



Пространственно-временной анализ распространения африканской чумы свиней в популяции диких кабанов на территории Российской Федерации в 2007–2022 гг.

О. И. Захарова¹, А. А. Блохин¹, О. А. Бузова¹, И. В. Яшин¹, Ф. И. Коренной²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (ФГБНУ ФИЦВиМ); Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (ННИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ), г. Нижний Новгород, Россия

² ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»), г. Владимир, Россия

РЕЗЮМЕ

Африканская чума свиней является трансграничной болезнью всех представителей семейства *Suidae*, приносящей экономический ущерб свиноводческой отрасли и экологии кабана как вида. Эпизоотология африканской чумы свиней сложна и определяется механизмами передачи возбудителя в популяциях восприимчивых животных. Выбор мер борьбы и предупреждения распространения заболевания в популяции кабанов зависит в основном от путей заноса, стадии или фазы эпизоотического процесса. Предотвращение заноса вируса африканской чумы свиней из неблагополучного региона в благополучный является основой профилактики инфекции. В связи с этим целью исследований явился пространственно-временной анализ очагов африканской чумы свиней в популяции кабанов в Российской Федерации в 2007–2022 гг. и обозначение географических территорий, представляющих риск возникновения новых эпизоотий. Анализ проведен с помощью ретроспективной статистики пространственно-временного сканирования, которая не требует данных о численности популяции кабана и которую можно использовать для оценки возможного возникновения новых очагов африканской чумы свиней, когда доступны только данные о зарегистрированных случаях или очагах болезни. При выполнении пространственно-временного кластерного анализа было выявлено 24 кластера очагов африканской чумы свиней, зарегистрированных на основании лабораторно подтвержденных данных об инфицировании кабанов, найденных мертвыми, и 22 кластера – кабанов, добытых на охоте. Результаты проведенного анализа продемонстрировали пространственную неоднородность распределения кластеров очагов инфекции в популяции кабанов, павших от болезни, а также существенное расширение географического охвата территории вследствие применения пассивного мониторинга. Показана важность и необходимость проведения усиленного пассивного мониторинга африканской чумы свиней среди восприимчивых животных. Предлагаемый метод можно использовать для регулярного сканирования географического региона на вероятность формирования зон и территорий риска новых вспышек африканской чумы свиней в популяции дикого кабана на территориях различного пространственного масштаба.

Ключевые слова: африканская чума свиней, кластерный анализ, достоверность, кабан, мониторинг, относительный риск

Благодарность: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» FGNM-2021-0003.

Для цитирования: Захарова О. И., Блохин А. А., Бузова О. А., Яшин И. В., Коренной Ф. И. Пространственно-временной анализ распространения африканской чумы свиней в популяции диких кабанов на территории Российской Федерации в 2007–2022 гг. *Ветеринария сегодня*. 2023; 12 (1): 57–65. DOI: 10.29326/2304-196X-2023-12-1-57-65.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Захарова Ольга Игоревна, научный сотрудник отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, ННИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ветеринарная, д. 3, e-mail: olenka.zakharova.1976@lst.ru.

Spatiotemporal analysis of African swine fever spread in wild boar population in Russian Federation, 2007–2022

O. I. Zakharova¹, A. A. Blokhin¹, O. A. Burova¹, I. V. Yashin¹, F. I. Korennoy²

¹ Federal Research Center for Virology and Microbiology (FRCVM); Nizhny Novgorod Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology (NNRVI – Branch of the FRCVM), Nizhny Novgorod, Russia

² FGBI “Federal Centre for Animal Health” (FGBI “ARRIAH”), Vladimir, Russia

SUMMARY

African swine fever is a transboundary disease of all members of *Suidae* family and it causes economic damage to the pig industry and ecology of wild boar as a species. The ASF epidemiology is complex and it is specified by the mechanisms of the agent's transmission in susceptible animal populations. Choice of measures aimed to control and prevent the disease spread in the wild boar population depends mainly on the routes of the disease introduction and stage or phase of the epizootic process. Prevention of the ASFV introduction from an infected region to a free one is the backbone in the infection prevention. Therefore, the research

