный филогенетический анализ указывает на то, что на территории России преимущественно распространен европейский тип вируса, главным образом принадлежащий к 1-му (российскому) подтипу [29]. Большинство штаммов ВРРСС-1 могут быть отнесены к российской группе; циркуляция небольшого количества штаммов, гомологичных штамму Lelystad, вероятно, связана с использованием аттенуированных вакцин на основе ВРРСС-1 [30]. Однако во время вспышки РРСС в Центральном федеральном округе в 2020 г., помимо вирусов из российской группы, ранее выявлявшихся в этих регионах, были обнаружены и Lelystad-подобные вирусы [9, 31]. Филогенетически близкий вирус этого

типа был идентифицирован в Польше в 2010 г. [32], это свидетельствует о том, что на территорию России продолжается занос новых вариантов ВРРСС из Европы. До середины 2000-х гг. североамериканский генотип ВРРСС не регистрировали на территории России, однако в 2007 г. в Иркутской области была зафиксирована вспышка, вызванная высокопатогенным ВРРСС-2, предположительно, завезенным из Китая [33]. Кроме того, имеются сведения об обнаружении ВРРСС-2 в Республике Мордовия, Белгородской и Кемеровской областях [3, 9, 34]. Источник заноса американских штаммов на территорию России неизвестен, но предполагается, что они могли быть ввезены, например, из Дании, где циркулирует ВРРСС-2 и откуда ведется импорт племенных животных [9].

НОЗОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РРСС

Основные проявления заболевания включают репродуктивную дисфункцию у свиноматок, которая проявляется абортами на поздних сроках беременности, ранними или отсроченными опоросами, рождением слабых или нежизнеспособных поросят, нерегулярным эструсом; реже сообщается о патологиях на ранних и средних сроках беременности [35, 36]. Основной причиной репродуктивных расстройств является повреждение плаценты и эндометрия, вызываемое вирусом. У поросят и откормочных свиней наблюдается респираторный дистресс-синдром: кашель, чихание, одышка, задержка роста. Кроме того, заражение ВРРСС приводит к снижению респираторного иммунитета, что делает инфицированных свиней более восприимчивыми к вторичным инфекциям, как следствие, в ассоциации с вирусами манифестируют бактериальные патогены, что повышает смертность среди поголовья [37]. Молодые животные более подвержены заболеванию РРСС, чем взрослые свиньи, при этом у ремонтных хряков и свиноматок часто наблюдается субклиническая инфекция [38].

ЛАБОРАТОРНАЯ ДИАГНОСТИКА

Характеристика основных методов, применяемых в диагностике РРСС, представлена в таблице 2.

Таблица 2
Методы диагностики РРСС [3, 37]

Table 2
Methods for diagnosing PRRS [3, 37]

