Check for updates

CC BY

https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-1-64-72
УДК 619:616.98:578.842.1:639.111.14:616-036.22(470)

Факторы риска распространения африканской чумы свиней среди диких кабанов в Российской Федерации

О. И. Захарова[1], А. А. Блохин[1], О. А. Бурова[1], И. В. Яшин[1], Ф. И. Коренной[2]

[1] ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (ФГБНУ ФИЦВиМ); Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (ННИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ), ул. Ветеринарная, 3, г. Нижний Новгород, 603950, Россия

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

РЕЗЮМЕ

Анализ и оценка факторов риска, связанных с возникновением, распространением и персистенцией вируса африканской чумы свиней в популяции диких кабанов, представляет собой важный инструмент в определении стратегических мер, направленных на ликвидацию и смягчение последствий эпизоотий. Детальное изучение зарубежной и отечественной литературы позволило сделать вывод, что факторы управления популяциями диких кабанов, социально-экономические и связанные с внешней средой, в основном определяющие плотность и численность животных, являлись наиболее значимыми и ассоциированными с риском возникновения очагов африканской чумы свиней в дикой фауне. Для выявления факторов риска распространения заболевания среди диких кабанов в субъектах Российской Федерации была построена регрессионная модель, исследующая взаимосвязь между ежегодным количеством вспышек африканской чумы свиней среди кабанов на уровне муниципальных районов, плотностью популяции кабана и рядом других факторов за период с 2007 по 2022 г. По результатам проведенного регрессионного моделирования на уровне субъектов в 42,5% модельных регионов Российской Федерации была выявлена положительная взаимосвязь интенсивности вспышек заболевания и плотности популяции кабана. Другими значимыми факторами явились протяженность автодорог, наличие лесного покрова и вспышек среди домашних свиней. Однако в целом для всех неблагополучных субъектов регрессионная модель показала несостоятельность фактора плотности популяции кабана для объяснения наблюдаемого распределения вспышек африканской чумы свиней, что может указывать на наличие иных эпизоотических драйверов распространения заболевания в дикой природе. Одним из таких механизмов может являться сохранение инфекционного потенциала во внешней среде и в сформированных стационарных локальных очагах африканской чумы свиней, несмотря на принимаемые противоэпизоотические мероприятия, включающие в себя и меры по регулированию численности восприимчивого поголовья – депопуляцию.

Ключевые слова: африканская чума свиней, факторы риска, кабан, плотность популяции, регрессионный анализ, Российская Федерация

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии».

Для цитирования: Захарова О. И., Блохин А. А., Бурова О. А., Яшин И. В., Коренной Ф. И. Факторы риска распространения африканской чумы свиней среди диких кабанов в Российской Федерации. *Ветеринария сегодня*. 2024; 13 (1): 64–72. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-1-64-72

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Захарова Ольга Игоревна, научный сотрудник лаборатории эпизоотологии и биоинформатики, ННИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, ул. Ветеринарная, 3, г. Нижний Новгород, 603950, Россия, *e-mail: ozakharova@ficvim.ru*

Risk factors for African swine fever spread in wild boar in the Russian Federation

Olga I. Zakharova[1], Andrey A. Blokhin[1], Olga A. Burova[1], Ivan V. Yashin[1], Fedor I. Korennoy[2]

[1] Federal Research Center for Virology and Microbiology; Nizhny Novgorod Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, 3 Veterinarnaya str., Nizhny Novgorod 603950, Russia

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

ABSTRACT

The analysis and assessment of risk factors associated with the occurrence, spread and persistence of African swine fever (ASF) virus in wild boar population are an important tool in determining the strategic measures aimed at eradicating epizootics and mitigating their consequences. A thorough examination of foreign and domestic literature revealed that wild boar population management factors, socio-economic and environmental ones, that mainly account for the density and number of animals were the most significant and associated with the risk of ASF outbreak occurrence in wild animals. In order to identify risk factors for the spread of the disease in wild boar in the Russian Federation Subjects, a regression model was built to examine the relationship between the annual number of ASF outbreaks in wild boar at the municipal raion level, wild boar population density and some other factors for the period between 2007 and 2022. Based

© Захарова О. И., Блохин А. А., Бурова О. А., Яшин И. В., Коренной Ф. И., 2024
© ФГБУ «ВНИИЗЖ», 2024

on the Subject-level regression modelling results, a positive association between the intensity of the disease outbreaks and wild boar population density was identified in 42.5% of the model regions of the Russian Federation. Other significant factors were the length of roads, the presence of forest cover and outbreaks in domestic pigs. However, on the whole, for all the infected Subjects, the regression model demonstrated the failure of the wild boar population density factor to explain the observed ASF outbreak distribution, and this may be indicative of the existence of other epizootic drivers of the disease spread in the wild. One of such mechanisms may be the persistence of infectious potential in the external environment and in the formed stationary local foci of African swine fever, despite the anti-epizootic measures taken, including the measures aimed at regulating the number of susceptible population – depopulation.

Keywords: African swine fever, risk factors, wild boar, population density, regression analysis, Russian Federation

Acknowledgement: The study was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of the State Assignment of the Federal Research Center for Virology and Microbiology.

For citations: Zakharova O. I., Blokhin A. A., Burova O. A., Yashin I. V., Korennoy F. I. Risk factors for African swine fever spread in wild boar in the Russian Federation. *Veterinary Science Today*. 2024; 13 (1): 64–72. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-1-64-72

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

For correspondence: Olga I. Zakharova, Researcher, Laboratory of Epizootology and Bioinformatics, Nizhny Novgorod Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, 3 Veterinarnaya str., Nizhny Novgorod 603950, Russia, *e-mail: ozakharova@ficvim.ru*

ВВЕДЕНИЕ

Африканская чума свиней (АЧС) – трансграничное вирусное заболевание, поражающее как домашних, так и диких свиней, наносящее огромный ущерб свиноводству [1, 2, 3, 4]. АЧС может демонстрировать уникальные региональные особенности проявления, связанные с комплексом факторов риска, которые следует оценивать при выборе надлежащих стратегий надзора и контроля [5]. Многочисленные исследования посвящены выяснению роли домашних и диких свиней в возникновении вспышек и распространении инфекции.

Особый интерес представляет анализ факторов риска, способствующих распространению болезни среди кабанов, в том числе заносу на благополучные от АЧС территории [6]. Экологический цикл с участием дикого кабана и присутствием вируса АЧС в окружающей среде – основная проблема современной эпизоотологии АЧС, так как еще не раскрыты все механизмы сохранения персистенции возбудителя на неблагополучных территориях [7, 8].

Анализируя эпизоотическую ситуацию по АЧС в Российской Федерации, можно сказать, что болезнь получила широкое распространение как в популяции дикого кабана, так и в популяции домашних свиней почти на всей территории, включая даже те регионы, где, как утверждается, плотность популяции кабана очень низкая [9].