© Захарова О. И., Блохин А. А., Бузова О. А., Яшин И. В., Коренной Ф. И., 2023

was aimed at the spatiotemporal analysis of African swine fever outbreaks in the wild boar population in the Russian Federation in 2007–2022 and identification of geographical areas that pose risk of new disease epidemics. The analysis was performed using retrospective space-time scan statistics, which does not require data on the wild boar population and which can be used for the assessment of the possibility of new ASF outbreak occurrence upon availability of just data on the reported disease cases and outbreaks. As a result of spatiotemporal cluster analysis, 24 clusters of ASF outbreaks were identified based on the laboratory-confirmed data on the infection in boars found dead, and 22 clusters in hunted wild boars. The analysis results demonstrated spatial heterogeneity of the outbreak cluster distribution in population of wild boars died of the disease and a significant expansion of the passive surveillance geography. Importance and necessity of the enhanced passive surveillance of African swine fever in susceptible animals is demonstrated. The proposed method can be used for regular scanning of a geographic region for the presence of developing zones and areas at risk of re-emerging ASF outbreaks in the wild boar population at different spatial scales.

Keywords: African swine fever, cluster analysis, confidence, wild boar, surveillance, relative risk

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 FGNM-2021-0003.

For citations: Zakharova O. I., Blokhin A. A., Burova O. A., Yashin I. V., Korennoy F. I. Spatiotemporal analysis of African swine fever spread in wild boar population in Russian Federation, 2007–2022. *Veterinary Science Today*. 2023; 12 (1): 57–65. DOI: 10.29326/2304-196X-2023-12-1-57-65.

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

For correspondence: Olga I. Zakharova, Researcher, Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, NNRVI – Branch of the FRCVM, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, ul. Veterinarnaya, 3, e-mail: olenka.zakharova.1976@list.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Африканская чума свиней (АЧС) – вирусная контагиозная болезнь, поражающая домашних свиней и диких кабанов, приносящая значительный ущерб свиноводческой отрасли и экологии вида в целом. Эпизоотология АЧС сложна и определяется механизмами передачи ее возбудителя в популяциях восприимчивых животных [1–3]. В отличие от успешной борьбы с АЧС у домашних свиней, которая достигается путем одноmomentной (stamping out) выбраковки всего поголовья фермы, последующей очистки и дезинфекции контаминированных помещений, ликвидация болезни в популяции диких кабанов является сложной задачей [4]. Не существует стандартной стратегии контроля за эпизоотическим процессом, которую можно было бы применить на всех неблагополучных по АЧС территориях, из-за разных географических и региональных особенностей среды обитания популяций диких кабанов [5, 6]. Меры по предупреждению заноса вируса АЧС из неблагополучного региона в благополучный являются предпочтительным вариантом стандартных мер профилактики [7, 8].

Роль дикого кабана и плотности его популяции как фактора распространения вируса АЧС является во многом спорной и вызывает много дискуссий в научном мире. Взгляды многих ученых и международных экспертов сходятся в одном: такая предупредительная мера, как сокращение численности диких кабанов, снижает риск заноса и распространения вируса АЧС как на территории очага, так и в зоне наблюдения [7, 9].

Исследования по изучению распространения АЧС в популяции диких кабанов в странах Восточной Европы показали, что болезнь может сохраняться даже при очень низком уровне превалентности и плотности популяции диких животных, если не проводится своевременная элиминация инфицированных трупов животных и их останков [10–12].

Выбор мер борьбы и предупреждения распространения АЧС в популяции кабанов зависит в основном от путей заноса, стадии или фазы развития эпизоотического процесса. Также немаловажным фактором в выборе предупредительных мер при АЧС является статус территории, то есть состояние, фиксируемое в момент регистрации очага: благополучная, ранее неблагополучная, не прилегающая к очагу территория – зона наблюдения. Раннее обнаружение инфицированных особей кабанов является важным звеном в стратегии по борьбе с данной инфекцией [13].

Методы обнаружения мест повышенной концентрации (кластеров) очагов болезней играют значимую роль в современных эпидемиологических и эпизоотологических исследованиях, а также в практике как общественного здравоохранения, так и профилактической ветеринарной медицины. Их использование позволяет выявить возможные этиологические и патогенетические причины возникающих эпидемий и эпизоотий, а также выбрать основные пути решения для ликвидации инфекций [14].

Временная, пространственная и пространственно-временная статистика сканирования [15–21] в настоящее время широко используется для определения и оценки кластеров различных болезней, включая как инфекции людей и животных, так и незаразную патологию [18, 19].