Метод	Принцип	Особенности применения
Вирусовыделение		
Культуральный метод	Использование культур клеток альвеолярных макрофагов	Выделение вируса может быть нерезультативным, поскольку не все изоляты (особенно ВРРСС-1) способны к инфицированию клеток MARC-145 и CL-2621 – клонов, полученных из линии клеток почки обезьяны MA-104 [39]
Серологические методы		
Иммуноферментный анализ (ИФА)	Основан на выявлении вирусспецифических антител при помощи диагностического антигена. Наиболее часто используемый метод выявления антител был адаптирован для обнаружения IgG, IgM и IgA [40]	Коммерческие наборы доступны для определения серологического статуса свиней как в сыворотке крови, так и в ротовой жидкости в качестве диагностической матрицы (тест-системы для выявления антител к ВРРСС: «РРСС-СЕРОТЕСТ», «РРСС-СЕРОТЕСТ плюс», ООО «Ветбиохим», Россия)
Реакция иммунофлуоресценции (РИФ)	Основана на выявлении вирусного антигена при помощи специфических антител, меченных флуоресцентным красителем. Специфическая флуоресценция должна наблюдаться в инфицированных клетках с положительной контрольной сывороткой. Также предназначена для обнаружения IgG, IgM и IgA [41]	Эффективность РИФ зависит от качества меченых диагностических антител и условий проведения реакции. Важными аспектами являются правильная подготовка образцов и контрольные тесты, которые обеспечивают достоверность результатов
Реакция нейтрализации (РН)	Основана на нейтрализации вируса антителами специфической сыворотки. Используется для обнаружения функциональных антител, связанных с иммунной защитой	Согласно литературным данным, выявление вируснейтрализующих антител возможно только на 45-й день после инфицирования. Это связано с тем, что синтез антител требует времени и на ранних стадиях инфекции уровень антител может быть недостаточным для их обнаружения. Таким образом, РН может быть неэффективна на начальных этапах инфекции. Реакция обладает высокой специфичностью и чувствительностью, что делает ее одним из наиболее надежных методов для определения наличия вируснейтрализующих антител
Иммунопероксидазный монослойный анализ (ИПМА)	Основан на применении фиксированных клеток перmissive линии, инфицированных соответствующим вирусом, для выявления специфических антител. Применяется для обнаружения антител изотипа IgG [42]	Может обеспечить распознавание ряда вариантов ВРРСС, включая полевые и вакцинные штаммы; по чувствительности и специфичности сопоставим с ОТ-ПЦР. Наиболее подходящий метод для раннего обнаружения и мониторинга циркуляции вируса
Молекулярно-генетические методы		
Полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией в реальном времени (ОТ-ПЦР)	Основан на обнаружении фрагментов вирусного генома. Преимущества ОТ-ПЦР заключаются в высокой чувствительности и специфичности, а также в быстрой оценке текущего статуса инфекции	Метод не позволяет отличить инактивированный вирус от инфекционного. Доступные коммерческие наборы реагентов: «Тест-система «РРСС» для выявления РНК и генотипирования вируса репродуктивно-респираторного синдрома свиней методом полимеразной цепной реакции» (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия); «ПЦР-РРСС-ФАКТОР» (ООО «ВЕТ ФАКТОР», Россия); «АмплиПрайм® РРСС» (ООО «НекстБио», Россия)
Секвенирование <i>ORF5</i>	Основан на молекулярно-генетическом типировании изолятов вируса РРСС. Анализ нуклеотидных последовательностей фрагмента <i>ORF5</i> позволил выявить значительную генетическую изменчивость возбудителя [43]. В 2010 г. был предложен метод типирования ВРРСС на основе филогенетических связей в регионе <i>ORF5</i> [22], ставший впоследствии общепринятым	Отсутствуют достоверные сведения о корреляции между филогенетической группировкой на основе последовательностей <i>ORF5</i> и патогенностью или перекрестной защитой, поэтому этот подход несостоятелен для оценки вирулентности штаммов вируса
Секвенирование <i>ORF7</i>	Последовательность <i>ORF7</i> широко используется для определения генетических вариаций и филогенетических связей между различными штаммами ВРРСС, что указывает на важную роль <i>ORF7</i> в эволюции возбудителя [23]	Причиной выбора <i>ORF7</i> в качестве области для секвенирования является консервативность данного гена. Метод имеет ряд преимуществ: способен обнаруживать оба генотипа вируса, является быстрым, недорогим, чувствительным, а также позволяет выявлять новые сублинии и субгенотипы. Таким образом, метод является многообещающим инструментом диагностики и эпизоотологического надзора
Морфологические методы		
Иммуногистохимический метод	Основан на обнаружении специфических антигенов в тканях, фиксированных формалином. Позволяет визуализировать антиген вместе с гистологическими поражениями	Дает возможность идентифицировать вирус в месте поражения, служит доказательством причинно-следственной связи, позволяет выявлять различные концентрации вируса. Обладает меньшей чувствительностью относительно ПЦР; существуют определенные требования к пробоподготовке
Флуоресцентная гибридизация <i>in situ</i> (FISH)	Основан на применении ДНК-зондов, которые связываются с комплементарными мишенями в образце. Подходит для скрининга инфицированных вирусом тканей, в которых затронута относительно небольшое количество клеток	Хотя гибридизация <i>in situ</i> редко используется в диагностических целях, она способна обнаруживать и дифференцировать генотипы ВРРСС в тканях, фиксированных формалином. Чувствительность и специфичность этого метода для обнаружения генома ВРРСС могут быть недостаточными ввиду высокого генетического разнообразия вируса, особенно ВРРСС-1. Метод полезен для изучения вирусной персистенции и для рутинной диагностики РРСС

Таблица 3
Коммерческие вакцины против ПРСС

Table 3
Commercial vaccines against PRRS

Название вакцины (разработчик)	Регион применения	Генотип (штамм)	Эффективность
Живые вакцины [47, 48]			
Ingelvac® PRRS MLV (Boehringer Ingelheim, Германия)	Африка, Азия, Европа, Северная Америка, Южная Америка	VPPCC-2 (VR-2332)	Обеспечивают защиту от заражения гомологичными изолятами, но ограниченную перекрестную защиту от гетерологичных штаммов. Эффективность данных вакцин считается недостаточной для искоренения заболевания на фермах: были зафиксированы случаи крупномасштабных вспышек ПРСС в хозяйствах, практикующих вакцинацию. Использование живых модифицированных вакцин против ПРСС может быть проблематичным, поскольку вакцинный вирус способен выделяться в течение 2 нед. и имеет потенциал для реверсии к вирулентному типу
Ingelvac® PRRS ATP (Boehringer Ingelheim, Германия)	Азия, Европа, Северная Америка	VPPCC-2 (JA-142)	
Fostera® PRRS (Zoetis, США)	Африка, Азия, Европа, Северная Америка	VPPCC-2 (P129)	
Prime Pac® PRRS (MSD Animal Health, Нидерланды)	Африка, Азия, Европа, Северная Америка	VPPCC-2 (Neb-1)	
Prevacent® PRRS (Elanco Animal Health Inc., США)	Азия, Европа, Северная Америка	VPPCC-2 (RFLP 184)	
Unistrain® PRRS (Laboratorios Hipra, S.A., Испания)	Африка, Азия, Европа	VPPCC-1 (VP-046 BIS)	
ReproСyc® PRRS EU (Boehringer Ingelheim, Германия)	Африка, Азия, Европа	VPPCC-1 (94881)	
Pursvac-183® (Laboratorios Syva S.A., Испания)	Азия, Европа	VPPCC-1 (ALL-183)	
Suvaxyn® PRRS MLV (Zoetis, США)	Европа	VPPCC-1 (96V198)	
«ВНИИЗЖ-ПРСС» (ФГБУ «ВНИИЗЖ», Россия)	Россия	VPPCC-2 (аттенуированный штамм «БД-ДЕП»)	
«ВНИИЗЖ-РесурсВак» (ФГБУ «ВНИИЗЖ», Россия)	Россия	VPPCC-1 (аттенуированный штамм «Борз»)	
«Ресвак» (ФКП «Щелковский биокомбинат», Россия)	Россия	VPPCC-1 (штамм «PRRS-1SBC»)	
Инактивированные вакцины [49, 50]			
SUIPRAVAC® PRRS (Laboratorios Hipra, S.A., Испания)	Европа	VPPCC (VP-046 BIS)	Инактивированные вакцины индуцируют более слабый и менее продолжительный иммунный ответ и зачастую малоэффективны в отношении гетерологичных штаммов, однако они являются более стабильными и менее чувствительными к условиям хранения, безопасны для применения у беременных свиноматок
PROGRESSIS® (Merial, Франция)	Европа	VPPCC-1 (P120)	
SUIVAC® PRRS-INe / SUIVAC® PRRS-IN (Dyntec, Чехия)	Европа	VPPCC-1 (VD-E1/VD-E2/VD-A1)	
Biosuis PRRS inact Eu+Am (Bioveta, Inc., Чехия)	Европа, Россия	VPPCC-1 (европейский штамм MSV Bio-60, американский штамм MSV Bio-61)	
«ВНИИЗЖ-ПРСС инакт» (ФГБУ «ВНИИЗЖ», Россия)	Россия	VPPCC-1 (штамм «КПР-96»)	
PPCC-FREE (Reber Genetics, Co. Ltd, Китай)	Азия, Россия	VPPCC-1, VPPCC-2 (антигены PE-PQAB-K13, PE-RSAB-K13, PE-DGD-K13, PE-M12-K13)	
«ВЕРРЕС-ПРСС» (ООО «Ветбиохим», Россия)	Россия	VPPCC-1 (штамм «ОБ»); рекомбинантные белки М и GP-5 VPPCC-1 (штамм Туу16)	
«ВНИИЗЖ-РеПовак» (ФГБУ «ВНИИЗЖ», Россия)	Россия	VPPCC-1 (штамм «КПР-96»)	
«ВНИИЗЖ-Ауески+ПРСС» (ФГБУ «ВНИИЗЖ», Россия)	Россия	VPPCC-1 (штамм «КПР-96»)	