Несмотря на многочисленные попытки ученых многих стран создать безопасную и эффективную вакцину против АЧС, стратегия эрадикации болезни в настоящее время основывается на принципах оценки риска и выявления основных факторов, способствующих распространению инфекции, а также на соблюдении строгих мер биобезопасности содержания животных. Большинство мероприятий при ликвидации и профилактике АЧС базируются на классических принципах борьбы с болезнью, включая эпизоотологический надзор, расследование и убой инфицированных стад, установление зон защиты и наблюдения. Эти меры сочетаются с запретом на кормление свиней пищевыми отходами, строгим карантином и мерами биобезопасности, а также контролем за перемещением животных и свиноводческой продукции [2, 10, 11].

Важность оценки текущей эпизоотической ситуации и динамики распространения этой разрушительной для свиноводческой отрасли болезни диктует необходимость разработки методов модельного прогнозирования возникновения очагов АЧС на благополучных и стационарно неблагополучных территориях РФ.

Удаленность локальных очагов инфекции среди диких кабанов от первоначальных вспышек подчеркивает значимость хозяйственной деятельности человека как главного, если не основного, фактора, связанного с распространением болезни [12, 13, 14]. Необходимо учитывать, что распространение АЧС происходит не только через прямой контакт между животными, но и опосредованно, например, через инфицированные туши кабанов, погибших от болезни, и контаминированные вирусом предметы окружающей среды [12, 15, 16]. Во время текущей в Европе эпизоотии был установлен факт возникновения АЧС в местах обитания диких кабанов и связи этого с факторами окружающей среды, что позволило выявить и описать цикл передачи возбудителя, названный «дикий кабан – среда обитания» [17, 18]. Таким образом, представляется справедливым заключить, что дикие кабаны играют важную роль в распространении и циркуляции вируса АЧС в европейских странах. Сложная биология диких кабанов и факторы окружающей среды, влияющие на среду их обитания, должны быть в центре усилий, направленных на борьбу с АЧС [19].

В настоящее время ведутся дискуссии по вопросу зависимости скорости распространения возбудителя АЧС от плотности популяции дикого кабана. Исходя из опыта стран Европы, данная взаимосвязь преобладает, но наблюдается не всегда [5]. Pejsak Z. et al. предположили, что для обеспечения устойчивой циркуляции вируса среди диких кабанов в Польше необходима плотность более 2 животных на квадратный

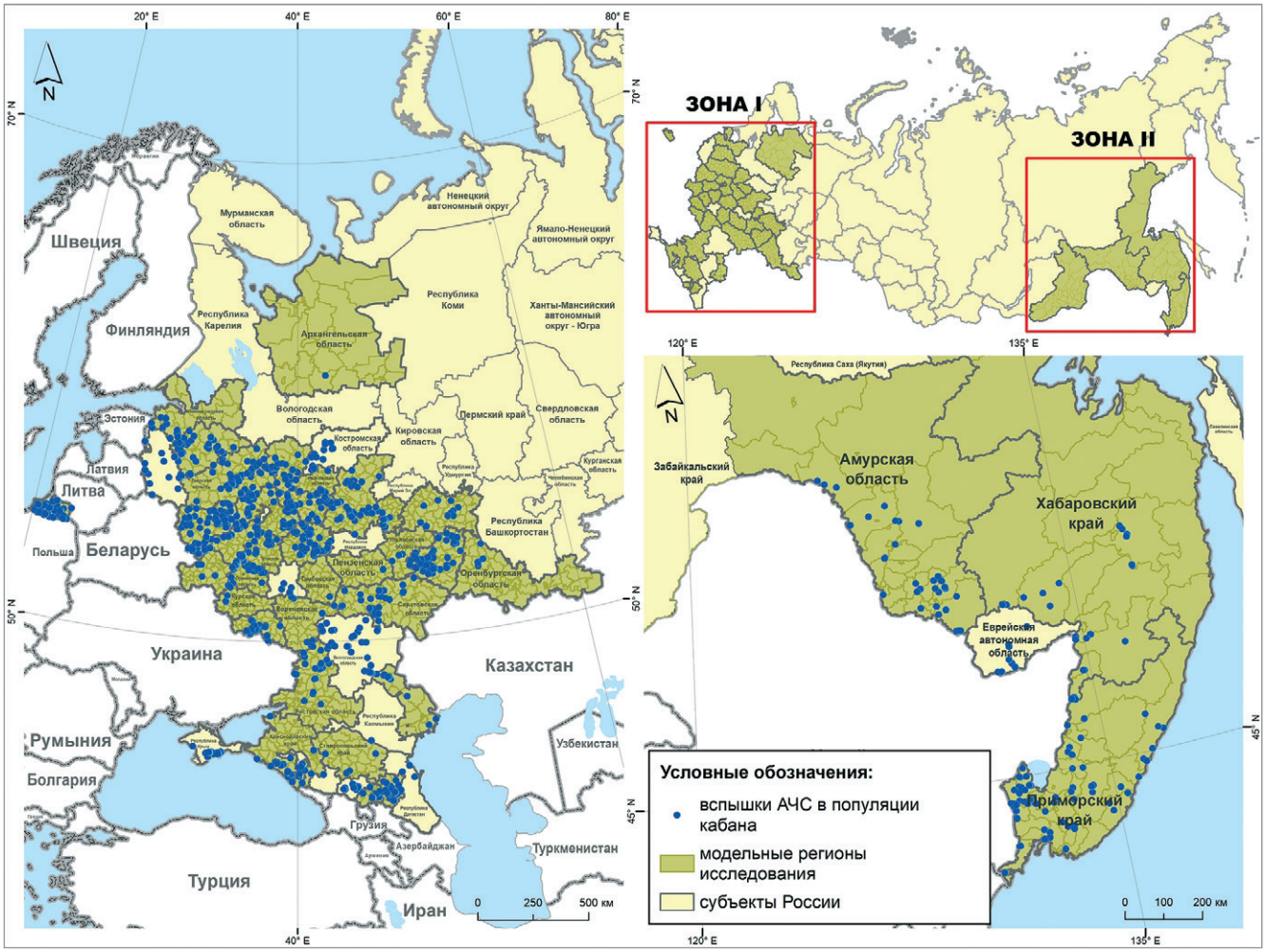

Рис. 1. Эпизоотическая ситуация по АЧС в популяции кабана в субъектах РФ (2007–2022 гг.)

Fig. 1. ASF situation in wild boar population in the Russian Federation Subjects (2007–2022)

километр [19]. Из-за особенностей эпизоотического процесса при АЧС такая тенденция в основном зависит от структуры и социальных взаимоотношений как внутри самой восприимчивой популяции кабана, так и между половозрастными группами.