Большинство аналитических методов в эпизоотологии, используемых для раннего выявления случаев болезней животных, носят чисто временной характер. Эти методы полезны для фиксации очагов, которые одновременно охватывают все участки региона, за которыми ведется наблюдение, но могут запаздывать при возникновении локальных эпизоотий, которые ограничиваются определенной географической областью. Хотя чисто временные методы могут использоваться параллельно для всех перекрывающихся частей территории региона различной площади, чтобы охватить

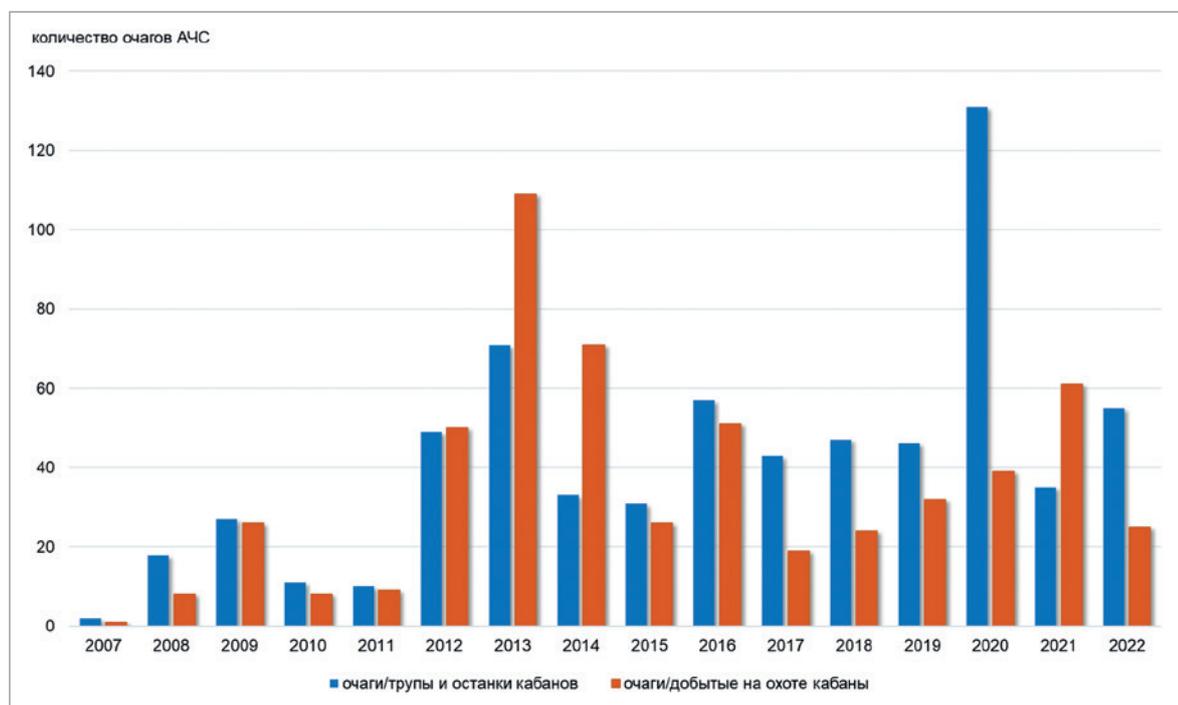


Рис. 1. Динамика регистрации очагов АЧС в популяции дикого кабана (трупы и останки – $N = 592$; добытые на охоте – $N = 562$)

Fig. 1. History of ASF outbreaks reported in the wild boar population (dead animals and remnants thereof – $N = 592$; hunted animals – $N = 562$)

все возможные случаи, формирующие очаги болезней. Но такой подход приводит к серьезной проблеме, поскольку предполагает многократное лабораторное тестирование, которое дает гораздо больше ложных результатов, чем может показать номинальный уровень статистической значимости [22, 23].