Таблица 4
Кандидатные вакцины против РРСС

Table 4
Candidate vaccines against PRRS

Название вакцинного кандидата	Способ получения, протективные характеристики
Делеционный мутант vCSL1-GP5-N44S	Получен при помощи замены 44-й аминокислоты в эктодомене белка GP5 (замена серина на аспарагин). В испытании <i>in vivo</i> у поросят, иммунизированных vCSL1-GP5-N44S, не наблюдалось побочных эффектов; вакцина индуцировала образование высокого уровня нейтрализующих антител после заражения [54]
Аттенуированный штамм A2MC2-P90	Был получен после <i>in vitro</i> аттенуации BPPCC-A2MC2 посредством 90 последовательных пассажей в клетках MARC-145. Полученный штамм A2MC2-P90 сохранил способность индуцировать IFN в клеточной культуре. A2MC2-P90 обеспечивал вакцинированным поросётам 100%-ю защиту от летального заражения чрезвычайно вирулентным штаммом HP-BPPCC-XJA1, в то время как у невакцинированных поросят к 21-му дню после заражения наблюдалась 100%-я смертность [55]
Химерный вирус vCSL1-GP5-N33D	Химерный вакцинный кандидат на основе BPPCC-2, экспрессирующий гипогликозилированный GP-5. Был применен в хозяйствах, неблагополучных по РРСС; индуцировал образование нейтрализующих антител в высоких титрах спустя 8 нед. после вакцинации [56]
Химерный вирус VR2385-S3456	Фрагмент S3456 содержит полноразмерные последовательности генов, кодирующих структурные белки (ORF3-6), внедренные в геном BPPCC штамма VR2385. Индуцировал высокий уровень нейтрализующих антител против двух гетерологичных штаммов [57]
Химерный вирус K418DM1.1	Химерный вирус с геномной основой инфекционного клона FL12 высоковирулентного американского BPPCC, содержащей гены структурных белков штамма LMY BPPCC-2. K418 был дополнительно модифицирован путем дегликозилирования GP5 и обладал высокой иммуногенностью. Реверсии к вирулентному состоянию не наблюдалось [58]
Химерный вирус rJS-ORF2-6-CON	Основой явилась консенсусная последовательность ORF2-6 (ORF2-6-CON), кодирующая все оболочечные белки, разработанная на основе 30 актуальных китайских изолятов BPPCC. Химерный вирус rJS-ORF2-6-CON был создан с использованием авирулентного инфекционного клона HP-PRRSV2 JSTZ1712-12. Результаты испытаний <i>in vivo</i> показали, что вирус не является патогенным для поросят и обеспечивает перекрестную защиту против гетерологичных штаммов [45]
Химерный вирус rTGEV-GP5-N46S-M	Основой явился вирус трансмиссивного гастроэнтерита свиней, коэкспрессирующий белки GP5 (за исключением первого сайта гликозилирования) и М. После двукратной иммунизации поросят было установлено образование вируснейтрализующих антител; также была доказана функциональность вакцины <i>in vivo</i> при заражении штаммом PRRSV/Olot91. Недостатком является нестабильность рекомбинантного вируса: экспрессия GP5 снижалась при пассировании на уровне 8–10 пассажей [59]

СПЕЦИФИЧЕСКАЯ ПРОФИЛАКТИКА

Идеальная вакцина против РРСС пока не разработана. Согласно современным требованиям, предъявляемым к новому поколению вакцин против РРСС, они должны характеризоваться высокой эффективностью, безопасностью и при этом обеспечивать перекрестную защиту в отношении представителей разных генотипов вируса [44]. Из-за исключительной способности BPPCC мутировать и генерировать существенные генетические вариации разработка препарата с широким протективным эффектом особенно актуальна для борьбы с постоянно возникающими вспышками заболевания [45].

