



<https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-4-396-404>
УДК 619:616.9:631.145:636.4:616-036.22:616.9-084(470)



Ситуационный анализ по приоритетным для промышленного свиноводства болезням свиней: пути улучшения биозащиты предприятий в Российской Федерации

А. С. Оганесян, М. А. Шибаяев, О. Н. Петрова, Н. Е. Баскакова, А. К. Караулов

ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»), мкр. Юрьевец, г. Владимир, 600901, Россия

РЕЗЮМЕ

Проведен анализ ситуации по управлению основными значимыми для промышленного свиноводства Российской Федерации эпизоотическими угрозами. Рассмотрены особенности и эффективность различных мер, используемых в системах биозащиты свиноводческих предприятий, и возможные пути их улучшения. Обсуждение путей развития мер биозащиты свиноводческих предприятий и систем в Российской Федерации, способных повлиять на защищенность популяции, вели по четырем направлениям, связанным с путями заноса и распространения инфекций: изолированность популяции от внешних источников угроз (устранение вероятных сценариев воздействия из внешней среды); изолированность популяции от внутренних источников угроз (устранение вероятных сценариев воздействия в потоке производства); изолированность популяции или системы свиноводства от воздействия человеческого фактора (устранение вероятных сценариев воздействия на популяцию человеческого фактора); изолированность популяции от условий, при которых проявлен потенциал угроз (изменение условий). Результаты анализа представили графически в виде принципиальной схемы «Источники угроз для систем биозащиты и меры, направленные на эти источники для формирования защищенной популяции в промышленном свиноводстве». По итогам обсуждения сделано заключение, что автоматизация и цифровизация всех процессов в свиноводстве, создание и внедрение в производство генетически модифицированных свиней, не восприимчивых к таким наиболее значимым возбудителям, как вирусы африканской чумы свиней, классической чумы свиней, репродуктивно-респираторного синдрома свиней, дальнейшие исследования и внедрение комплексных технологичных решений по санитарии кормов представляются на сегодня эволюционно значимыми путями, которые позволят эффективно интенсифицировать свиноводство в Российской Федерации.

Ключевые слова: болезни свиней, эпизоотическая ситуация, свиноводство, биозащита, ветеринарно-санитарные меры

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

Для цитирования: Оганесян А. С., Шибаяев М. А., Петрова О. Н., Баскакова Н. Е., Караулов А. К. Ситуационный анализ по приоритетным для промышленного свиноводства болезням свиней: пути улучшения биозащиты предприятий в Российской Федерации. *Ветеринария сегодня*. 2024; 13 (4): 396–404. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-4-396-404>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Оганесян Андрей Серожович, канд. вет. наук, заведующий сектором информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», мкр. Юрьевец, г. Владимир, 600901, Россия, oganesyan@arriah.ru

Situational analysis on porcine diseases of priority to pig industry: methods for biosecurity improvement in the Russian Federation holdings

Andrey S. Oganesyan, Mikhail A. Shibayev, Olga N. Petrova, Natalia Ye. Baskakova, Anton K. Karaulov

Federal Centre for Animal Health, Yur'evets, Vladimir 600901, Russia

ABSTRACT

The analysis of the situation on management of main epizootic threats significant for pig industry in the Russian Federation was carried out. The features and effectiveness of various biosecurity measures used in pig holdings and possible ways for their improvement were examined. Options for improvement of biosecurity measures in Russian pig holdings and development of the systems in the Russian Federation having favorable effect on the population protection were discussed focusing on four target aspects related to infection introduction and spread routes: isolation of the population from external sources of threats (elimination of probable environmental impact scenarios); isolation of the population from internal sources of threats (elimination of probable impact scenarios during production process); isolation of the pig population or pig farming system from the human factor impact (elimination of possible scenarios of human factor impact

on the population); isolation of the population from the conditions under which the threat potential is manifested (changing of conditions). The analysis results were presented graphically in the form of a schematic diagram "Sources of threats to biosecurity systems and measures aimed at these sources for the protected population creation in pig industry". Based on the discussion results, automation and digitalization of all processes in pig industry, generation of genetically modified pigs not susceptible to the most significant pathogens such as African swine fever, classical swine fever, porcine reproductive and respiratory syndrome viruses and their use for production purposes, further research and implementation of integrated technological solutions for feed sanitation have been concluded to be the evolutionarily significant ways for effective pig farming intensification in the Russian Federation.

Keywords: porcine diseases, epizootic situation, pig industry, biosecurity, veterinary and sanitary measures

Acknowledgements: The study was funded by the Federal Centre for Animal Health within the research topic "Veterinary Welfare".

For citation: Oganessian A. S., Shibayev M. A., Petrova O. N., Baskakova N. Ye., Karaulov A. K. Situational analysis on porcine diseases of priority to pig industry: methods for biosecurity improvement in the Russian Federation holdings. *Veterinary Science Today*. 2024; 13 (4): 396–404. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-4-396-404>

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

For correspondence: Andrey S. Oganessian, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Head of Sector, Information and Analysis Centre, Federal Centre for Animal Health, Yur'evets, Vladimir 600901, Russia, oganesyan@arriah.ru

ВВЕДЕНИЕ

Основным источником животного белка в мире остается свинина, ее выпуск ежегодно превышает производство любого другого вида мяса. В 2019–2020 гг. мировое производство животного белка резко сократилось из-за масштабных вспышек африканской чумы свиней (АЧС) в Китае и странах Юго-Восточной Азии. С 2020 г. Российская Федерация вышла на самообеспеченность свиной, а в 2022 г. промышленными предприятиями было произведено 5275,1 тыс. тонн свинины в убойном весе, где доля крупных предприятий составила 76%. В РФ прогнозируют сохранение и рост высокого объема внутреннего потребления свинины до 2025 г. [1, 2]. Свиньи восприимчивы к широкому спектру заболеваний, которые влияют на продуктивность и доход производителя. Распространение болезней свиней в РФ оказало значительное негативное влияние на производство свинины в стране в последние 10 лет (с 2013 г.), когда, по официальным данным Всемирной организации здравоохранения животных (ВОЗЖ), только вследствие АЧС ежегодно уничтожали (214 985 ± 165 558) гол. домашних свиней с пиком в 2020 г., когда было уничтожено 615 239 гол. Эффективно сдерживать эпизоотию все эти годы удавалось благодаря слаженной работе как государственной ветеринарной службы с администрациями регионов, так и ветеринарной производственной службы с управленческим звеном вкуче со всеми подразделениями свинокомплекса. Необходимо учитывать, что любая система биозащиты не имеет всеобъемлющих шаблонных решений и разрабатывается с учетом особенностей предприятия, системы выращивания животных, климатических условий, эпизоотологического профиля региона, сырьевой и кормовой базы. Однако в любом случае система биозащиты имеет два направления: внешнюю – направлена на предотвращение заноса патогенов в стадо и внутреннюю – на недопущение распространения болезни внутри стада или производственной системы в потоке производства. Изучение эпизоотологии болезней свиней в условиях промышленного свиноводства и их приоритизация позволяют разрабатывать адекватные меры биозащиты для свиноводческого сектора [3, 4].