В этой работе представлена ретроспективная статистика пространственно-временного сканирования, которая не требует данных о численности популяции кабана на территориях, подверженных риску возникновения АЧС, и которую можно использовать при наличии только информации о зарегистрированных, выявленных при исследовании биоматериала от найденных трупов (или останков) и добытых в результате охоты животных. Этот метод можно применять для регулярного сканирования географического региона различного пространственного масштаба с целью определения зон и территорий риска по АЧС в популяции дикого кабана. Для каждого региона данный метод рассматривает потенциальные однодневные, а также периодически регистрирующиеся очаги болезни, чтобы можно было обнаруживать быстро распространяющуюся эпизоотию [20–23]. Поэтому целью исследований было проведение пространственно-временного анализа очагов АЧС и определение тенденции распространения инфекции в популяции диких кабанов на территории неблагоприятных субъектов Российской Федерации с возможным обозначением географических территорий, представляющих риск для возникновения локальных эпизоотий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Собственные исследования включали ретроспективный анализ данных о зарегистрированных очагах АЧС в популяции дикого кабана, которые были взяты

из официальной отчетности ФГБУ «Центр ветеринарии» (г. Москва)¹. Под очагом понимаем территорию, в пределах которой обнаружены инфицированные вирусом АЧС дикие кабаны, обозначенную географическими координатами и официально нотифицированную ветеринарной службой субъекта. В свою очередь, отдельное животное (либо туша) рассматривается как случай². Информация по зарегистрированным очагам АЧС среди кабанов, выявленным как в результате пассивного мониторинга, так и охоты, охватывала период с 2007 по 2022 г.

Пространственно-временной анализ проводили исходя из общего количества очагов АЧС среди диких кабанов в разрезе неблагоприятных субъектов Российской Федерации. Основой кластерного анализа является пространственно-временная статистика сканирования Куллдорфа [24]. Данный метод позволяет идентифицировать кластеры изучаемой географической области, где очаги АЧС (или иной исследуемый феномен) были сгруппированы более плотно, чем можно было бы ожидать согласно нулевой гипотезе, предполагающей их случайное распределение. В анализе используется цилиндрическое движущееся окно сканирования, где вертикальное измерение представляет время. В качестве входных данных исследуются точечные объекты – очаги АЧС, к каждому из которых привязана информация о количестве случаев.

Результатом пространственно-временного кластерного анализа являются кольцевые области (кластеры),

¹ ФГБУ «Центр ветеринарии». Эпизоотическая обстановка. Режим доступа: <https://xn----8sbfkavba6bf4aedue4d.xn--p1ai/o-nas/informatsiya/epizooticheskaya-obstanovka> (дата обращения: 23.01.2023).

² WOAH. Terrestrial Animal Health Code. Режим доступа: <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access> (дата обращения: 26.01.2023).

Таблица 1

Характеристика кластеров очагов АЧС, зарегистрированных в популяции кабанов, найденных мертвыми в субъектах Российской Федерации, 2007–2022 гг.

Table 1

Characteristics of ASF outbreak clusters in wild boars found dead in the Subjects of the Russian Federation, 2007–2022

Номер кластера	Радиус кластера, км	Наблюдаемое число очагов АЧС	Ожидаемое число очагов АЧС	ODE	Дата начала кластера	Дата конца кластера	Продолжительность кластера, дней	P-value
1	157,88	34	2,9	11,72	02.08.2015	23.07.2016	356	< 0,001
2	82,22	35	3,3	10,60	04.02.2018	25.05.2019	414	< 0,001
3	121,25	45	6,5	6,92	23.02.2020	24.10.2020	244	< 0,001
4	142,14	24	1,36	17,64	04.11.2007	10.10.2009	706	< 0,001
5	158,22	15	0,53	28,30	26.06.2011	04.08.2012	405	< 0,001
6	158,96	32	5,57	5,75	29.04.2012	06.12.2014	951	< 0,001
7	146,71	16	1,02	15,69	16.07.2017	18.11.2017	125	< 0,001
8	68,97	21	2,2	9,55	18.08.2019	22.02.2020	188	< 0,001
9	126,48	11	0,46	23,91	22.11.2009	21.08.2010	272	< 0,001
10	145,87	9	0,23	39,13	26.09.2021	22.01.2022	118	< 0,001
11	40,09	8	0,15	53,33	21.12.2014	28.03.2015	97	< 0,001
12	118,03	12	0,88	13,64	29.07.2018	28.09.2019	426	< 0,001
13	90,69	13	1,17	11,11	25.10.2020	03.04.2021	160	< 0,001
14	88,42	6	0,09	66,67	07.06.2020	25.07.2020	48	< 0,001
15	114,54	12	1,06	11,32	07.07.2013	31.08.2013	55	< 0,001
16	127,17	5	0,05	100,00	17.07.2022	23.07.2022	6	< 0,001
17	99,65	9	0,5	18,00	29.10.2017	07.07.2018	251	< 0,001
18	105,43	8	0,35	22,86	25.10.2020	12.12.2020	48	< 0,001
19	9,86	5	0,06	83,33	29.06.2014	19.07.2014	20	< 0,001
20	79,69	7	0,35	20,00	29.09.2019	28.12.2019	90	< 0,001
21	68,13	5	0,11	45,45	24.11.2013	08.03.2014	104	< 0,001
22	2,11	3	0,02	150,00	07.01.2018	13.01.2018	6	< 0,001
23	21,14	5	0,15	33,33	28.08.2016	10.12.2016	104	< 0,001
24	159,34	12	1,97	6,09	13.09.2020	05.02.2022	510	< 0,001