Первая коммерчески доступная модифицированная живая аттенуированная вакцина против РРСС (PRRSV-MLV) была выпущена в США в 1994 г. Это событие стало отправной точкой для масштабных исследований безопасности и эффективности вакцин [46]. К настоящему времени разработано значительное количество классических (живых и инактивирован-

ных) вакцин, их краткая характеристика приведена в таблице 3.

В то же время результаты исследований, посвященных циркуляции и персистенции вакцинного штамма вируса, вызывают опасения относительно его безопасности: виремия подразумевает потенциальную передачу вакцинного вируса неинфицированным животным. Кроме того, вакцинный вирус может пересекать плацентарный барьер у беременных свиноматок и инфицировать развивающиеся плоды, что приводит к передаче возбудителя неинфицированным новорожденным поросётам во время лактации. Также было показано, что вакцинные штаммы способны рекомбинировать с полевыми, создавая потенциально новые генетически отличные варианты BPPCC в отдельной взятых хозяйствах [51]. По этим причинам эффективность живых аттенуированных вакцин несколько спорна, и общепризнано, что необходимо повысить их безопасность. В этом контексте для контроля и возможного искоренения РРСС большое значение будет иметь

DIVA-стратегия (дифференцирование инфицированных от вакцинированных животных) [52, 53]. Эпизоотологические и нормативные соображения указывают на необходимость разработки DIVA-вакцины против РРСС, которая будет отличаться наличием отрицательного маркера (то есть маркера, отсутствующего в вакцинном штамме, но постоянно присутствующего в штаммах дикого типа). Подобные кандидатные вакцины были получены на платформе крупных ДНК-вирусов, таких как вирус псевдобешенства (PRV) и герпесвирус крупного рогатого скота 1-го типа (BHV-1), путем удаления генов, кодирующих некоторые структурные белки. Однако в случае небольшого РНК-вируса, такого как ВРРСС, который кодирует лишь несколько белков с основными функциями, создание мутантного вируса с делецией иммунодоминантного и консервативного сегментов белка (или комбинацией делеций в пределах одного белка или даже в различных белках) представляется более сложной задачей. Тем не менее такой подход может стать перспективной альтернативой для разработки живой аттенуированной маркированной вакцины против РРСС [8].

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ BIOTECHNOLOGICAL PLATFORMS FOR THE DEVELOPMENT OF CANDIDATE VACCINES

В таблице 4 рассмотрены основные характеристики некоторых кандидатных вакцин против РРСС, полученных на основе различных биотехнологических платформ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на текущем этапе изучения патогенеза РРСС можно выделить три основные проблемы разработки более эффективных вакцин нового поколения: недостаточность сведений о механизмах иммунной защиты, способность вируса индуцировать негативные регуляторные сигналы для иммунной системы, а также его значительная антигенная изменчивость [59]. В частности, последний фактор является причиной низкой эффективности существующих вакцин в отношении гетерологичного заражения. Дальнейшее углубленное изучение особенностей иммунного ответа организма-хозяина, а также идентификация T- и B-клеточных эпитопов в структуре ВРРСС позволит обеспечить рациональный дизайн генно-инженерных вакцин и впоследствии достичь оптимального баланса между их безопасностью и эффективностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Глазунова А. А., Корогодина Е. В., Севских Т. А., Краснова Е. А., Кукушкин С. А., Блохин А. А. Репродуктивно-респираторный синдром свиней в свиноводческих предприятиях (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23 (5): 600–610. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.600-610>
2. Glazunova A. A., Korogodina E. V., Sevskikh T. A., Krasnova E. A., Kukushkin S. A., Blokhin A. A. Reproductive and respiratory syndrome of pigs in pig breeding enterprises (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23 (5): 600–610. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.600-610> (in Russ.)
3. Butler J. E., Lager K. M., Golde W., Faaberg K. S., Sinkora M., Loving C., Zhang Y. I. Porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS): an immune dysregulatory pandemic. *Immunologic Research*. 2014; 59: 81–108. <https://doi.org/10.1007/s12026-014-8549-5>
4. Raev S., Yuzhakov A., Bulgakov A., Kostina L., Gerasianinov A., Verkhovskiy O., et al. An outbreak of a respiratory disorder at a Russian swine farm associated with the co-circulation of PRRSV1 and PRRSV2. *Viruses*. 2020; 12 (10): 1169. <https://doi.org/10.3390/v12101169>