Теория пороговых значений плотности не дает однозначных ответов о закономерностях распространения вируса АЧС, поддержания вспышек в популяции диких кабанов и передачи возбудителя болезни в другие восприимчивые популяции, в том числе домашних свиней. Модельные подходы основаны на таких ключевых условностях, как однородное и случайное взаимодействие больных и здоровых особей, что вряд ли воспроизводимо в дикой природе.

Обозначенная актуальность изучения вопросов биологии кабанов и устойчивости вируса АЧС в окружающей среде определяет экологические и ландшафтно-климатические факторы риска заноса и распространения инфекции как особую категорию предикторов, которые необходимо рассматривать в первую очередь [19, 20].

Целью данной работы было выявление основных факторов риска распространения АЧС в популяции кабана, включая определение значимости плотности восприимчивых животных в эпизоотическом процессе на территории неблагополучных по заболеванию субъектов РФ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Модельный регион. Для данного исследования были выбраны субъекты РФ, в которых вспышки АЧС в популяции кабана регистрировались в 2007–2022 гг. и для которых была получена информация о численности поголовья дикого кабана на уровне районов за данный период. Модельные регионы, представленные на рисунке 1, включают 40 субъектов, расположенных в европейской (зона I) и дальневосточной (зона II) частях России. Модельными единицами, к которым были привязаны показатели неблагополучия и факторы, явились муниципальные районы.

Данные по АЧС. Сведения о регистрации АЧС в популяции дикого кабана в РФ за 2007–2022 гг. взяты из официальной базы данных Всемирной организации здравоохранения животных (ВОЗЖ)[1]. Ежегодная информация о численности и плотности популяции кабана в период с 2007 по 2022 г. была получена в результате запросов от региональных министерств экологии и природных ресурсов, а также комитетов по охране, использованию и воспроизводству объектов животного мира субъектов РФ.

Регрессионный анализ. Зависимость между возникновением и интенсивностью вспышек АЧС и фактора-

[1] WOAH. Disease situation. https://wahis.woah.org/#/dashboards/country-or-disease-dashboard

ми риска, включая плотность популяции кабана, была изучена с применением отрицательной биномиальной многофакторной регрессионной модели для модельных субъектов, длительно неблагополучных по АЧС в дикой фауне. При этом зависимой величиной (переменной ответа) являлось число вспышек заболевания среди диких кабанов за данный год в данном муниципальном районе, а объясняющими переменными – ряд социально-экономических и экологических факторов, описанных ниже.

Модель отрицательной биномиальной регрессии – это определенный тип регрессии, применяемый для счетных данных, когда вариация переменной ответа превышает ее среднее значение (то есть когда наблюдается сверхдисперсия) [21]. Выбор отрицательной биномиальной регрессии в нашем случае был оправдан распределением числа вспышек среди диких кабанов в муниципальных районах, где среднее значение равно 0,84, вариация – 38,41.

Значимость переменных оценивалась с помощью *t*-критерия Стьюдента с соответствующим *p*-значением (величина $p \leq 0,05$ свидетельствует о достаточной статистической значимости переменной как предиктора в регрессионной модели). Общее качество соответствия моделей оценивалось с помощью скорректированного коэффициента детерминации R^2, представляющего долю вариации объясняемой величины, учтенную моделью.

Моделирование производилось в два этапа:

1) для всех районов модельных субъектов в целом;

2) для районов каждого субъекта в отдельности.

Выбор потенциальных факторов риска возникновения АЧС у диких кабанов. В результате анализа литературных данных была собрана информация по потенциальным факторам риска распространения АЧС в популяции кабана, представленная в таблице 1.

Выбранные факторы явились объясняющими переменными в регрессионном моделировании по выявлению зависимости вспышек АЧС от плотности популяции и других факторов риска с применением отрицательной биномиальной регрессии.

Программное обеспечение. Первичная обработка и оценка данных проводились с помощью программы Microsoft Office Excel (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). Картографирование эпизоотической ситуации по АЧС, численности популяции дикого кабана и кластерный анализ выполнялись при помощи программы ArcMap 10.8.1 (Esri, Redlands, California, USA). Для регрессионного моделирования использовалась статистически ориентированная программная среда R (R Core Team, 2023).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ретроспективная оценка эпизоотической ситуации по АЧС в популяции кабана. За анализируемый период (с 2007 по 2022 г.) на территории модельных субъектов было зарегистрировано 1054 очага АЧС в популяции дикого кабана, что составило 41,7% от всех вспышек заболевания. Наибольшее число вспышек в популяции кабана наблюдалось в 2013 (116 очагов), 2016 (118 очагов), 2020 (170 очагов) и 2021 (104 очага) годах. Географически вспышки АЧС были сконцентрированы в таких субъектах, как Рязанская, Московская, Тульская, Тверская, Владимирская, Смоленская, Самарская области, и расположенных на границе с Эстонией – Псковской, Ленинградской. На Дальнем Востоке длительное неблагополучие и стационарность очагов АЧС отмечены в Приморском крае и приграничных областях – локальных территориях, на которых в настоящее время еще сохраняется достаточно высокая плотность популяции дикого кабана.

Проявление АЧС в популяции кабана в некоторых регионах носит спорадический характер с тенденцией к персистенции вируса в окружающей среде, при этом вспышки болезни регистрируются на всем протяжении эпизоотии (например, в Нижегородской области), а в других проявляются массовой эпизоотией, поражая большое количество животных за короткий период. Такое проявление эпизоотии можно было наблюдать

Таблица 1
Факторы риска распространения АЧС в популяции кабана (обзорная информация)

Table 1
Risk factors for ASF spread in wild boar population (overview)

Факторы риска	Единицы измерения	Информация о возможном эффекте	Источники
Лесные насаждения (доля от площади района)	%	Наличие большой площади леса, близость к лесным массивам увеличивает вероятность обнаружения больных животных	[15, 22, 23, 24]
Водные объекты (доля от площади района)	%	Наличие и близость к поверхностным водоемам связаны с распространением АЧС	[15, 24]
Поля с кустарниковой растительностью (площадь)	км^2	Высота луговой и кустарниковой растительности более 1,5 м связана с выявлением инфицированных животных	[15]
Высота над уровнем моря	м	Высокая вероятность обнаружения зараженных животных при оптимальной среде обитания	[25, 26, 27]
Плотность населения	чел/км^2	Высокая плотность населения связана с инфекцией	[24]
Плотность населенных пунктов, включая села и деревни	единиц/км^2	Изменение плотности может влиять на выявление больных животных	[15, 22, 25, 26, 27]
Добытые на охоте кабаны	особи	Вероятность обнаружения больных животных увеличивается с числом охотничьих добыч	[26, 27]
Протяженность и плотность дорожной сети	км и км/км^2	Увеличение количества дорог может повысить выявляемость инфицированных животных, а также является косвенным индикатором экономической активности населения	[15, 22, 25, 26, 27]
Сельское хозяйство, наличие мелких свиноводческих ферм	единиц	Увеличение количества свиноферм, особенно небольших, связано с повышенной частотой инфицирования животных	[26, 27]
Вспышки АЧС среди домашних свиней	единиц	Близость к вспышкам повышает вероятность возникновения инфекции	[26, 27]
Плотность популяции кабана	особей/км^2	Высокая плотность связана с вероятностью возникновения болезни	[22, 25, 26, 27, 28]