ODE – отношение наблюдаемого количества к ожидаемому числу очагов АЧС внутри кластера при условии соответствия распределения нулевой гипотезе, то есть значение показателя определяет относительный риск возникновения новых очагов внутри кластера.

ODE – observed/expected (this is the ratio of the observed number to the expected number of ASF outbreaks within the cluster, given that the distribution is consistent with the null hypothesis, i.e. the value of the indicator determines the relative risk of new outbreaks within the cluster).

в пределах которых обнаружена повышенная (по сравнению с гипотетическим случайным распределением) концентрация очагов АЧС. Дополнительными характеристиками кластеров являются: радиус, дата начала и конца, продолжительность, статистическая значимость (*p*-value), отношение наблюдаемого количества очагов к ожидаемому внутри кластеров (ODE). Последнюю характеристику можно рассматривать как относительный риск возникновения очагов внутри кластера по сравнению с зарегистрированными очагами за его пределами. Для кластерного анализа использовали программу SaTScan v8.0³, для картографической визуализации полученных результатов применяли ArcMap 10.8.1 (Esri, США).

³ SaTScan™ v8.0: Software for the spatial and space-time scan statistics. 2009. Режим доступа: <https://www.satscan.org> (дата обращения: 23.01.2023).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ретроспективный анализ очагов АЧС в популяции дикого кабана в Российской Федерации в 2007–2022 гг. В настоящее время распространение АЧС среди популяции диких кабанов в регионах России происходит на небольших по площади территориях, таких как охотхозяйства, с сохранением стационарного потенциала болезни и формированием локальной энзоотичности. Энзоотический процесс в очагах АЧС, установленных на основании результатов лабораторных исследований материала, отобранного от найденных трупов и добытых на охоте кабанов в неблагополучных субъектах Российской Федерации, характеризуется спорадическими вспышками, локализованными на одних и тех же географических территориях. Динамика регистрации очагов АЧС в популяции дикого кабана представлена на рисунке 1.

Как видим, наблюдается положительная тенденция выявления инфекции как среди найденных мертвых