В этой связи описание и оценка сценариев эволюции биозащиты предприятий остается актуальной задачей в рамках обсуждения вопросов организации и путей развития мер биозащиты свиноводческих предприятий и систем в РФ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали официальные сведения о применяемых в стране мерах по болезням свиней, данные научной литературы, информацию из открытых официальных источников, профильных круглых столов и средств массовой информации. Оценку и обсуждение мер проводили с использованием элементов анализа риска и экспертной оценки с достижением консенсуса [5]. Обсуждение путей развития мер биозащиты свиноводческих предприятий/систем в РФ, способных повлиять на защищенность популяции, вели по четырем целевым направлениям, связанным с путями заноса и распространения инфекций.

1. Изолированность популяции от внешних источников угроз (устранение вероятных сценариев воздействия из внешней среды).

2. Изолированность популяции от внутренних источников угроз (устранение вероятных сценариев воздействия в потоке производства).

3. Изолированность популяции или системы свиноводства от воздействия человеческого фактора (устранение вероятных сценариев воздействия на популяцию человеческого фактора).

4. Изолированность популяции от условий, при которых проявлен потенциал угроз (изменение условий).

Результаты анализа представили графически в виде принципиальной схемы «Источники угроз для систем биозащиты и меры, направленные на эти источники для формирования защищенной популяции в промышленном свиноводстве» (рис.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известные пути передачи для множества патогенов свиней можно свести к нескольким сценариям, поэтому для большинства заболеваний возможно предусмотреть и набор стандартных потенциально

эффективных мер, направленных на разрыв эпизоотической цепи. Но единой универсальной программы биозащиты для предприятий не существует. Эффективная система создается при участии ветеринарного и других специалистов, обладающих полной информацией о предприятии, процессах, сотрудниках и факторах риска. План биозащиты является индивидуальным для каждого свинокомплекса с установлением приоритетности и последовательности мер, основанных на их потенциальной эффективности и обоснованных схемой потока [4, 6]. Выработка точечных технологических решений всегда требует также и количественных данных о вкладе и относительной значимости каждого пути или элемента при реализации сценария передачи инфекции. Фактическая эффективность реализации применяемых мер биозащиты подвержена влиянию экономических, социологических и даже психологических аспектов, гармонизации их с государственной официальной политикой надзора за болезнью [7], что можно учитывать либо в числе негативных факторов, либо использовать при создании политик коррекции мер по биозащите на предприятиях.

Усиление систем биозащиты предприятий направлено на:

1. Изолированность популяции от внешних источников угроз. С момента одомашнивания свиньи (около 10 000 лет назад) [8] изоляция поголовья от агрессивных факторов внешней среды исторически явилась первой эффективной мерой, примененной человеком в свиноводстве.

За эволюционно короткий промежуток времени развитие технических средств и способов изоляции свиноголовья от внешней среды и появление все более и более современных технологий в свиноводстве (в области генетики и искусственного осеменения, кормопроизводства, фармакологии и вакцинологии) позволили выработать стратегии промышленного свиноводства и концентрировать к 2020 г. на территориях мегаферм до 84 000 свиноматок с производством свыше 2 млн гол. свиней в год (в Китайской Народной Республике). Промышленное свиноводство спровоцировало изменения свойств восприимчивой популяции (генетическая однородность поголовья, иммунная однородность), повлияло на картину преобладающих механизмов передачи возбудителей (возросло количество прямых и косвенных контактов, появились ятрогенные риски, риски распространения патогенов посредством искусственного осеменения, кормовые риски и др.), создало возможность ускоренной эволюции возбудителей в потоке производства и в большой популяции (реассортация, в том числе с вакцинными штаммами; ассоциированные инфекции; устойчивость к антибиотикам; изменение эпизоотологии многих заразных и незаразных болезней и др.).

Эволюция компонентов эпизоотической триады привела к тому, что применение традиционных подходов по сегрегации поголовья на фоне глобализации рисков распространения патогенов в системах промышленного свиноводства оказалось неэффективным и обусловило разработку новых инструментов: биозащиты и компартиментализации (действенных по отношению и к новым возбудителям, и к возбудителям, изменившим свои эпизоотологические характеристики) [9].

Примером новых для промышленного свиноводства инфекций являются распространившиеся в мире ре-

продуктивно-респираторный синдром свиней (PPCC), АЧС, вызванная вирусом II генотипа, эпидемическая диарея свиней (ЭДС) и грипп, а возвращающихся инфекций – классическая чума свиней (КЧС) и ящур. Изолированность популяции от внешней среды в системах свиноводства показывает свою недостаточность в отношении возбудителей данных инфекций, и в первую очередь это касается высококонтагиозных патогенов (возбудители PPCC, ящура, гриппа, КЧС, АЧС, микоплазмоза), для которых наряду с прямым реализуется и не-прямой путь передачи [10, 11, 12, 13, 14, 15].

В этой связи способы изоляции поголовья выходят на новый уровень. Например, учитывая вероятную аэрогенную передачу вируса PPCC, большое внимание в системах свиноводства закрытого типа уделяется возможности защиты поголовья с применением воздушных фильтров и других технологий фильтрации воздуха [16]. В отдельных работах показано, что внедрение системы фильтрации воздуха на свиноводческих предприятиях вело к 80%-му снижению риска заноса вируса PPCC в производственные системы [17, 18].

Стоит отметить, что вопрос безопасной перевозки животных в изолированных транспортных средствах с позиции трансграничного распространения болезней также затрагивается в главах 5.4, 5.5, 5.7 и 7.3 Кодекса здоровья наземных животных ВОЗЖ [19], что свидетельствует о необходимости учета вероятности заражения и распространения патогенов при транспортировке. Поэтому на предприятиях и при транспортировке рекомендуется принимать во внимание метеорологические факторы риска, связанные с присутствием каждого из патогенов в воздухе, а также способность механических и антимикробных фильтров защищать восприимчивые популяции от возбудителя PPCC и других патогенов, для которых доказано аэрозольное распространение (микоплазма, грипп свиней, КЧС).

Компартиментализация (наряду с зонированием) на сегодня также рассматривается как мера, достаточная для формирования популяции, свободной от большинства трансграничных болезней, в том числе и для относительно новой для мирового свиноводства проблемы – панзоотии АЧС, вызванной вирусом II генотипа [9]. При этом роль фомитов, транспорта и животных (включая крыс, птиц и насекомых), вступающих в контакт с популяцией свиней, считается важной в «домашнем цикле». Следовательно, меры по отсечению вероятных сценариев воздействия из внешней среды через транспорт, фомиты, механических переносчиков и др. должны периодически пересматриваться. Основной акцент при этом смещается на обсуждение надежности контроля санитарных мер по сегрегации популяции от внешней среды и возможности применения автоматизации в системах биозащиты предприятий (например, онлайн-контроль трассировки производственного транспорта между компартаментами, целостности периметра предприятия, защиты от проникновения, активности и защиты от механических переносчиков; контроль качества чистки, мойки и дезинфекции технических помещений и транспорта с применением автоматизированных средств детекции остаточных загрязнений и др.). Только автоматизация контроля позволит в режиме онлайн повысить эффективность работы системы биозащиты и мер по изоляции.