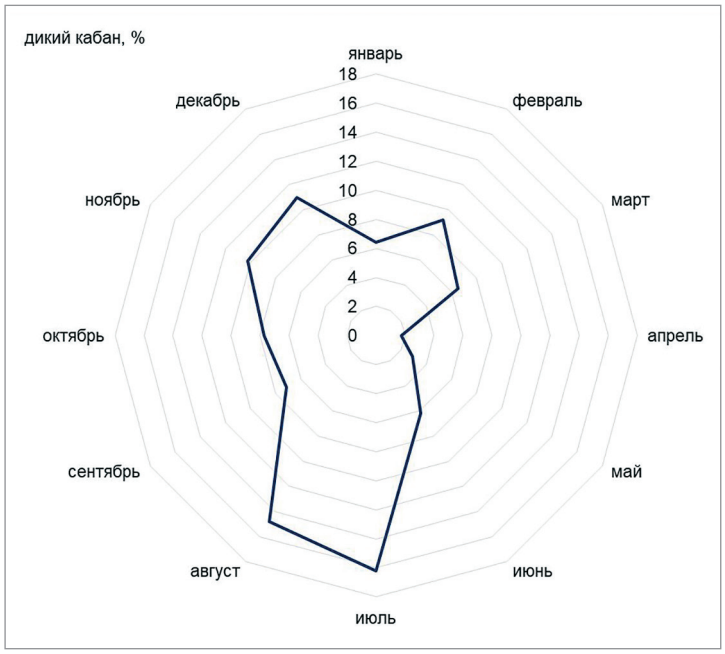

Рис. 2. Сезонность вспышек АЧС среди кабанов в субъектах РФ с 2007 по 2022 г.

Fig. 2. Seasonality of ASF outbreaks in wild boar in the Russian Federation Subjects, 2007–2022

в Самарской области в 2020 г., где за год зафиксировано 60 очагов АЧС среди кабанов.

Заболевание кабанов имело ярко выраженную сезонность с пиками в летние месяцы (июль – август), а также в ноябре – декабре и феврале (рис. 2).

Выявление зависимости возникновения вспышек АЧС среди кабанов от плотности популяции и других факторов риска. Моделирование по всем модельным субъектам в целом показало статистическую незначимость плотности популяции кабанов как объясняющего фактора (p_t = 0,546) и низкое значение коэффициента взаимной детерминации R^2 = 0,256. Это позволяет сделать вывод о невозможности установления однозначного соответствия между плотностью популяций кабанов и наличием повторяющихся вспышек АЧС в масштабе всех модельных субъектов (табл. 2).

В то же время моделирование для отдельных субъектов РФ показало, что в 17 из 40 регионов (что составляет 42,5%) все же наблюдается наличие статистически значимой (p_t < 0,05) положительной зависимости регистрации вспышек АЧС от плотности популяции кабанов, представленной в таблице 3.

Несмотря на выявленную зависимость интенсивности эпизоотии от плотности кабана в отдельных субъектах РФ, в некоторых регионах вспышки АЧС среди кабанов регистрировались даже в тех районах, где плотность популяции кабана была существенно ниже рекомендуемого значения в 0,25 особи на 1000 га (0,025 особи/км^2), утвержденного распоряжением Правительства РФ от 30.09.2016 № 2048-р (ред. от 04.02.2021) «О плане действий по предотвращению заноса на территорию Российской Федерации африканской чумы свиней и ее распространения на территории Российской Федерации». Данный факт дает основание предполагать, что плотность популяции кабана является не единственным фактором риска распространения АЧС.

На рисунке 3 представлены результаты регрессионного моделирования зависимости возникновения вспышек АЧС от плотности популяции кабана в модельных субъектах РФ. Для регионов, в которых выявлена достоверная зависимость распространения АЧС от плотности популяции кабана, представлено также распределение плотности популяции восприимчивых животных в 2022 г.

Результаты регрессионного анализа зарегистрированных случаев АЧС среди диких кабанов с учетом ряда климатических и социально-демографических факторов с использованием отрицательной биномиальной модели представлены в таблице 2. Было выявлено, что основными предикторами эпизоотий являются доля лесных насаждений, протяженность дорог и вспышки среди домашних свиней.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как показал анализ литературных источников, описывающих факторы риска экспансии АЧС в странах мира, деятельность человека представлена как наиболее значимый предиктор, особенно в отношении перемещения и импорта живых свиней и продукции свиноводства [12, 22, 25]. При этом многие исследователи указывают, что павшие от АЧС кабаны выступают не менее важным фактором в передаче вируса как внутри популяции, так и домашним свиньям, являясь источником распространения инфекции, что может свидетельствовать о персистенции вируса с участием сохраняющихся инфицированных трупов кабанов или их останков [16, 29, 30].

Рассматривая условия среды обитания кабанов при анализе риска распространения АЧС, необходимо учитывать как биотические, так и абиотические факторы, такие как климатические (температура, количество осадков, влажность, облачность, уровень УФ-излучения), ландшафтные (тип растительности, площадь растительного покрова, высота над уровнем моря, тип почвы, наличие водных объектов и их доступность), антропогенная деятельность и опосредованные этой деятельностью изменения в среде обитания кабанов (плотность населения, искусственные сооружения, здания, дороги, плотность ферм и сельскохозяйственных животных), а также факторы, связанные с популяцион-

Таблица 2
Результаты регрессионного анализа зависимости вспышек АЧС от факторов риска в субъектах Российской Федерации (2007–2022 гг.)

Table 2
Results of regression analysis of ASF outbreak dependence on risk factors in the Russian Federation Subjects (2007–2022)

Переменные	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	*p*-значение
Доля лесных насаждений, %	0,657	0,342	0,0001
Протяженность дорог, км	0,354	0,235	0,0001
Вспышки АЧС среди домашних свиней	1,032	0,657	0,003
Плотность популяции кабана, особей/км^2	3,056	3,415	0,546