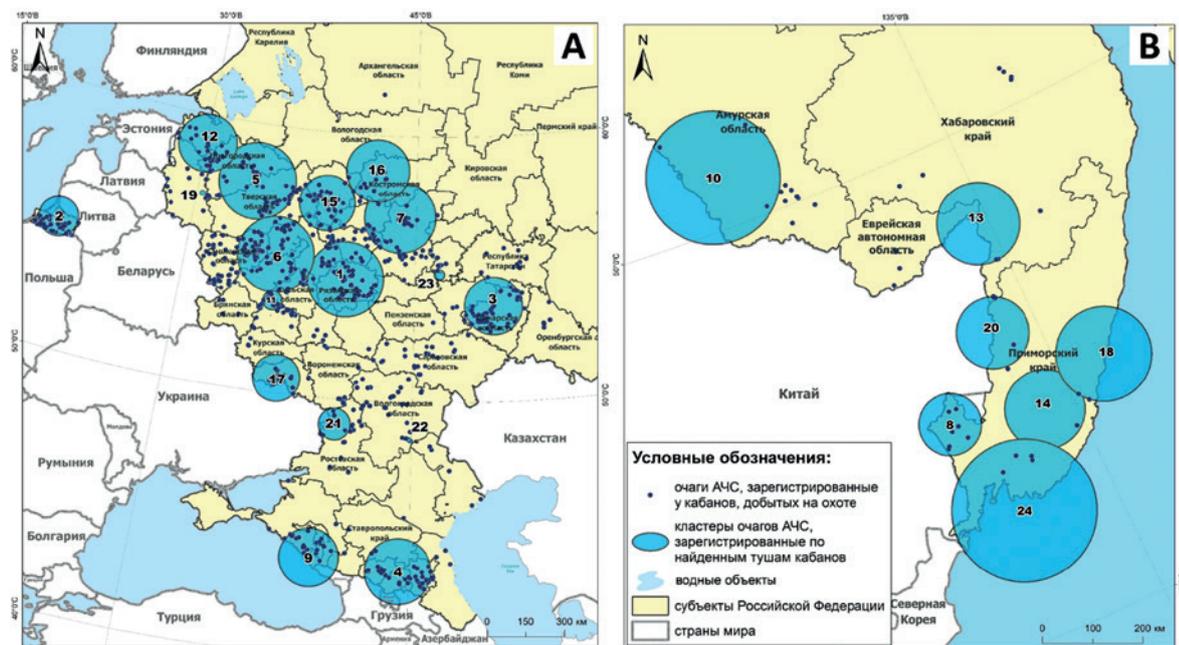


Рис. 2. Кластеры выявленных очагов АЧС, зарегистрированных в популяции диких кабанов (найденных мертвыми) в неблагоприятных субъектах Российской Федерации: А – европейская часть; В – Дальний Восток (2007–2022 гг.)

Fig. 2. Clusters of detected ASF outbreaks reported in the wild boar population (found dead) in the ASF-infected regions of the Russian Federation: A – European part; B – Far East (2007–2022)

кабанов, так и особей, убитых на охоте. Такая тенденция, вероятно, обусловлена увеличением числа проследованных животных и улучшением организационно-ветеринарной деятельности по надзору в субъектах Российской Федерации⁴. Несмотря на это, существуют различия в количестве выявленных очагов АЧС среди кабанов, найденных мертвыми (51,3% от общего числа зарегистрированных), и диких свиней, убитых на охоте (48,7%).

Пространственно-временной анализ очагов АЧС в популяции дикого кабана на территории субъектов Российской Федерации в 2007–2022 гг. В результате кластерного анализа очагов АЧС, зарегистрированных в популяции диких кабанов, найденных мертвыми в неблагоприятных субъектах РФ в период с 2007 по 2022 г., было обнаружено 24 достоверных кластера. Основные характеристики кластеров, полученные с помощью программы SaTScan, представлены в таблице 1.

Как видно из рисунка 2А, основное распределение кластеров очагов АЧС, выявленных по результатам исследования материала от трупов кабанов, отмечалось в центре европейской части России. Данные кластеры расположены в центральных и северо-западных субъектах европейской части РФ. На территории Дальнего Востока (рис. 2В) длительное неблагополучие и регистрация очагов АЧС обусловлены тем, что на некоторых участках Приморского края и близлежащих регионов в настоящее время еще сохраняется достаточно высокая плотность популяции дикого кабана (более 1 особи на 1000 га)⁵.

⁴ ФГБУ «Центр ветеринарии». Эпизоотическая обстановка. Режим доступа: <https://xn----8sbfkcvba6bf4aedue4d.xn--p1ai/o-nas/informatsiya/epizooticheskaya-obstanovka> (дата обращения: 23.01.2023).

⁵ ФГБУ «ФНИЦ Охота». Состояние охотничьих ресурсов. Режим доступа: <http://www.ohotcontrol.ru/resource> (дата обращения: 23.01.2023).

Проведенный пространственно-временной анализ показал, что наибольшую вероятность регистрации очагов АЧС в популяции диких кабанов, представляющих относительный риск распространения инфекции, представляют географические территории в следующих кластерах (табл. 1): № 11 (ODE = 53,3), № 14 (ODE = 65,67), № 16 (ODE = 100,00), № 19 (ODE = 83,33), № 22 (ODE = 150,00). Наиболее длительными по продолжительности неблагополучия по АЧС отмечены кластеры № 2, 4, 6, 12, 24, на территории которых может происходить персистенция вируса в результате сохранения его в окружающей среде.

Пространственно-временной анализ очагов АЧС, зарегистрированных с 2007 по 2022 г. в результате детекции возбудителя или антител к вирусу АЧС у добытых на охоте кабанов, выявил 22 достоверных кластера. Основные их характеристики приведены в таблице 2. По результатам данного анализа было определено, что наибольшую вероятность возникновения новых эпизоотий АЧС (относительный риск) представляют географические территории в следующих кластерах: № 9 (ODE = 66,67), № 11 (ODE = 71,43), № 13 (ODE = 35,29), № 16 (ODE = 50,00), № 20 (ODE = 150,00), № 21 (ODE = 57,14). Наиболее длительными по сохранению неблагополучия по АЧС являются кластеры № 4, 5, 10, 12, 14, 18, в радиусе которых в результате были сформированы локальные энзоотичные территории в субъектах Дальнего Востока, Поволжья и центра европейской части РФ (рис. 3А и 3В).