Автоматизация и цифровизация систем эффективной фильтрации воздуха, поддержания микроклимата и контроля этих процессов в помещениях, при ввозе на предприятие и перемещении животных между отделами компартамента по дорогам общего пользования через сельские территории также являются наиболее современными мерами изоляции, способствующими устранению пробелов в управлении риском при инфекциях, способных распространяться аэрозольно (в первую очередь РРСС и микоплазмоз).

Оценка мер контроля сегрегации в системах биоазащиты и накапливаемый предприятиями в этом вопросе опыт вызывает научный интерес с целью выработки основ рекомендаций для внедрения на практике.

2. Изолированность популяции от внутренних источников угроз. Устранение вероятности воздействия таких угроз на свиней в потоке производства осуществляется путем контроля полноты, качества и совместимости процедур и операций, применяемых в производственной (технологической) цепи (в потоке). Сюда входит в том числе и внутренний карантин при перемещении взрослых животных между группами, и система «пусто – занято», санитария и режим объекта и др., однако отдельно выделим три самостоятельных направления.

Чистка, мойка, дезинфекция. Основу управления рисками заноса патогенов и распространения их по производственной цепочке в стадах составляют как общие меры по обеспечению биоазащиты предприятий, так и целевые способы контроля эффективности принимаемых мер. Управление гигиеной при этом приобретает все большее значение как самостоятельный инструмент биоазащиты. Существенное снижение инфекционной активности большинства вирусных и бак-

териальных патогенов свиней может быть достигнуто уже на этапе очистки, когда удаляется до 90% микроорганизмов, что значительно повышает эффективность дальнейшей дезинфекции [20] и влияет на устранение вероятных сценариев воздействия в потоке производства, отсекая вероятность не прямых контактов. Следовательно, триада «чистка – мойка – дезинфекция» в тех процессах, где она используется (обработка транспорта, обуви, оборудования, помещений и др.), должна быть единой мерой (трехступенчатый процесс, включающий последовательно чистку, мойку и дезинфекцию), и каждая операция подлежит контролю.

Мониторинг патогенов в потоке производства. Факторным патогенам свиней свойственна циркуляция в стадах с клиническими случаями болезней, проявляющихся манифестно только в обособленных половозрастных группах животных (парво- и ротавирусная инфекция свиней, актинобациллезная плевропневмония, стрептококкоз, сальмонеллез, пастереллез, эшерихиоз, лептоспироз), поэтому контроль мер в отношении таких инфекций может быть направлен на изолирование субпопуляций животных в потоке производства на период времени, достаточный для формирования иммунитета (резистентности) [21, 22], следовательно, мониторинг потока производства для разных групп свиней необходим и должен быть частью плана биоазащиты. Помимо этого, в потоке производства на всех критичных для передачи патогена точках, например для возбудителя РРСС (ремонтное поголовье, генетический материал, перевод животных из одной группы в другую, контроль работы систем «пусто – занято»), целесообразно использовать мониторинг, основанный на серологических тестах с обязательным использованием полимеразной цепной реакции с последующим



Рис. Принципиальная схема «Источники угроз для систем биоазащиты и меры, направленные на эти источники для формирования защищенной популяции в промышленном свиноводстве»

Fig. Schematic diagram "Sources of threats to biosecurity systems and measures against these sources for protected population creation in pig industry"

секвенированием детектируемых изолятов, позволяющий точно определять статус субпопуляций и потенциальные сценарии распространения патогена в системе. Это даст возможность обеспечить изолированность субпопуляций в потоке производства.

Санитария кормов. Третьей ключевой точкой в программах биозащиты предприятий по снижению вероятностей сценариев воздействия угроз в потоке производства является санитария кормов для свиней [23, 24, 25, 26]. Несмотря на то что корма могут производиться в режимах, обеспечивающих гибель патогенов, при хранении, транспортировке или в процессе кормления часто происходит их перекрестное обсеменение. В отдельных исследованиях было доказано длительное сохранение при трансатлантических перевозках в кормах инфекционных вирусов ящура, АЧС, везикулярной болезни свиней, болезни Ауески (БА), РРСС, везикулярной экзантемы свиней, в то время как для вирусов КЧС, Нипах и гриппа свиней столь длительной жизнеспособности установлено не было [27].

Основные обсуждаемые на сегодня в мире меры по санитарии кормов ограничены следующим: 1) мониторинг кормов, поступающих непосредственно свиньям, на наличие патогенов; 2) выдерживание компонентов животного происхождения для снижения титра вируса; 3) мониторинг условий хранения кормов и кормовых добавок; 4) применение добавок для обеззараживания кормов и воды (на основе формальдегида, жирных кислот, эфирных масел и органических кислот) от бактерий и вирусов (включая возбудителей АЧС, ЭДС), а также применение адсорбентов микотоксинов [23, 26].

Поэтому санитария кормов должна включать в себя в том числе контроль надежности поставщика, контроль качества сырья и меры по снижению таких рисков, как: а) присутствие патогенов в сырье; б) присутствие инфекционных агентов в готовых кормах и готовых риск-сопряженных компонентах (животного происхождения); в) повторная контаминация готовых кормов в процессе производства, транспортировки и хранения [24].

3. Изолированность популяции от воздействия человеческого фактора. В мире не существует промышленных стад свиней, на 100% изолированных от человеческого фактора, связанного с техническим обслуживанием производства, начиная от инженерных вопросов и заканчивая контролем технологических процессов, в том числе ветеринарных и зоотехнических. Нужно отметить, что человеческий фактор является одним из самых трудноконтролируемых, но в то же время одним из ключевых в эффективной профилактики заноса и распространения инфекций.

Автоматизация и цифровизация в свиноводстве. Стратегия снижения воздействия человеческого фактора является наиболее наукоемкой и быстро растущей областью развивающегося менеджмента систем биозащиты. С приходом новых информационных технологий и технических возможностей данное направление получило развитие в виде целого отдельного сегмента, названного «точное животноводство» (precision farming), что широко обсуждается в научно-прикладном аспекте в сообществе практикующих свиноводов как перспектива будущего производства [28, 29, 30, 31, 32, 33]. Приоритетной задачей науки на сегодня является восполнение несовершенств новых технических решений, возникающих ввиду сложности валидации технологий

оценки аффективных состояний у свиней (как положительных, так и отрицательных), оцениваемых в системах управления процессами с помощью данных, получаемых с регистрирующих датчиков (тензодатчики, тепловизоры, микрофоны, фотометры, инфракрасные, радиочастотные датчики), а также снижение стоимости этих технологий [34, 35].