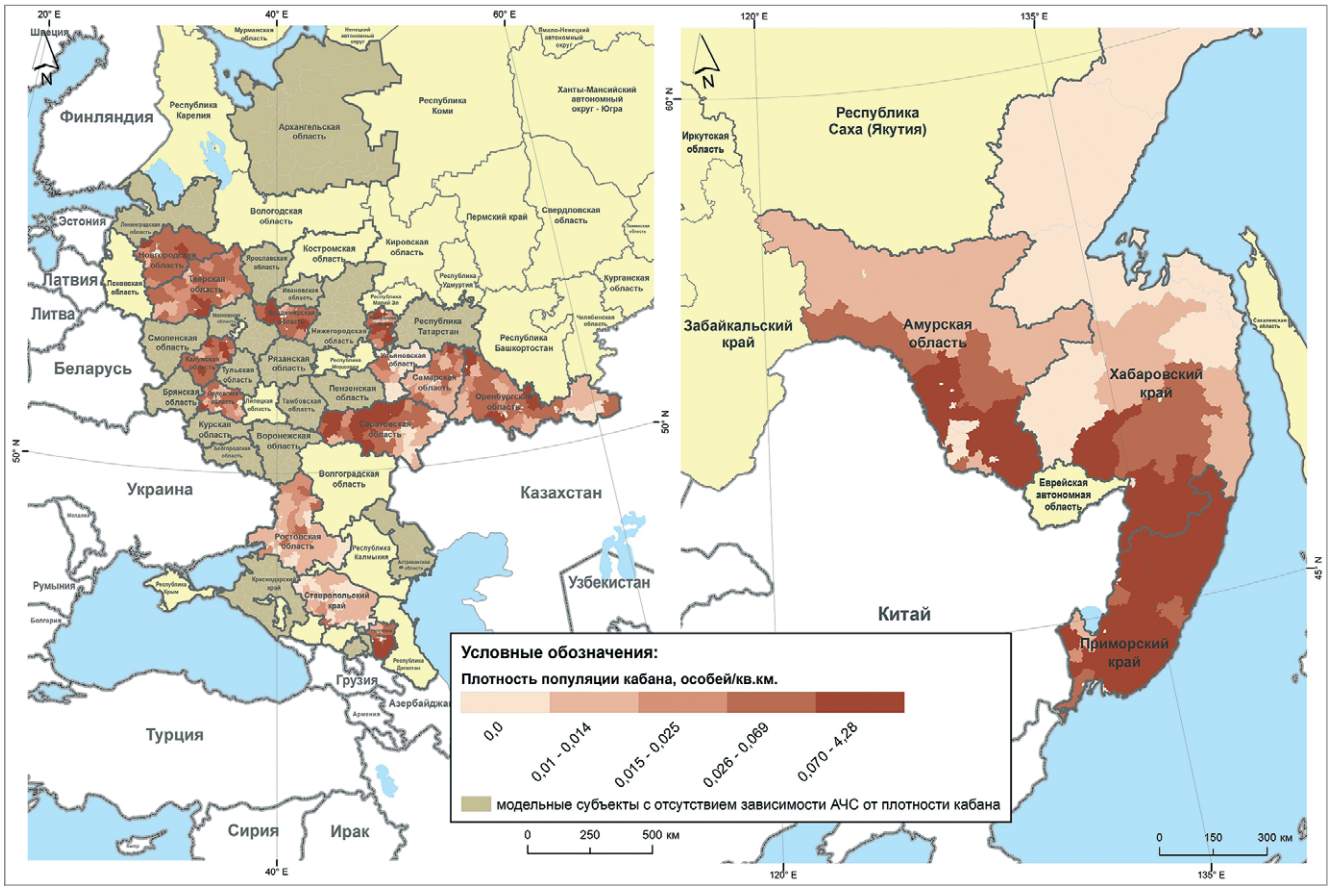

Рис. 3. Зависимость распространения АЧС в районах субъектов РФ от плотности популяции кабана по результатам регрессионного моделирования. На рисунке представлена плотность популяции кабана в 2022 г.

Fig. 3. Dependence of ASF spread in the raions of the Russian Federation Subjects on wild boar population density based on regression modelling results. The figure shows the wild boar population density as of 2022

ными характеристиками кабана (плотность популяции кабана, распределение животных по географической территории) и биологическими свойствами вируса АЧС – форма и стадия болезни (доля серопозитивных кабанов в популяции), вирусная нагрузка, уровень инцидентности и превалентности [31].

Таким образом, всестороннее понимание потенциальных факторов риска распространения АЧС среди диких кабанов крайне необходимо и имеет решающее значение для успешного управления заболеванием. В этой связи представляется очевидным, что при однофакторном анализе риска при АЧС существует вероятность упустить важные элементы, имеющие значение в передаче инфекции диким кабанам. Поэтому для моделирования связи возникновения АЧС среди кабанов с потенциальными предикторами во многих исследованиях применялись многофакторные подходы, тем самым подчеркивая значимость выявленных факторов риска [23, 26, 32, 33].

Факторы окружающей среды, непосредственно оказывающие влияние на возможность проявления болезни, обусловливают пространственные и временные закономерности распространения АЧС. Как известно, на сохранение благоприятных условий среды обитания

Таблица 3
Характеристика регрессионных показателей зависимости вспышек АЧС среди кабанов от плотности популяции кабана в субъектах РФ (2007–2022 гг.)

Table 3
Characteristics of regression indicators of dependence of ASF outbreaks in wild boar on wild boar population density in the Russian Federation Subjects (2007–2022)

Субъект	Регрессионный коэффициент	Стандартная ошибка	95% CI (доверительный интервал)	*p*-значение
Калужская область	5,565	1,811	1,421–15,634	0,002
Новгородская область	8,834	3,869	0,679–19,679	0,022
Оренбургская область	34,163	15,493	5,325–25,456	0,027
Орловская область	13,296	5,807	3,911–28,044	0,022
Чеченская Республика	4,345	3,211	1,658–2,213	0,032
Чувашская Республика	39,070	12,047	7,579–91,482	0,001
Ростовская область	33,495	0,785	31,944–135,024	0,000
Самарская область	27,656	8,844	10,487–50,677	0,001
Саратовская область	7,278	2,167	2,269–15,414	0,000
Ставропольский край	87,722	11,827	64,026–110,587	0,000
Ульяновская область	96,345	35,817	12,109–260,338	0,000
Владимирская область	13,059	3,137	1,244–25,423	0,000
Волгоградская область	18,234	5,342	5,341–21,231	0,000
Тверская область	8,274	1,539	3,661–14,281	0,000
Амурская область	21,052	9,438	9,438–34,887	0,000
Приморский край	1,051	0,713	0,123–4,063	0,014
Хабаровский край	6,870	3,398	0,01–10,456	0,043

дикого кабана потенциально воздействует состояние лесного покрова, еще одним из ключевых предикторов возникновения АЧС является наличие водных объектов [34].