5. Мананов М. Репродуктивно-респираторный синдром свиней. *Животноводство России*. 2022; (1): 34–35. <https://elibrary.ru/vcsowo>
6. Mananov M. Porcine reproductive and respiratory syndrome. *Animal Husbandry of Russia*. 2022; (1): 34–35. <https://elibrary.ru/vcsowo> (in Russ.)
7. Nan Y., Wu C., Gu G., Sun W., Zhang Y.-J., Zhou E.-M. Improved vaccine against PRRSV: current progress and future perspective. *Frontiers in Microbiology*. 2017; 8:1635. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01635>
8. Wang Y., Liang Y., Han J., Burkhart K. M., Vaughn E. M., Roof M. B., Faaberg K. S. Attenuation of porcine reproductive and respiratory syndrome virus strain MN184 using chimeric construction with vaccine sequence. *Virology*. 2008; 371 (2): 418–429. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2007.09.032>
9. Snijder E. J., Kikkert M., Fang Y. Arterivirus molecular biology and pathogenesis. *Journal of General Virology*. 2013; 94 (10): 2141–2163. <https://doi.org/10.1099/vir.0.056341-0>
10. Fang K., Liu S., Li X., Chen H., Qian P. Epidemiological and genetic characteristics of porcine reproductive and respiratory syndrome virus in South China between 2017 and 2021. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9:853044. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.853044>
11. Южаков А. Г., Жукова Е. В., Алипер Т. И., Гулюкин А. М. Репродуктивно-респираторный синдром свиней: ситуация в России. *Свиноводство*. 2022; (5): 32–35. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2022-5-32-35>
12. Yuzhakov A. G., Zhukova E. V., Aliper T. I., Gulyukin A. M. Porcine reproductive respiratory syndrome: situation in Russia. *Pigbreeding*. 2022; (5): 32–35. <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2022-5-32-35> (in Russ.)
13. Стаффорд В. В., Раев С. А., Алексеев К. П., Южаков А. Г., Алипер Т. И., Забережный А. Д. и др. Иммуногистохимическая диагностика репродуктивного и респираторного синдрома свиней. *Ветеринария*. 2017; (2): 26–30. <https://elibrary.ru/vmtbiz>
14. Stafford V. V., Raev S. A., Alekseev K. P., Yushakov A. G., Aliper T. I., Zaberezhny A. D., et al. Immunohistochemistry method for the detection porcine reproductive and respiratory virus. *Veterinariya*. 2017; (2): 26–30. <https://elibrary.ru/vmtbiz> (in Russ.)
15. Du Y., Lu Y., Qi J., Wu J., Wang G., Wang J. Complete genome sequence of a moderately pathogenic porcine reproductive and respiratory syndrome virus variant strain. *Journal of Virology*. 2012; 86 (24): 13883–13884. <https://doi.org/10.1128/JVI.02731-12>
16. Sandri G. PRRSV sequencing and its use in practice. *Pig333.com: Professional Pig Community*. 5 March 2018. https://www.pig333.com/articles/prsv-sequencing-and-its-use-in-practice_13422
17. Guo C., Liu X. Editorial: Porcine reproductive and respiratory syndrome virus – animal virology, immunology, and pathogenesis. *Frontiers in Immunology*. 2023; 14: 1194386. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1194386>
18. Zheng Y., Li G., Luo Q., Sha H., Zhang H., Wang R., et al. Research progress on the N protein of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Frontiers in Microbiology*. 2024; 15:1391697. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1391697>
19. Brinton M. A., Gulyaeva A. A., Balasuriya U. B. R., Dunowska M., Faaberg K. S., Goldberg T., et al. ICTV Virus Taxonomy Profile: Arteriviridae 2021. *Journal of General Virology*. 2021; 102 (8):001632. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.001632>
20. Thi Dieu Thuy N., Thi Thu N., Son N. G., Ha L. T. T., Hung V. K., Nguyen N. T., Khoa D. V. A. Genetic analysis of ORF5 porcine reproductive and respiratory syndrome virus isolated in Vietnam. *Microbiology and Immunology*. 2013; 57 (7): 518–526. <https://doi.org/10.1111/1348-0421.12067>
21. Yim-im W., Anderson T. K., Paploski I. A. D., VanderWaal K., Gauger P., Krueger K., et al. Refining PRRSV-2 genetic classification based on global ORF5 sequences and investigation of their geographic distributions and temporal changes. *Microbiology Spectrum*. 2023; 11 (6): e02916-23. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02916-23>
22. Evans A. B., Loyd H., Dunkelberger J. R., van Tol S., Bolton M. J., Dorman K. S., et al. Antigenic and biological characterization of ORF2-6 variants at early times following PRRSV infection. *Viruses*. 2017; 9 (5):113. <https://doi.org/10.3390/v9050113>
23. Kappes M. A., Faaberg K. S. PRRSV structure, replication and recombination: Origin of phenotype and genotype diversity. *Virology*. 2015; 479–480: 475–486. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2015.02.012>
24. Zhang H., Xiang L., Xu H., Li C., Tang Y.-D., Gong B., et al. Lineage 1 porcine reproductive and respiratory syndrome virus attenuated live vaccine provides broad cross-protection against homologous and heterologous NADC30-like virus challenge in piglets. *Vaccines*. 2022; 10 (5):752. <https://doi.org/10.3390/vaccines10050752>
25. Shi M., Lam T. T.-Y., Hon C.-C., Hui R. K.-H., Faaberg K. S., Wennblom T., et al. Molecular epidemiology of PRRSV: A phylogenetic perspective. *Virus Research*. 2010; 154 (1–2): 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.08.014>
26. Pileri E., Mateu E. Review on the transmission porcine reproductive and respiratory syndrome virus between pigs and farms and impact on vaccination. *Veterinary Research*. 2016; 47 (1):108. <https://doi.org/10.1186/s13567-016-0391-4>