Автоматизация и исключение влияния человеческого фактора на такие процессы, как перемещение животных, контроль пересечения грязных и чистых зон, оценка эффективности чистки, мойки и дезинфекции, контроль микроклимата, взвешивание животных, раздача кормов, наблюдение за клиническим состоянием животных (температура тела, поведение, потребление корма и воды) – это, несомненно, единственный на сегодня качественный шаг в будущее для развития систем биозащиты предприятий.

Наиболее сильное положительное влияние на производство оказывают технологические инновации. Территории РФ, где уровень технологических инноваций наиболее высок, занимают лидирующие позиции по индексу производства сельскохозяйственной продукции [36]. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации к 2030 г. планирует внедрить цифровые технологии в сельское хозяйство страны, разработать платформу для продвижения отечественной сельхозпродукции, а также запустить системы моделирования и прогнозирования («Цифровое сельское хозяйство»). Очевидно, что прорыв в этом направлении будет возможен при наличии технологии прогнозирования, позволяющей строить предиктивные модели вероятности заболеваний животных.

Иными словами, по мере накопления данных станет возможным создание базы для прогностических моделей в существующих системах свиноводства, позволяющих моделировать принятие отдельных управленческих решений и прогнозировать вероятный отклик всех связанных оцениваемых показателей системы на эти решения, снижая тем самым управленческие ошибки на этапе их разработки.

Экспертным сообществом отмечается, что основными потребителями новых технологий в российском свиноводстве является ограниченный круг из топ-50 производителей свиней. Это связано с такими факторами, препятствующими доступности широкой автоматизации и цифровизации свиноводческих хозяйств, как нехватка средств и неподготовленность кадров. Малые фермы остаются на технологическом уровне прошлого века. В российских свиноводческих хозяйствах большая доля ручного труда приходится на выполнение ветеринарных манипуляций. Автоматизация подсчета животных и удаленной диагностики здоровья мало востребована, так как требует значительного переоборудования цехов и финансовых вложений. Большинство же технологических процессов свиноводства в настоящий момент механизированы, и актуальной является задача их автоматизации. Полная автоматизация производства на умной ферме теоретически и практически возможна, но пока еще экономически невыгодна [36, 37, 38].

Основной вызов на сегодня для отечественных разработчиков, по нашему мнению, – это интеграция в единую систему управления в режиме онлайн систем разных производителей, внедренных под различные задачи (управление микроклиматом,

контроль кормов, сроки охоты, оборот поголовья, инвентаризация и др.), разработка и интеграция автоматизированных систем ветеринарных манипуляций. Создание и их цифровизация проводится с экспертным консультативным участием представителей ветеринарной науки, так как это априори повлияет на совокупную биозащиту предприятий и позволит осуществлять контроль заразных болезней свиней в условиях свинокомплексов [36, 37, 38].

Повышение квалификации персонала. Теоретически эффективность устранения влияния человеческого фактора зависит от степени погруженности (осведомленности) человека в профессиональные проблемы и осознанности исполнения операций по управлению риском на местах.

Непрерывное обучение и повышение квалификации персонала, задействованного в технологических процессах, которые связаны с рисками, обусловленными человеческим фактором, влияющим на осознанное применение мер по биозащите, – эффективное решение, в том числе и как мера, дополняющая автоматизацию и цифровизацию процессов в свиноводстве. Обученный персонал, за которым сохраняется функция контроля каждой автоматизированной процедуры, – это основа внедрения автоматизации и информатизации в свиноводстве.

Повышение компетенций персонала по всей цепочке является ключевым не только для устранения барьеров на пути цифровизации, но и для снижения влияния «рекламного подхода» при выборе мер и средств профилактики болезней, когда неэффективность препаратов списывается и маскируется консультантами-продавцами аргументами о несовершенстве применяемых средств профилактики и требованиями внедрения априори невыполнимых на уровне отдельного комплекса программ искоренения болезни (отказа от вакцинации и др.).

4. Изолированность популяции от условий, при которых проявлен потенциал угроз (изменение условий). Практически на сегодня применяется использование вакцин, перезаражение животных в потоке (акклиматизация), устранение кормовых, тепловых, шумовых и поведенческих стрессов, выведение пород, устойчивых к возбудителям и стресс-факторам, изменение конструктивных особенностей / физико-химических свойств контактирующих со свиньями поверхностей и материалов (полы, станки, стены, подстилка, поилки, кормушки, кормопроводы), исключение размножение и накопление патогенных микроорганизмов [39].

Снижение/устранение стресса. Влияние типа кормления, микроклимата в разных половозрастных группах, обсемененность помещений связывают с развитием различных уровней стресса, морфологическими и биохимическими изменениями в крови, изменением общей резистентности к стрессам и возбудителям болезней и продуктивности животных, а контроль этих показателей тождественен контролю условий проявления неблагоприятного сценария [40, 41, 42, 43]. Появление новых материалов и внедрение их в производство является продуктом междисциплинарного подхода. Контроль и управление условиями содержания и общей резистентностью позволяют снижать стресс и нивелировать воздействие патогена, однако являются высокотехнологичными, наукоемкими и, как правило,

междисциплинарными для промышленного свиноводства направлениями.

Создание иммунитета. Для вакцинопрофилактики необходимо выбирать зарегистрированный и разрешенный к применению препарат исходя из генетических характеристик циркулирующего в данной местности возбудителя. Информация о генотипах штаммов вируса РРСС и распространении инфекции в стаде, например, поможет своевременно выбрать наиболее подходящую стратегию контроля заболевания в отдельном субъекте РФ или производственной системе [44, 45]. Применение вакцины против КЧС и БА остается одной из наиболее действенных мер сдерживания заболеваний и соответствует современному состоянию свиноводства РФ в плане биозащиты и мер биобезопасности. Оздоровление с отказом от вакцинации без общефедеральной программы и вовлечения всех регионов и всех хозяйствующих субъектов страны, исходя из опыта других стран мира, представляется малоэффективным и, как минимум, не будет поддерживаться регионализацией территории РФ (как наиболее действенным на сегодня инструментом карантинной политики в ветеринарии РФ).

Генно-модифицированные свиньи. Наиболее эффективная из всех мер, кардинально изменяющая условия в системе свиноводства, – это редактирование генов, которое может быть использовано для создания и обеспечения устойчивости к болезням животных. Технология редактирования генов ввиду успешных опытов в здравоохранении (ВИЧ, серповидноклеточная анемия и различные виды рака) рассматривается как имеющая огромный потенциал в лечении и профилактике заболеваний у животных. Теоретически это создание генетически модифицированных свиней, не восприимчивых к АЧС или РРСС [46, 47]. При любом успешном генетическом улучшении потребуется лишь некоторое время, чтобы размножить достаточное количество генетически устойчивой к вирусу популяции свиней-прародителей для удовлетворения глобального спроса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биозащита производственных систем свиноводства на сегодня является важным объектом внимания для науки и практики. Адекватность оценки и мониторинга внешних угроз является приоритетной задачей для обеспечения эффективной биозащиты свиноводческих систем. Система эпиднадзора как основа всех проводимых противоэпизоотических мероприятий и внедряемых мер должна обеспечить отрасль свиноводства и системы биозащиты предприятий в первую очередь точными, измеримыми и интерпретируемыми данными о состоянии популяции и присутствующих внешних угрозах.