С точки зрения оптимальной среды обитания кабана любой тип земельного покрова, обеспечивающий убежищем, водой и пищей животных, необходимо брать во внимание как экологический фактор риска возникновения АЧС [28, 35, 36]. Возможно, что для поддержания численности популяций диких кабанов на заданном уровне требуется оптимальная среда обитания, включающая лесной покров с определенными видами деревьев [35]. В соответствии с этой точкой зрения исследователями была показана связь возникновения АЧС у кабанов с площадью лесного покрова в различных географических регионах Европы, включая страны Балтии [25, 26] и Италию [23], указывающая на то, что вероятность обнаружения возбудителя инфекции у данного вида животных выше в регионах с большими лесными массивами [37]. Результаты пространственно-временного исследования, проведенного в Чехии на территории, пострадавшей от АЧС в 2017–2018 гг., предоставили дополнительную информацию об относительном влиянии лесного покрова на выявление инфицированных вирусом АЧС диких кабанов. Хотя поисковые мероприятия по обнаружению трупов животных проводились на относительно небольшой территории, пораженной АЧС, более 70% всех туш были найдены в лесах [15]. Регрессионное моделирование факторов, обуславливающих риск распространения АЧС в субъектах РФ, показало значимость такого параметра, как наличие лесного покрова, что подтверждает вышесказанное утверждение.

Факторы риска возникновения АЧС среди кабанов, обусловленные популяционными характеристиками вида, включают общую численность или плотность, распределение особей в пространстве и времени. Концентрация восприимчивых к АЧС животных – домашних свиней, диких кабанов – имеет важное значение в эпизоотической цепи передачи инфекции. Несмотря на потенциальную значимость в распространении АЧС такого фактора риска, как плотность популяции диких кабанов [38], определить фактическую численность данного вида животных и вести постоянный мониторинг очень сложно, практически невыполнимо из-за постоянных миграций животных. Поэтому во многих странах оценку плотности популяции проводят по показателям количества добытых кабанов в пересчете на площадь района [35, 39] или при помощи других методов, например фотоловушек [40]. Важно учитывать, что фактические оценки плотности диких кабанов, скорее всего, являются грубыми приближениями истинного абсолютного значения и, вероятно, смещены в соответствии с исходными данными об охотничьих добычах.

Выявленные пространственно-временные закономерности распространения вспышек АЧС в субъектах РФ дают возможность предположить, что даже при наличии низкой плотности популяции кабана (менее 0,25 особи на 1000 га площади охотничьих угодий) сохраняется возможность передачи возбудителя от инфицированных объектов восприимчивым животным и распространения вируса в окружающей среде [41, 42]. Общая регрессионная модель зависимости возникновения вспышек АЧС от плотности популяции кабана в неблагополучных по заболеванию субъектах РФ в период с 2007 по 2022 г. показала, что интенсивность вспышек АЧС в целом не зависит от плотности популяции, что может быть связано с неравномерным районным пространственным распределением данного вида. Несмотря на указанный факт, в ряде субъектов такая зависимость все же присутствует, это подтверждает предположения о том, что в ряде регионов отмечаются географические места районного масштаба с повышенными значениями плотности восприимчивых животных и в результате миграций происходит распространение вируса АЧС на новые, ранее благополучные территории. При этом следует обратить внимание на характер выявленной зависимости: положительные значения регрессионных коэффициентов подтверждают, что более высокая плотность популяции способствует более интенсивному распространению заболевания.

В нашем исследовании была показана значимость такого фактора, как протяженность автомобильных дорог, что может быть объяснено возможностью перемещения людей при мониторинге АЧС, особенно летом и осенью, а также является косвенным индикатором интенсивности транспортно-хозяйственных связей, способствующих разносу контаминированной возбудителем продукции по территории. Аналогичный вывод получен в исследованиях, проведенных на территории Эстонии в период с 2014 по 2017 г. Было доказано, что длина дорог в регионе является фактором, который увеличивает шансы обнаружения инфицированных животных [25].

Неоднократно в литературных источниках охота указывается как фактор риска распространения АЧС в связи с потенциальными миграциями кабанов в результате охотхозяйственной деятельности человека. Поэтому при обнаружении инфицированного вирусом АЧС кабана и установлении карантина на территории охотничьего угодья рекомендуют прекратить все возможные виды охоты в пределах зоны наблюдения, кроме мероприятий по регулированию численности кабана специально обученными людьми с соблюдением необходимых мер по недопущению передвижения животных за периметр данной зоны [43, 44].

Анализ данных, полученных в Эстонии в 2018 и 2019 гг., показал, что плотность поголовья свиней в небольших хозяйствах, содержащих до 10 голов, является фактором риска развития АЧС у диких кабанов [6, 27]. Это может объясняться потенциальными контактами между домашними и дикими свиньями, характерными для малых хозяйств с отсутствием мер биологической защиты. Результаты нашего исследования также показывают, что наличие вспышек АЧС среди домашних свиней является важным фактором риска распространения инфекции среди кабанов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного анализа литературы позволяют сделать выводы, что важную роль в распространении АЧС в популяции кабанов играют факторы внешней среды и человеческая деятельность, определяющие основные направления стратегии борьбы с инфекцией в дикой фауне. Регрессионное моделирование было направлено на выявление основных факторов риска распространения АЧС в популяции диких кабанов на территории неблагополучных по заболеванию субъектов Российской Федерации. В целом по

всей территории России общая регрессионная модель показала несостоятельность такого показателя, как плотность популяции кабана, что может указывать на сохранение инфекционного потенциала во внешней среде и в сформированных стационарных локальных очагах АЧС. При этом необходимо отметить сильную зависимость результатов от достоверности имеющихся данных о численности популяции кабана. В результате моделирования эпизоотии были выявлены такие факторы распространения вспышек АЧС среди дикого кабана, как процент лесного покрова, протяженность дорог и наличие вспышек АЧС среди домашних свиней, подтверждающие значимость как природных, так и социально-демографических предикторов. Дикий кабан, являясь участником эпизоотической цепи АЧС, может выступать в качестве фактора риска только при наличии высокой плотности восприимчивых животных на начальной стадии эпизоотии. При выборе стратегии борьбы с АЧС необходимо учитывать все звенья цепи передачи вируса и возможности искоренения инфекции на оздоравливаемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Blome S., Franzke K., Beer M. African swine fever – a review of current knowledge. *Virus Research.* 2020; 287:198099. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198099

2. Dixon L. K., Sun H., Roberts H. African swine fever. *Antiviral Research.* 2019; 165: 34–41. https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2019.02.018

3. 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://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-animal-021419-083741

4. De la Torre A., Bosch J., Sánchez-Vizcaíno J. M., Ito S., Muñoz C., Iglesias I., Martínez-Avilés M. African swine fever survey in a European context. *Pathogens.* 2022; 11 (2):137. https://doi.org/10.3390/pathogens11020137

5. Bellini S., Casadei G., De Lorenzi G., Tamba M. A review of risk factors of African swine fever incursion in pig farming within the European Union scenario. *Pathogens.* 2021; 10 (1):84. https://doi.org/10.3390/pathogens10010084

6. European Food Safety Authority (EFSA), Desmecht D., Gerbier G., Gortázar Schmidt C., Grigaliuniene V., Helyes G., et al. Epidemiological analysis of African swine fever in the European Union (September 2019 to August 2020). *EFSA Journal.* 2021; 19 (5):e06572. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6572