23. Щербakov A. B., Тимина А. М., Челышева М. В., Каньшина А. В. Филогенетическая характеристика вируса, вызвавшего вспышку атипичного репродуктивно-респираторного синдрома свиней в Иркутской области Российской Федерации. *Труды Федерального центра охраны здоровья животных*. 2009; 7: 55–63. <https://elibrary.ru/mouigt>
- Scherbakov A. V., Timina A. M., Chelysheva M. V., Kanshina A. V. Phylogenetic characterization of the virus responsible for atypical reproductive and respiratory syndrome outbreak in the Irkutskaya Oblast of the Russian Federation. *Proceedings of the Federal Centre for Animal Health*. 2009; 7: 55–63. <https://elibrary.ru/mouigt> (in Russ.)
24. Shi M., Lemey P., Singh Brar M., Suchard M. A., Murtaugh M. P., Carman S., et al. The spread of type 2 porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) in North America: A phylogeographic approach. *Virology*. 2013; 447 (1–2): 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2013.08.028>
25. Zhou L., Kang R., Zhang Y., Ding M., Xie B., Tian Y., et al. Whole genome analysis of two novel type 2 porcine reproductive and respiratory syndrome viruses with complex genome recombination between lineage 8, 3, and 1 strains identified in Southwestern China. *Viruses*. 2018; 10 (6):328. <https://doi.org/10.3390/v10060328>
26. Luo Q., Zheng Y., He Y., Li G., Zhang H., Sha H., et al. Genetic variation and recombination analysis of the GP5 (GP5a) gene of PRRSV-2 strains in China from 1996 to 2022. *Frontiers in Microbiology*. 2023; 14:1238766. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1238766>
27. Fan Y.-F., Bai J., Jiang P. Analysis on GP5 genetic variation of porcine reproductive and respiratory syndrome virus from Shandong Province. *Journal of Domestic Animal Ecology*. 2017; 38 (4): 63–67. <http://jcast.magtech.com.cn/EN/Y2017/V38/I4/63>
28. Murtaugh M. P., Stadejek T., Abrahante J. E., Lam T. T.-Y., Leung F. C.-C. The ever-expanding diversity of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Virus Research*. 2010; 154 (1–2): 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.08.015>
29. Кукушкин С. А. Эпизоотология и меры борьбы с репродуктивно-респираторным синдромом свиней в мире и в Российской Федерации. *Ветеринарная патология*. 2006; (4): 89–95. <https://elibrary.ru/oedrgf>
- Kukushkin S. A. Porcine reproductive and respiratory syndrome. Epidemiology and control in the world and in the Russian Federation. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2006; (4): 89–95. <https://elibrary.ru/oedrgf> (in Russ.)
30. Stadejek T., Oleksiewicz M. B., Scherbakov A. V., Timina A. M., Krabbe J. S., Chabros K., Potapchuk D. Definition of subtypes in the European genotype of porcine reproductive and respiratory syndrome virus: nucleocapsid characteristics and geographical distribution in Europe. *Archives of Virology*. 2008; 153 (8): 1479–1488. <https://doi.org/10.1007/s00705-008-0146-2>
31. Frydas I. S., Verbeeck M., Cao J., Nauwynck H. J. Replication characteristics of porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) European subtype 1 (Lelystad) and subtype 3 (Lena) strains in nasal mucosa and cells of the monocytic lineage: indications for the use of new receptors of PRRSV (Lena). *Veterinary Research*. 2013; 44 (1):73. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-44-73>
32. Balka G., Podgórska K., Brar M. S., Bálint Á., Cadar D., Celer V., et al. Genetic diversity of PRRSV 1 in Central Eastern Europe in 1994–2014: origin and evolution of the virus in the region. *Scientific Reports*. 2018; 8 (1):7811. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26036-w>
33. Орлянкин Б. Г., Алипер Т. И., Мишин А. М. Инфекционные респираторные болезни свиней: этиология, диагностика и профилактика. *Свиноводство*. 2010; (3): 67–69. <https://elibrary.ru/oxoynv>
- Orlyankin B. G., Aliper T. I., Mishin A. M. Infektsionnye respiratornye bolezni svinei: etiologiya, diagnostika i profilaktika = Infectious respiratory porcine diseases: etiology, diagnosis and prevention. *Pigbreeding*. 2010; (3): 67–69. <https://elibrary.ru/oxoynv> (in Russ.)
34. Гречухин А. Н., Зеленуха Е. А. Анализ противоэпизоотических мероприятий при репродуктивно-респираторном синдроме свиней (PRRS) на крупном свиномкомплексе. *Свиноводство*. 2011; (4): 54–55. <https://elibrary.ru/nvxjej>
- Grechukhin A. N., Zelenukha E. A. Analiz protivoepizooticheskikh meropriyatii pri reproduktivno-respiratornom sindrome svinei (RRRS) na крупном svinokomplekse = Analysis of anti-epizootic measures taken to control porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) on a large commercial pig farm. *Pigbreeding*. 2011; (4): 54–55. <https://elibrary.ru/nvxjej> (in Russ.)
35. Lunney J. K., Fang Y., Ladinig A., Chen N., Li Y., Rowland B., Renukaradhya G. J. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV): pathogenesis and interaction with the immune system. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2016; 4: 129–154. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-111025>
36. Fiers J., Maes D., Cay A.-B., Vandenbussche F., Mostin L., Parys A., Tignon M. PRRSV-vaccinated, seronegative sows and maternally derived antibodies (II): impact on PRRSV-1 vaccine effectiveness and challenge outcomes in piglets. *Vaccines*. 2024; 12 (3):257. <https://doi.org/10.3390/vaccines12030257>