Важным пробелом большинства технологических решений является зависимость от зарубежных поставок программного обеспечения для оборудования, несмотря на присутствие российских разработчиков на рынке.

На фоне отсутствия типовых технологий для свиноводства и в попытках интегрировать оборудование и программное обеспечение разных стран в единый проект устранение «рекламного подхода» (необоснованного переноса ряда цифровых технологий из скотоводства в свиноводство) также является задачей отечественных разработчиков оборудования и программного обеспечения (систем).

Повышение компетенций персонала по всей цепочке является ключевым не только для устранения барьеров на пути цифровизации, но и для снижения влияния «рекламного подхода» при выборе мер и средств профилактики болезней, когда неэффективность навязанных препаратов списывается и маскируется консультантами-продавцами аргументами о несовершенстве применяемых средств профилактики и требованиями внедрения априори невыполнимых на уровне отдельного комплекса программ искоренения болезни, отказа от вакцинации и др.

Автоматизация и цифровизация процессов в свиноводстве, создание и внедрение в производство генетически модифицированных свиней, не восприимчивых к наиболее значимым патогенам (вирусам АЧС, КЧС, РПС), дальнейшие исследования и внедрение комплексных технологических решений по санитарии кормов представляются на сегодня эволюционно значимыми путями, которые позволят и дальше интенсифицировать свиноводство и будут способствовать развитию систем мониторинга производственных данных, систем контроля болезней свиней и снизят влияние ошибок ручного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плаксин И. Е., Плаксин С. И., Трифанов А. В. Тенденции и перспективы развития свиноводства в России. *АгроЭкоИнженерия*. 2022; (1): 155–168. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-155-168>
2. Белая А. Вирусы продолжают подвешивать маржу. Мясная отрасль терпит убытки из-за ухудшения эпизоотической ситуации. *Агроинвестор*. 2022; (2). <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/37496-virusy-prodolzhayut-podedat-marzhu-myasnaya-otrasl-terpit-ubytki-iz-za-ukhudsheniya-epizooticheskoy>
3. Good practices for biosecurity in the pig sector – Issues and options in developing and transition countries. FAO Animal Production and Health. No. 169. Rome: FAO; 2010. 79 p. <https://www.fao.org/4/i1435e/i1435e00.pdf>
4. Куликов С. П. Внешняя и внутренняя биобезопасность современного свиного комплекса. *Свиноводство*. 2021; (4): 45–47. <https://elibrary.ru/lewheg>
5. Оганесян А. С., Гуленкин В. М., Караулов А. К. Методические указания по идентификации, оценке и управлению рисками при импортно-экспортных мероприятиях с животными и продукцией животного происхождения. Владимир: ФГБУ «ВНИИЗЖ»; 2013. 119 с.
6. Титов М. А., Караулов А. К., Шевцов А. А., Бардина Н. С., Гуленкин В. М., Дудников С. А. Методические рекомендации по оценке безопасности на свиноводческих предприятиях в Российской Федерации. Владимир: ФГУ «ВНИИЗЖ»; 2010. 53 с.
7. Alarcón L. V., Allepuz A., Mateu E. Biosecurity in pig farms: a review. *Porcine Health Management*. 2021; 7:5. <https://doi.org/10.1186/s40813-020-00181-z>
8. Ottoni C., Flink L. G., Evin A., Geörg C., De Cupere B., Van Neer W., et al. Pig domestication and human-mediated dispersal in western Eurasia revealed through ancient DNA and geometric morphometrics. *Molecular Biology and Evolution*. 2013; 30 (4): 824–832. <https://doi.org/10.1093/molbev/mss261>
9. Pfeiffer D. U., Ho H. P. J., Bremang A., Kim Y., OIE team. Compartmentalisation Guidelines – African Swine Fever. Paris: World Organisation for Animal Health; 2021. 148 p. <https://www.woah.org/app/uploads/2021/10/asf-biosecuritychecklist-compartmentalisation-en.pdf>
10. Blome S., Staubach C., Henke J., Carlson J., Beer M. Classical Swine Fever – An Updated Review. *Viruses*. 2017; 9 (4):86. <https://doi.org/10.3390/v9040086>
11. Havas K. A., Makau D. N., Shapovalov S., Tolkova E., VanderWaal K., Tkachyk T., et al. A molecular and epidemiological description of a severe porcine reproductive and respiratory syndrome outbreak in a commercial swine production system in Russia. *Viruses*. 2022; 14 (2):375. <https://doi.org/10.3390/v14020375>
12. Dixon L. K., Stahl K., Jori F., Vial L., Pfeiffer D. U. African swine fever epidemiology and control. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2020; 8: 221–246. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083741>
13. Brown E., Nelson N., Gubbins S., Colenutt C. Airborne transmission of foot-and-mouth disease virus: a review of past and present perspectives. *Viruses*. 2022; 14 (5):1009. <https://doi.org/10.3390/v14051009>
14. Оганесян А. С., Баскакова Н. Е., Шибяев М. А., Щербинин С. В., Саввин А. В., Шевцов А. А., Караулов А. К. Выявление пробелов, создающих предпосылки к заносу трансграничных болезней с багажом пассажиров. *Труды Федерального центра охраны здоровья животных*. 2020; 17: 115–142. <https://elibrary.ru/invxyc>
15. Desrosiers R. Transmission of swine pathogens: different means, different needs. *Animal Health Research Reviews*. 2011; 12 (1): 1–13. <https://doi.org/10.1017/s1466252310000204>
16. Dee S., Otake S., Deen J. Use of a production region model to assess the efficacy of various air filtration systems for preventing airborne transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and *Mycoplasma hyopneumoniae*: results from a 2-year study. *Virus Research*. 2010; 154 (1–2): 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.07.022>
17. Alonso C., Murtaugh M. P., Dee S. A., Davies P. R. Epidemiological study of air filtration systems for preventing PRRSV infection in large sow herds. *Preventive Veterinary Medicine*. 2013; 112 (1–2): 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.06.001>
18. Dee S., Cano J. P., Spronk G., Reicks D., Ruen P., Pitkin A., Polson D. Evaluation of the long-term effect of air filtration on the occurrence of new PRRSV infections in large breeding herds in swine-dense regions. *Viruses*. 2012; 4 (5): 654–662. <https://doi.org/10.3390/v4050654>
19. WOA. Terrestrial Animal Health Code. <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access>
20. Scollo A., Perrucci A., Stella M. C., Ferrari P., Robino P., Nebbia P. Biosecurity and hygiene procedures in pig farms: effects of a tailor-made approach as monitored by environmental samples. *Animals*. 2023; 13 (7):1262. <https://doi.org/10.3390/ani13071262>
21. Шахов А. Г., Ануфриев А., Ануфриев П. Факторные инфекции свиней. *Животноводство России*. 2005; (специвыпуск): 24–27. <https://elibrary.ru/zjuuyr>
22. Прудников С. И. Факторные инфекционные болезни свиней и их профилактика. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2007; (6): 74–80. <https://elibrary.ru/hfbgmi>
23. Niederwerder M. C., Dee S., Diel D. G., Stoian A. M. M., Constance L. A., Olcha M., et al. Mitigating the risk of African swine fever virus in feed with anti-viral chemical additives. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2021; 68 (2): 477–486. <https://doi.org/10.1111/tbed.13699>
24. Shurson G. C., Urriola P. E., Schroeder D. C. Biosecurity and mitigation strategies to control swine viruses in feed ingredients and complete feeds. *Animals*. 2023; 13 (14):2375. <https://doi.org/10.3390/ani13142375>
25. Shurson G. C., Palowski A., van de Ligt J. L. G., Schroeder D. C., Ballestreri C., Urriola P. E., Sampedro F. New perspectives for evaluating relative risks of African swine fever virus contamination in global feed ingredient supply chains. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2022; 69 (1): 31–56. <https://doi.org/10.1111/tbed.14174>
26. Niederwerder M. C. Risk and mitigation of African swine fever virus in feed. *Animals*. 2021; 11 (3):792. <https://doi.org/10.3390/ani11030792>
27. Dee S. A., Bauermann F. V., Niederwerder M. C., Singrey A., Clement T., de Lima M., et al. Survival of viral pathogens in animal feed ingredients under transboundary shipping models. *PLoS ONE*. 2018; 13 (3):e0194509. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194509>
28. Aquilani C., Confessore A., Bozzi R., Sirtori F., Pugliese C. Review: Precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal*. 2022; 16 (1):100429. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>
29. Zhang M., Wang X., Feng H., Huang Q., Xiao X., Zhang X. Wearable internet of things enabled precision livestock farming in smart farms: A review of technical solutions for precise perception, biocompatibility, and sustainability monitoring. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 312:127712. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127712>
30. Arulmozhi E., Bhujel A., Moon B. E., Kim H. T. The application of cameras in precision pig farming: An overview for swine-keeping professionals. *Animals*. 2021; 11 (8):2343. <https://doi.org/10.3390/ani11082343>
31. Benjamin M., Yik S. Precision livestock farming in swine welfare: A review for swine practitioners. *Animals*. 2019; 9 (4):133. <https://doi.org/10.3390/ani9040133>
32. Garrido L. F. C., Sato S. T. M., Costa L. B., Daros R. R. Can we reliably detect respiratory diseases through precision farming? A systematic review. *Animals*. 2023; 13 (7):1273. <https://doi.org/10.3390/ani13071273>
33. Gu M., Hou B., Zhou J., Cao K., Chen X., Duan C. An industrial Internet platform for massive pig farming (IIP4MPF). *Journal of Computer and Communications*. 2020; 8 (12): 181–196. <https://doi.org/10.4236/jcc.2020.812017>
34. Gómez Y., Stygar A. H., Boumans I. J. M. M., Bokkers E. A. M., Pedersen L. J., Niemi J. K., et al. A systematic review on validated precision livestock farming technologies for pig production and its potential to assess animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8:660565. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.660565>
35. Krugmann K. L., Mieloch F. J., Krieter J., Czzycholl I. Investigation of influence of growing pigs' positive affective state on behavioral and physio-