7. Gervasi V., Guberti V. African swine fever endemic persistence in wild boar populations: Key mechanisms explored through modelling. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2021; 68 (5): 2812–2825. https://doi.org/10.1111/tbed.14194

8. Pepin K. M., Golnar A. J., Abdo Z., Podgórski T. Ecological drivers of African swine fever virus persistence in wild boar populations: Insight for control. *Ecology and Evolution.* 2020; 10 (6): 2846–2859. https://doi.org/10.1002/ece3.6100

9. Khomenko S., Beltrán-Alcrudo D., Rozstalnyy A., Gogin A., Kolbasov D., Pinto J., et al. African swine fever in the Russian Federation: risk factors for Europe and beyond. *Empres Watch.* 2013; 28: 1–14. https://www.fao.org/3/aq240e/aq240e.pdf

10. Penrith M.-L., Bastos A., Chenais E. With or without a vaccine – A review of complementary and alternative approaches to managing African swine fever in resource-constrained smallholder settings. *Vaccines.* 2021; 9 (2):116. https://doi.org/10.3390/vaccines9020116

11. Borca M. V., Rai A., Ramirez-Medina E., Silva E., Velazquez-Salinas L., Vuono E., et al. A cell culture-adapted vaccine virus against the current African swine fever virus pandemic strain. *Journal of Virology.* 2021; 95 (14):e00123-21. https://doi.org/10.1128/jvi.00123-21

12. Taylor R. A., Podgórski T., Simons R. R. L., Ip S., Gale P., Kelly L. A., Snary E. L. Predicting spread and effective control measures for African swine fever – should we blame the boars? *Transboundary and Emerging Diseases.* 2021; 68 (2): 397–416. https://doi.org/10.1111/tbed.13690

13. Podgórski T., Śmietanka K. Do wild boar movements drive the spread of African swine fever? *Transboundary and Emerging Diseases.* 2018; 65 (6): 1588–1596. https://doi.org/10.1111/tbed.12910

14. European Food Safety Authority (EFSA), Baños J. V., Boklund A., Gogin A., Gortázar C., Guberti V., et al. Epidemiological analyses of African swine fever in the European Union: (September 2020 to August 2021). *EFSA Journal.* 2022; 20 (5):e07290. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7290

15. Cukor J., Linda R., Václavek P., Šatrán P., Mahlerová K., Vacek Z., et al. Wild boar deathbed choice in relation to ASF: Are there any differences between positive and negative carcasses? *Preventive Veterinary Medicine.* 2020; 177:104943. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.104943

16. Lange M., Thulke H. H. Elucidating transmission parameters of African swine fever through wild boar carcasses by combining spatio-temporal notification data and agent-based modelling. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.* 2017; 31: 379–391. https://doi.org/10.1007/s00477-016-1358-8

17. Chenais E., Ståhl K., Guberti V., Depner K. Identification of wild boar-habitat epidemiologic cycle in African swine fever epizootic. *Emerging Infectious Diseases.* 2018; 24 (4): 810–812. https://doi.org/10.3201/eid2404.172127

18. Chenais E., Depner K., Guberti V., Dietze K., Viltrop A., Ståhl K. Epidemiological considerations on African swine fever in Europe 2014–2018. *Porcine Health Management.* 2019; 5:6. https://doi.org/10.1186/s40813-018-0109-2

19. Pejsak Z., Truszczyński M., Niemczuk K., Kozak E., Markowska-Daniel I. Epidemiology of African swine fever in Poland since the detection of the first case. *Polish Journal of Veterinary Sciences.* 2014; 17 (4): 665–672. https://doi.org/10.2478/pjvs-2014-0097

20. Lim J. S., Andraud M., Kim E., Vergne T. Three years of African swine fever in South Korea (2019–2021): A scoping review of epidemiological understanding. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2023; 2023:4686980. https://doi:10.1155/2023/4686980

21. Hilbe J. M. Negative Binomial Regression. 2nd ed. New York: Cambridge University Press; 2011. 572 p.

22. Podgórski T., Borowik T., Łyjak M., Woźniakowski G. Spatial epidemiology of African swine fever: Host, landscape and anthropogenic drivers of disease occurrence in wild boar. *Preventive Veterinary Medicine.* 2020; 177:104691. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104691

23. Loi F., Laddomada A., Coccollone A., Marrocu E., Piseddu T., Masala G., et al. Socio-economic factors as indicators for various animal diseases in Sardinia. *PLoS ONE.* 2019; 14 (6):e0217367. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217367

24. European Food Safety Authority (EFSA), Cortiñas Abrahantes J., Gogin A., Richardson J., Gervelmeyer A. Epidemiological analyses on African swine fever in the Baltic countries and Poland. *EFSA Journal.* 2017; 15 (3):e4732. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4732

25. European Food Safety Authority (EFSA), Depner K., Gortazar C., Guberti V., Masiulis M., More S., et al. Epidemiological analyses of African swine fever in the Baltic States and Poland (Update September 2016 – September 2017). *EFSA Journal.* 2017; 15 (11):e05068. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.5068

26. European Food Safety Authority (EFSA), Boklund A., Bøtner A., Chesnoiu V. T., Depner K., Desmecht D., et al. Epidemiological analyses of African swine fever in the European Union (November 2018 to October 2019). *EFSA Journal.* 2020; 18 (1):e5996. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.5996

27. European Food Safety Authority (EFSA), Boklund A., Cay B., Depner K., Földi Z., Guberti V., et al. Epidemiological analyses of African swine fever in the European Union (November 2017 until November 2018). *EFSA Journal.* 2018; 16 (11):e05494. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5494

28. Śmietanka K., Woźniakowski G., Kozak E., Niemczuk K., Fraçzyk M., Bocian Ł., et al. African swine fever epidemic, Poland, 2014–2015. *Emerging Infectious Diseases.* 2016; 22 (7): 1201–1207. https://doi.org/10.3201/eid2207.151708

29. Carlson J., Fischer M., Zani L., Eschbaumer M., Fuchs W., Mettenleiter T., et al. Stability of African swine fever virus in soil and options to mitigate the potential transmission risk. *Pathogens.* 2020; 9 (11):977. https://doi.org/10.3390/pathogens9110977

30. Zani L., Masiulis M., Bušauskas P., Dietze K., Pridotkas G., Globig A., et al. African swine fever virus survival in buried wild boar carcasses. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2020; 67 (5): 2086–2092. https://doi.org/10.1111/tbed.13554

31. Bergmann H., Schulz K., Conraths F. J., Sauter-Louis C. A review of environmental risk factors for African swine fever in European wild boar. *Animals.* 2021; 11 (9):2692. https://doi.org/10.3390/ani11092692

32. Croft S., Massei G., Smith G. C., Fouracre D., Aegerter J. N. Modelling spatial and temporal patterns of African swine fever in an isolated wild boar population to support decision-making. *Frontiers in Veterinary Science.* 2020; 7:154. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00154