37. Rowland R. R., Lawson S., Rossow K., Benfield D. A. Lymphoid tissue tropism of porcine reproductive and respiratory syndrome virus replication during persistent infection of pigs originally exposed to virus *in utero*. *Veterinary Microbiology*. 2003; 96 (3): 219–235. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2003.07.006>
38. Zimmerman J., Benfield D., Christopher-Hennings J., Dee S., Stevenson G. Porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS). *Hogs, Pigs, and Pork*. August 28, 2019. <https://swine.extension.org/porcine-reproductive-and-respiratory-syndrome-prrs>
39. Rodríguez-Gómez I. M., Käser T., Gómez-Laguna J., Lamp B., Sinn L., Rümenerpf T., et al. PRRSV-infected monocyte-derived dendritic cells express high levels of SLA-DR and CD80/86 but do not stimulate PRRSV-naïve regulatory T cells to proliferate. *Veterinary Research*. 2015; 46 (1):54. <https://doi.org/10.1186/s13567-015-0186-z>
40. Каньшина А. В., Щербakov A. B. Серодиагностика PPCC: результаты участия в международных сравнительных испытаниях. *Ветеринария сегодня*. 2012; (2): 22–25. <https://elibrary.ru/svjqlj>
- Kanshina A. V., Scherbakov A. V. Serological diagnosis of PRRS: results of participation in international comparative trials. *Veterinary Science Today*. 2012; (2): 26–29. <https://elibrary.ru/svjqlj>
41. Teifke J. P., Dauber M., Fichtner D., Lenk M., Polster U., Weiland E., Beyrer J. Detection of European porcine reproductive and respiratory syndrome virus in porcine alveolar macrophages by two-colour immunofluorescence and in-situ hybridization-immunohistochemistry double labelling. *Journal of Comparative Pathology*. 2001; 124 (4): 238–245. <https://doi.org/10.1053/jcpa.2000.0458>
42. Pan J., Zeng M., Zhao M., Huang L. Research progress on the detection methods of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Frontiers in Microbiology*. 2023; 14:1097905. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1097905>
43. Montaner-Tarbes S., del Portillo H. A., Montoya M., Fraile L. Key gaps in the knowledge of the porcine respiratory reproductive syndrome virus (PRRSV). *Frontiers in Veterinary Science*. 2019; 6:38. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00038>
44. Park C., Choi K., Jeong J., Chae C. Cross-protection of a new type 2 porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) modified live vaccine (Fostera PRRS) against heterologous type 1 PRRSV challenge in growing pigs. *Veterinary Microbiology*. 2015; 177 (1–2): 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2015.02.020>
45. Chen N., Li S., Tian Y., Li X., Li S., Li J., et al. Chimeric HP-BPPCC2 containing an ORF2-6 consensus sequence induces antibodies with broadly neutralizing activity and confers cross protection against virulent NADC30-like isolate. *Veterinary Research*. 2021; 52 (1):74. <https://doi.org/10.1186/s13567-021-00944-8>
46. Renukaradhya G. J., Meng X.-J., Calvert J. G., Roof M., Lager K. M. Live porcine reproductive and respiratory syndrome virus vaccines: Current status and future direction. *Vaccine*. 2015; 33 (33): 4069–4080. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.06.092>
47. Li J., Miller L. C., Sang Y. Current status of vaccines for porcine reproductive and respiratory syndrome: interferon response, immunological overview, and future prospects. *Vaccines*. 2024; 12 (6):606. <https://doi.org/10.3390/vaccines12060606>
48. Байбиков Т. З., Гусев А. А., Дудникова Н. С., Дудников С. А., Гаврилова В. Л., Курман И. Я. и др. Штамм «БД» вируса репродуктивно-респираторного синдрома свиней для изготовления диагностических и вакцинных препаратов. Патент № 2220202 С1 Российская Федерация, МПК C12N 7/00, A61K 39/12. ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты животных». № 2002110976/13. Заявл. 25.04.2002. Оpubл. 27.12.2003.
- Vajbikov T. Z., Gusev A. A., Dudnikova N. S., Dudnikov S. A., Gavrilova V. L., Kurman I. Ja., et al. Swine reproductive-respiratory syndrome virus strain “BD” for preparing diagnostic and vaccine preparations. Patent No. 2220202 C1 Russian Federation, Int. Cl. C12N 7/00, A61K 39/12. All-Russian Research Institute for Animal Health. No. 2002110976/13. Date of filing: 25.04.2002. Date of publication: 27.12.2003.
49. Байбиков Т. З., Кукушкин С. А., Баборенко Е. П., Долганова Е. К., Гаврилова В. Л., Тетерин И. А. Вакцина против репродуктивно-респираторного синдрома свиней эмульсионная инактивированная. Патент № 2316346 С2 Российская Федерация, МПК A61K 39/12, A61P 31/12, C12N 7/00. ФГУ «Федеральный центр охраны здоровья животных». № 2006105369/13. Заявл. 20.02.2006. Оpubл. 10.02.2008. Бюл. № 4.
- Vajbikov T. Z., Kukushkin S. A., Baborenko E. P., Dolganova E. K., Gavrilova V. L., Teterin I. A. Inactivated emulsion vaccine against swine's reproductive-respiratory syndrome. Patent No. 2316346 C2 Russian Federation, Int. Cl. A61K 39/12, A61P 31/12, C12N 7/00. All-Russian Research Institute for Animal Health. No. 2006105369/13. Date of filing: 20.02.2006. Date of publication: 10.02.2008. Bull. No. 4.