logical parameters using structural equation modeling. *Journal of Animal Science*. 2020; 98 (2):skaa028. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa028>

36. Добровлянин В. Д., Антинескул Е. А. Цифровизация сельского хозяйства: текущий уровень цифровизации в Российской Федерации и перспективы дальнейшего развития. *Цифровые модели и решения*. 2022; 1 (2):5. <https://doi.org/10.29141/2782-4934-2022-1-2-5>

37. Койнова А. Автоматизация и цифровизация – ключ к эволюции в свиноводстве. *Эффективное животноводство*. 2020; (8): 66–72. <https://elibrary.ru/rzrfwz>

38. Смирнова В. В. Цифровые технологии в свиноводстве России. *Аграрный вестник Урала*. 2022; (8): 91–100. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-223-08-91-100>

39. Zhao X., Qi F., Li H., Shi Z. Improving adsorption effect of modified carbon felt on microorganisms in pig houses. *Heliyon*. 2022; 8 (12):e12418. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12418>

40. Hong S.-W., Park J., Jeong H., Kim M. Evaluation of the microbiome composition in particulate matter inside and outside of pig houses. *Journal of Animal Science and Technology*. 2021; 63 (3): 640–650. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e52>

41. Cui H., Zhang C., Liu J., Dong S., Zhao K., Chen L., et al. The distribution characteristics of aerosol bacteria in different types of pig houses. *Animals*. 2022; 12 (12):1540. <https://doi.org/10.3390/ani12121540>

42. Lou C., Bai Y., Chai T., Yu H., Lin T., Hu G., et al. Research progress on distribution and exposure risk of microbial aerosols in animal houses. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9:1015238. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1015238>

43. Герунов Т. В., Герунова Л. К., Плешакова В. И., Конев А. В. Опортунистические инфекции у животных: причины распространения и меры профилактики. *Вестник КрасГАУ*. 2022; (10): 152–160. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-152-160>

44. 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 Северо-Востока*. 2022; 23 (5): 600–610. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.600-610>

45. Алипер Т. И., Алексеев К. П., Шемельков Е. В., Верховский О. А., Забережный А. Д. Перспектива использования маркированных вакцин против классической чумы свиней в Российской Федерации. *Научные основы производства и обеспечения качества биологических препаратов: материалы Международной практической конференции, посвященной 100-летию Армавирской биофабрики (Армавир, 20–21 августа 2021 г.)*. Армавир: ВНИТИБП; 2021; 54–60. <https://elibrary.ru/urpxsq>

46. Hung S. W., Chuang C. K., Wong C. H., Yen C. H., Peng S. H., Yang C., et al. Activated macrophages of CD 163 gene edited pigs generated by direct cytoplasmic microinjection with CRISPR gRNA/Cas9 mRNA are resistant to PRRS virus assault. *Animal Biotechnology*. 2023; 34 (9): 4196–4209. <https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2062602>

47. Lillico S. G., Proudfoot C., King T. J., Tan W., Zhang L., Mardjuki R., et al. Mammalian interspecies substitution of immune modulatory alleles by genome editing. *Scientific Reports*. 2016; 6:21645. <https://doi.org/10.1038/srep21645>

REFERENCES

1. Plaksin I. E., Plaksin S. I., Trifanov A. V. Trends and prospects of pig breeding development in Russia. *AgroEcoEngineering*. 2022; (1): 155–168. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-155-168> (in Russ.)