33. Lim J. S., Vergne T., Pak S. I., Kim E. Modelling the spatial distribution of ASF-positive wild boar carcasses in South Korea using 2019–2020 national surveillance data. *Animals.* 2021; 11 (5):1208. https://doi.org/10.3390/ani11051208

34. Alexander N. S., Massei G., Wint W. The European distribution of *Sus scrofa*. Model outputs from the project described within the poster – where are all the boars? An attempt to gain a continental perspective. *Journal of Open Health Data*. 2016; 4 (1):e1. https://doi.org/10.5334/ohd.24

35. Bosch J., Iglesias I., Muñoz M. J., de la Torre A. A cartographic tool for managing African swine fever in Eurasia: Mapping wild boar distribution based on the quality of available habitats. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2017; 64 (6): 1720–1733. https://doi.org/10.1111/tbed.12559

36. Ballari S. A., Barrios-Garsia M. N. A review of wild boar *Sus scrofa* diet and factors affecting food selection in native and introduced ranges. *Mammal Review*. 2014; 44 (2): 124–134. https://doi.org/10.1111/mam.12015

37 Schulz K., Conraths F. J., Staubach C., Viltrop A., Oļševskis E., Nurmoja I., et al. To sample or not to sample? Detection of African swine fever in wild boar killed in road traffic accidents. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2020; 67 (5): 1816–1819. https://doi.org/10.1111/tbed.13560

38. Захарова О. И., Блохин А. А., Торопова Н. Н., Бурова О. А., Яшин И. В., Коренной Ф. И. Плотность популяции дикого кабана и распространение африканской чумы свиней в Российской Федерации. *Ветеринария сегодня*. 2022; 11 (2): 104–113. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-104-113

Zakharova O. I., Blokhin A. A., Toropova N. N., Burova O. A., Yashin I. V., Korennoy F. I. Density of wild boar population and spread of African swine fever in the Russian Federation. *Veterinary Science Today.* 2022; 11 (2): 104–113. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-104-113

39. Nurmoja I., Schulz K., Staubach C., Sauter-Louis C., Depner K., Conraths F. J., Viltrop A. Development of African swine fever epidemic among wild boar in Estonia – two different areas in the epidemiological focus. *Scientific Reports.* 2017; 7 (1):12562. https://doi.org/10.1038/s41598-017-12952-w

40. Ebert C., Knauer F., Spielberger B., Thiele B., Hohmann U. Estimating wild boar *Sus scrofa* population size using faecal DNA and capture-recapture modelling. *Wildlife Biology.* 2012; 18 (2): 142–152. https://doi.org/10.2981/11-002

41. Blokhin A., Toropova N., Burova O., Sevskikh T., Gogin A., Debeljak Z., Zakharova O. Spatio-temporal analysis of the spread of ASF in the Russian Federation in 2017–2019. *Acta Veterinaria.* 2020; 70 (2): 194–206. https://doi.org/10.2478/acve-2020-0014

42. Zakharova O. I., Korennoy F. I., Yashin I. V., Burova O. A., Liskova E. A., Gladkova N. A., et al. Spatiotemporal patterns of African swine fever in wild boar in the Russian Federation (2007–2022): Using clustering tools for revealing high-risk areas. *Animals*. 2023; 13 (19):3081. https://doi.org/10.3390/ani13193081

43. European Food Safety Authority (EFSA), Álvarez J., Bicout D., Boklund A., Bøtner A., Depner K., et al. Research gap analysis on African swine fever. *EFSA Journal.* 2019; 17 (8):e05811. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5811

44. Beltran-Alcrudo D., Falco J. R., Raizman E., Dietze K. Transboundary spread of pig diseases: the role of international trade and travel. *BMC Veterinary Research.* 2019; 15 (1):64. https://doi.org/10.1186/s12917-019-1800-5

Поступила в редакцию / Received 28.12.2023
Поступила после рецензирования / Revised 19.01.2024
Принята к публикации / Accepted 20.02.2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Захарова Ольга Игоревна, научный сотрудник лаборатории эпизоотологии и биоинформатики ННИВИ – филиала ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Нижний Новгород, Россия;
https://orcid.org/0000-0002-1408-2989,
e-mail: ozakharova@ficvim.ru

Блохин Андрей Александрович, канд. вет. наук, заведующий лабораторией эпизоотологии и биоинформатики ННИВИ – филиала ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Нижний Новгород, Россия;
https://orcid.org/0000-0001-5161-1184,
e-mail: and.bloxin2010@yandex.ru

Бурова Ольга Александровна, заместитель руководителя группы эпизоотологии и биоинформатики ННИВИ – филиала ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Нижний Новгород, Россия;
https://orcid.org/0000-0002-5396-0334,
e-mail: burovaolga@list.ru

Яшин Иван Вячеславович, канд. биол. наук, директор ННИВИ – филиала ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Нижний Новгород, Россия;
https://orcid.org/0000-0001-7359-2041,
e-mail: ivanyashin@yandex.ru

Коренной Федор Игоревич, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия;
https://orcid.org/0000-0002-7378-3531, e-mail: korennoy@arriah.ru

Olga I. Zakharova, Researcher, Laboratory of Epizootology and Bioinformatics, Nizhny Novgorod Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Nizhny Novgorod, Russia; *https://orcid.org/0000-0002-1408-2989, e-mail: ozakharova@ficvim.ru*

Andrey A. Blokhin, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Head of Laboratory of Epizootology and Bioinformatics, Nizhny Novgorod Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Nizhny Novgorod, Russia;
https://orcid.org/0000-0001-5161-1184,
e-mail: and.bloxin2010@yandex.ru

Olga A. Burova, Deputy Head of the Group of Epizootology and Bioinformatics, Nizhny Novgorod Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Nizhny Novgorod, Russia; *https://orcid.org/0000-0002-5396-0334, e-mail: burovaolga@list.ru*

Ivan V. Yashin, Cand. Sci. (Biology), Director, Nizhny Novgorod Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Nizhny Novgorod, Russia;
https://orcid.org/0000-0001-7359-2041,
e-mail: ivanyashin@yandex.ru

Fedor I. Korennoy, Cand. Sci. (Geography), Senior Researcher, Information and Analysis Centre, Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russia; *https://orcid.org/0000-0002-7378-3531, e-mail: korennoy@arriah.ru*

Вклад авторов: Захарова О. И. – концепция исследования, анализ и интерпретация данных, подготовка текста; Блохин А. А. – подготовка текста; Бурова О. А. – анализ научной литературы по заявленной проблеме; Яшин И. В. – подготовка текста; Коренной Ф. И. – концепция представления материалов, подготовка текста, интерпретация данных.

Contribution: Zakharova O. I. – conceptualization, data analysis and interpretation, text preparation; Blokhin A. A. – text preparation; Burova O. A. – analysis of scientific literature on the subject; Yashin I. V. – text preparation; Korennoy F. I. – visualization, text preparation, data interpretation.