50. Баборенко Е. П., Долганова Е. К., Груздев К. Н. Изучение антигенной активности ассоциированных вакцин против болезни Ауески, репродуктивно-респираторного синдрома и парвовирусной инфекции свиней. *Ветеринария сегодня*. 2018; (2): 13–17. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2018-2-25-13-17>
- Baborenko Ye. P., Dolganova Ye. K., Gruzdev K. N. Testing of combined vaccines against Aujeszky's disease, porcine reproductive and respiratory syndrome and porcine parvovirus infection for their antigenicity. *Veterinary Science Today*. 2018; (2): 13–17. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2018-2-25-13-17>
51. Madapong A., Saeng-chuto K., Tantituvanont A., Nilubol D. Safety of PRRSV-2 MLV vaccines administered via the intramuscular or intradermal route and evaluation of PRRSV transmission upon needle-free and needle delivery. *Scientific Reports*. 2021; 11 (1):23107. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02444-3>
52. Галеева А. Г., Усольцев К. В., Хаммадов Н. И., Насыров Ш. М. Дизайн антигенной композиции на основе фрагмента гликопротеина E2 вируса классической чумы свиней. *Ветеринарный врач*. 2024; (1): 28–33. <https://elibrary.ru/rdihub>
- Galeeva A. G., Usoltsev K. V., Khammadvov N. I., Nasyrov Sh. M. Design of antigenic composition based on partial E2 glycoprotein of classical swine fever virus. *Veterinarian*. 2024; (1): 28–33. <https://elibrary.ru/rdihub> (in Russ.)
53. Ахунова А. Р., Насыров Ш. М., Галеева А. Г., Арутюнян Г. С., Ефимова М. А., Гулюкин М. И. Применение прямой реакции иммунофлуоресценции в технологическом контроле матричных расплектов вируса классической чумы свиней. *Ветеринарный врач*. 2024; (3): 27–33. <https://elibrary.ru/mnswgm>
- Ahunova A. A., Nasyrov Sh. M., Galeeva A. G., Arutyunyan G. S., Efimova M. A., Gulyukin M. I. Application of direct fluorescent antibodies test in process control of classical swine fever virus master seeds. *Veterinarian*. 2024; (3): 27–33. <https://elibrary.ru/mnswgm> (in Russ.)
54. Choi J.-C., Kim M.-S., Choi H.-Y., Kang Y.-L., Choi I.-Y., Jung S.-W., et al. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus engineered by serine substitution on the 44th amino acid of GP5 resulted in a potential vaccine candidate with the ability to produce high levels of neutralizing antibody. *Veterinary Sciences*. 2023; 10 (3):191. <https://doi.org/10.3390/vetsci10030191>
55. Li Y., Li J., He S., Zhang W., Cao J., Pan X., et al. Interferon inducing porcine reproductive and respiratory syndrome virus vaccine candidate protected piglets from HP-PRRSV challenge and evoke a higher level of neutralizing antibodies response. *Vaccines*. 2020; 8 (3):490. <https://doi.org/10.3390/vaccines8030490>
56. Choi H.-Y., Kim M.-S., Kang Y.-L., Choi J.-C., Choi I.-Y., Jung S.-W., et al. Development of a chimeric porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV)-2 vaccine candidate expressing hypo-glycosylated glycoprotein-5 ectodomain of Korean lineage-1 strain. *Veterinary Sciences*. 2022; 9 (4):165. <https://doi.org/10.3390/vetsci9040165>
57. Tian D., Cao D., Lynn Heffron C., Yugo D. M., Rogers A. J., Overend C., et al. Enhancing heterologous protection in pigs vaccinated with chimeric porcine reproductive and respiratory syndrome virus containing the full-length sequences of shuffled structural genes of multiple heterologous strains. *Vaccine*. 2017; 35 (18): 2427–2434. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2017.03.046>
58. Choi H.-Y., Lee S.-H., Ahn S.-H., Choi J.-C., Jeong J.-Y., Lee B.-J., et al. A chimeric porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV)-2 vaccine is safe under international guidelines and effective both in experimental and field conditions. *Research in Veterinary Science*. 2021; 135: 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.01.012>
59. Cruz J. L. G., Zúñiga S., Bécares M., Sola I., Ceriani J. E., Juanola S., et al. Vectored vaccines to protect against PRRSV. *Virus Research*. 2010; 154 (1–2): 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.06.017>

Поступила в редакцию / Received 17.01.2025

Поступила после рецензирования / Revised 18.02.2025

Принята к публикации / Accepted 25.03.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Николаева Юлия Александровна, младший научный сотрудник лаборатории вирусных антропоозонозов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», г. Казань, Республика Татарстан, Россия; <https://orcid.org/0009-0007-0105-7171>, yulia.nikolaeva111@mail.ru

Yulia A. Nikolaeva, Junior Researcher, Laboratory of Viral Anthroozoonoses, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia; <https://orcid.org/0009-0007-0105-7171>, yulia.nikolaeva111@mail.ru

Вклад автора: Николаева Ю. А. – проведение поисково-аналитической работы, подготовка и написание статьи.

Contribution of the author: Nikolaeva Yu. A. – conducting search and analytical work, preparing and writing the review article.