2. Belaya A. Virusy prodolzhayut pod'edat' marzhu. Myasnaya otrasl' terpit ubytki iz-za ukhudsheniya epizooticheskoi situatsii = Viruses continue to eat up margins. The meat industry is suffering losses due to the animal disease situation deterioration. *Agroinvestor*. 2022; (2). <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/37496-virusy-prodolzhayut-podedat-marzhu-myasnaya-otrasl-terpit-ubytki-iz-za-ukhudsheniya-epizooticheskoy> (in Russ.)

3. Good practices for biosecurity in the pig sector – Issues and options in developing and transition countries. *FAO Animal Production and Health*. No. 169. Rome: FAO; 2010. 79 p. <https://www.fao.org/4/i1435e/i1435e00.pdf>

4. Kulikov S. P. Internal and external biosecurity in a modern pig farm. *Pigbreeding*. 2021; (4): 45–47. <https://elibrary.ru/lewheg> (in Russ.)

5. Oganessian A. S., Gulenkin V. M., Karaulov A. K. Methodical guidelines for risk identification, assessment and management during live animal and animal product export and import. Vladimir: Federal Centre for Animal Health; 2013. 119 p. (in Russ.)

6. Titov M. A., Karaulov A. K., Shevtsov A. A., Bardina N. S., Gulenkin V. M., Dudnikov S. A. Methodical guidelines for assessment of the biosecurity in pig holdings in the Russian Federation. Vladimir: Federal Centre for Animal Health; 2010. 53 p. (in Russ.)

7. Alarcón L. V., Allepez A., Mateu E. Biosecurity in pig farms: a review. *Porcine Health Management*. 2021; 7:5. <https://doi.org/10.1186/s40813-020-00181-z>

8. Ottoni C., Flink L. G., Evin A., Geörg C., De Cupere B., Van Neer W., et al. Pig domestication and human-mediated dispersal in western Eurasia revealed through ancient DNA and geometric morphometrics. *Molecular Biology and Evolution*. 2013; 30 (4): 824–832. <https://doi.org/10.1093/molbev/mss261>

9. Pfeiffer D. U., Ho H. P. J., Bremang A., Kim Y., OIE team. Compartmentalisation Guidelines – African Swine Fever. Paris: World Organisation for Animal Health; 2021. 148 p. <https://www.woah.org/app/uploads/2021/10/asf-biosecuritychecklist-compartmentalisation-en.pdf>

10. Blome S., Staubach C., Henke J., Carlson J., Beer M. Classical Swine Fever – An Updated Review. *Viruses*. 2017; 9 (4):86. <https://doi.org/10.3390/v9040086>

11. Havas K. A., Makau D. N., Shapovalov S., Tolkova E., VanderWaal K., Tkachyk T., et al. A molecular and epidemiological description of a severe porcine reproductive and respiratory syndrome outbreak in a commercial swine production system in Russia. *Viruses*. 2022; 14 (2):375. <https://doi.org/10.3390/v14020375>

12. Dixon L. K., Stahl K., Jori F., Vial L., Pfeiffer D. U. African swine fever epidemiology and control. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2020; 8: 221–246. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083741>

13. Brown E., Nelson N., Gubbins S., Colenutt C. Airborne transmission of foot-and-mouth disease virus: a review of past and present perspectives. *Viruses*. 2022; 14 (5):1009. <https://doi.org/10.3390/v14051009>

14. Oganessian A. S., Baskakova N. Ye., Shibayev M. A., Scherbinin S. V., Savvin A. V., Shevtsov A. A., Karaulov A. K. Detection of gaps laying the ground work for the introduction of transboundary diseases through passengers' luggage. *Proceedings of the Federal Centre for Animal Health*. 2020; 17: 115–142. <https://elibrary.ru/invxyc> (in Russ.)

15. Desrosiers R. Transmission of swine pathogens: different means, different needs. *Animal Health Research Reviews*. 2011; 12 (1): 1–13. <https://doi.org/10.1017/s1466252310000204>

16. Dee S., Otake S., Deen J. Use of a production region model to assess the efficacy of various air filtration systems for preventing airborne transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and *Mycoplasma hyopneumoniae*: results from a 2-year study. *Virus Research*. 2010; 154 (1–2): 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.07.022>

17. Alonso C., Murtaugh M. P., Dee S. A., Davies P. R. Epidemiological study of air filtration systems for preventing PRRSV infection in large sow herds. *Preventive Veterinary Medicine*. 2013; 112 (1–2): 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.06.001>

18. Dee S., Cano J. P., Spronk G., Reicks D., Ruen P., Pitkin A., Polson D. Evaluation of the long-term effect of air filtration on the occurrence of new PRRSV infections in large breeding herds in swine-dense regions. *Viruses*. 2012; 4 (5): 654–662. <https://doi.org/10.3390/v4050654>

19. WOAH. Terrestrial Animal Health Code. <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access>

20. Scollo A., Perrucci A., Stella M. C., Ferrari P., Robino P., Nebbia P. Biosecurity and hygiene procedures in pig farms: effects of a tailor-made approach as monitored by environmental samples. *Animals*. 2023; 13 (7):1262. <https://doi.org/10.3390/ani13071262>

21. Shakhov A. G., Anufriev A., Anufriev P. Faktornye infektsii svinei = Porcine factor infections. *Animal Husbandry of Russia*. 2005; (Suppl.): 24–27. <https://elibrary.ru/zjuuyr> (in Russ.)

22. Prudnikov S. I. Factor infectious diseases of pigs and preventive measures. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2007; (6): 74–80. <https://elibrary.ru/hfbgmi> (in Russ.)

23. Niederwerder M. C., Dee S., Diel D. G., Stoian A. M. M., Constance L. A., Olcha M., et al. Mitigating the risk of African swine fever virus in feed with anti-viral chemical additives. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2021; 68 (2): 477–486. <https://doi.org/10.1111/tbed.13699>

24. Shurson G. C., Urriola P. E., Schroeder D. C. Biosecurity and mitigation strategies to control swine viruses in feed ingredients and complete feeds. *Animals*. 2023; 13 (14):2375. <https://doi.org/10.3390/ani13142375>

25. Shurson G. C., Palowski A., van de Ligt J. L. G., Schroeder D. C., Ballestriero C., Urriola P. E., Sampedro F. New perspectives for evaluating relative risks of African swine fever virus contamination in global feed ingredient supply chains. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2022; 69 (1): 31–56. <https://doi.org/10.1111/tbed.14174>

26. Niederwerder M. C. Risk and mitigation of African swine fever virus in feed. *Animals*. 2021; 11 (3):792. <https://doi.org/10.3390/ani11030792>

27. Dee S. A., Bauermann F. V., Niederwerder M. C., Singrey A., Clement T., de Lima M., et al. Survival of viral pathogens in animal feed ingredients under transboundary shipping models. *PLoS ONE*. 2018; 13 (3):e0194509. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194509>

28. Aquilani C., Confessore A., Bozzi R., Sirtori F., Pugliese C. Review: Precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal*. 2022; 16 (1):100429. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>

29. Zhang M., Wang X., Feng H., Huang Q., Xiao X., Zhang X. Wearable internet of things enabled precision livestock farming in smart farms:

- A review of technical solutions for precise perception, biocompatibility, and sustainability monitoring. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 312:127712. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127712>
30. Arulmozhi E., Bhujel A., Moon B. E., Kim H. T. The application of cameras in precision pig farming: An overview for swine-keeping professionals. *Animals*. 2021; 11 (8):2343 <https://doi.org/10.3390/ani11082343>
31. Benjamin M., Yik S. Precision livestock farming in swine welfare: A review for swine practitioners. *Animals*. 2019; 9 (4):133. <https://doi.org/10.3390/ani9040133>
32. Garrido L. F. C., Sato S. T. M., Costa L. B., Daros R. R. Can we reliably detect respiratory diseases through precision farming? A systematic review. *Animals*. 2023; 13 (7):1273. <https://doi.org/10.3390/ani13071273>
33. Gu M., Hou B., Zhou J., Cao K., Chen X., Duan C. An industrial Internet platform for massive pig farming (IIP4MPF). *Journal of Computer and Communications*. 2020; 8 (12): 181–196. <https://doi.org/10.4236/jcc.2020.812017>
34. Gómez Y., Stygar A. H., Boumans I. J. M. M., Bokkers E. A. M., Pedersen L. J., Niemi J. K., et al. A systematic review on validated precision livestock farming technologies for pig production and its potential to assess animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8:660565. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.660565>
35. Krugmann K. L., Mieloch F. J., Krieter J., Czzycholl I. Investigation of influence of growing pigs' positive affective state on behavioral and physiological parameters using structural equation modeling. *Journal of Animal Science*. 2020; 98 (2):skaa028. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa028>
36. Dobrovlyanin V. D., Antineskul E. A. Digitalization is developing: the level of digitalization in Russia and the prospects for sustainable development. *Digital Models and Solutions*. 2022; 1 (2):5. <https://doi.org/10.29141/2782-4934-2022-1-2-5> (in Russ.)
37. Koinova A. Avtomatizatsiya i tsifrovizatsiya – klyuch k evolyutsii v svinovodstve = Automation and digitalization – key factors for pig farming evolution. *Effectivnoe zivotnovodstvo*. 2020; (8): 66–72. <https://www.elibrary.ru/rzpfwz> (in Russ.)
38. Smirnova V. V. Digital technologies in pig breeding in Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; (8): 91–100. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-223-08-91-100> (in Russ.)
39. Zhao X., Qi F., Li H., Shi Z. Improving adsorption effect of modified carbon felt on microorganisms in pig houses. *Heliyon*. 2022; 8 (12):e12418. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12418>
40. Hong S.-W., Park J., Jeong H., Kim M. Evaluation of the microbiome composition in particulate matter inside and outside of pig houses. *Journal of Animal Science and Technology*. 2021; 63 (3): 640–650. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e52>
41. Cui H., Zhang C., Liu J., Dong S., Zhao K., Chen L., et al. The distribution characteristics of aerosol bacteria in different types of pig houses. *Animals*. 2022; 12 (12):1540. <https://doi.org/10.3390/ani12121540>
42. Lou C., Bai Y., Chai T., Yu H., Lin T., Hu G., et al. Research progress on distribution and exposure risk of microbial aerosols in animal houses. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9:1015238. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1015238>
43. Gerunov T. V., Gerunova L. K., Pleshakova V. I., Konev A. V. Opportunistic infections in animals: spread causes and preventive measures. *Bulletin of KSAU*. 2022; (10): 152–160. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-152-160> (in Russ.)
44. 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.)
45. Aliper T. I., Alekseev K. P., Shemelkov E. V., Verkhovskiy O. A., Zaberezhny A. D. The prospect of using marked vaccines against classical swine fever in the Russian Federation. *Nauchnye osnovy proizvodstva i obespecheniya kachestva biologicheskikh preparatov: materialy Mezhdunarodnoi prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu Armavirskoi biofabriki (Armavir, 20–21 avgusta 2021 g.) = Scientific basis of biological product manufacturing and quality assurance: proceedings of the International Practical Conference devoted to the 100th anniversary of the Armavir Biofactory (Armavir, 20–21 August, 2021)*. Armavir: All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry; 2021; 54–60. <https://elibrary.ru/upxsqy> (in Russ.)
46. Hung S. W., Chuang C. K., Wong C. H., Yen C. H., Peng S. H., Yang C., et al. Activated macrophages of CD 163 gene edited pigs generated by direct cytoplasmic microinjection with CRISPR gRNA/Cas9 mRNA are resistant to PRRS virus assault. *Animal Biotechnology*. 2023; 34 (9): 4196–4209. <https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2062602>
47. Lillico S. G., Proudfoot C., King T. J., Tan W., Zhang L., Mardjuki R., et al. Mammalian interspecies substitution of immune modulatory alleles by genome editing. *Scientific Reports*. 2016; 6:21645. <https://doi.org/10.1038/srep21645>

Поступила в редакцию / Received 15.06.2024

Поступила после рецензирования / Revised 23.08.2024

Принята к публикации / Accepted 20.09.2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Оганесян Андрей Серожович, канд. вет. наук, заведующий сектором информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-0061-5799>, oganesyan@arriah.ru

Шибяев Михаил Александрович, канд. вет. наук, заведующий сектором информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-9382-0109>, shibaev@arriah.ru

Петрова Ольга Николаевна, канд. биол. наук, заместитель заведующего сектором информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-3939-1929>, petrova@arriah.ru

Баскакова Наталья Евгеньевна, ведущий специалист информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; baskakova@arriah.ru

Караулов Антон Константинович, канд. вет. наук, советник, ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-5731-5762>, karaulov@arriah.ru

Andrey S. Oganessian, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Head of Sector, Information and Analysis Centre, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-0061-5799>, oganesyan@arriah.ru

Mikhail A. Shibayev, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Head of Sector, Information and Analysis Centre, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-9382-0109>, shibaev@arriah.ru

Olga N. Petrova, Cand. Sci. (Biology), Deputy Head of the Sector, Information and Analysis Centre, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-3939-1929>, petrova@arriah.ru

Natalia Ye. Baskakova, Leading Specialist, Information and Analysis Centre, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; baskakova@arriah.ru

Anton K. Karaulov, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Advisor, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-5731-5762>, karaulov@arriah.ru

Вклад авторов: Авторы внесли равный вклад в проведение исследования: сбор и анализ материала; определение целей и задач, методов исследования; формулирование и научное обоснование выводов, оформление ключевых результатов исследования в виде статьи.

Contribution: The authors have made equal contribution to the study: data collection and analysis; determination of goals and objectives, methods of the study; formulation and scientific justification of conclusions, documentation of key outputs from the study in the paper.