В результате анализа кластеров очагов АЧС в популяции кабанов прослеживается устойчивая тенденция их распространения в пространстве и времени: начало эпизоотии наблюдалось на территориях Северо-Кавказского и Южного федеральных округов (южная зона) – кластеры № 4, 8, 11. В дальнейшем было отмечено смещение кластеров в центральные и северные

Таблица 2

Характеристика кластеров очагов АЧС, зарегистрированных в популяции кабанов, добытых на охоте в неблагополучных регионах Российской Федерации, 2007–2022 гг.

Table 2

Characteristics of spatiotemporal ASF outbreak clusters reported in wild boars hunted in the infected regions of the Russian Federation, 2007–2022

Номер кластера	Радиус кластера, км	Наблюдаемое число очагов АЧС	Ожидаемое число очагов АЧС	ODE	Дата начала кластера	Дата конца кластера	Продолжительность кластера, дней	P-value
1	151,99	79	16,80	4,70	15.09.2013	24.05.2014	251	< 0,001
2	147,60	38	3,65	10,40	16.08.2015	30.07.2016	349	< 0,001
3	153,10	28	2,22	12,61	01.07.2012	23.03.2013	265	< 0,001
4	152,56	24	1,44	16,67	18.11.2007	02.01.2010	776	< 0,001
5	80,57	19	1,44	13,19	05.11.2017	18.05.2019	559	< 0,001
6	158,84	11	0,40	27,50	26.09.2021	30.10.2021	34	< 0,001
7	66,25	12	0,69	17,39	22.10.2017	28.04.2018	188	< 0,001
8	158,69	9	0,37	24,32	07.03.2010	19.02.2011	349	< 0,001
9	24,84	6	0,09	66,67	04.01.2015	07.02.2015	34	< 0,001
10	145,18	11	0,74	14,86	14.11.2021	19.11.2022	370	< 0,001
11	18,83	5	0,07	71,43	09.06.2013	22.06.2013	13	< 0,001
12	158,04	10	0,85	11,76	02.02.2020	20.02.2021	384	< 0,001
13	42,11	6	0,17	35,29	14.07.2019	19.10.2019	97	< 0,001
14	119,05	13	1,67	7,78	30.06.2019	02.01.2021	552	< 0,001
15	18,06	6	0,20	30,00	31.03.2013	20.07.2013	111	< 0,001
16	119,70	5	0,10	50,00	17.01.2021	04.03.2021	76	< 0,001
17	84,63	6	0,21	28,57	17.09.2017	16.12.2017	90	< 0,001
18	141,01	6	0,23	26,09	17.01.2010	12.02.2011	391	< 0,001
19	155,43	6	0,29	20,69	27.10.2019	18.01.2020	83	< 0,001
20	42,10	3	0,02	150,00	24.11.2019	30.11.2019	6	< 0,001
21	144,23	4	0,07	57,14	12.01.2020	07.03.2020	55	< 0,001
22	153,55	5	0,18	27,78	14.08.2016	12.11.2016	90	< 0,001

ODE – отношение наблюдаемого количества к ожидаемому числу очагов АЧС внутри кластера при условии соответствия распределения нулевой гипотезе, то есть значение показателя определяет относительный риск возникновения новых очагов внутри кластера.

ODE – observed/expected (this is the ratio of the observed number to the expected number of ASF outbreaks within the cluster, given that the distribution is consistent with the null hypothesis, i.e. the value of the indicator determines the relative risk of new outbreaks within the cluster).

области Российской Федерации – кластеры № 5, 10, 15, 17, 19, 22, 23, территории которых характеризуются более высокой плотностью популяции животных. В последние годы эпизоотия АЧС значительно расширила свои границы вплоть до Дальнего Востока, на территории которого за период с 2019 по 2022 г. было зарегистрировано значительное количество очагов АЧС среди кабанов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Популяция диких кабанов играет немаловажную роль в эпизоотическом цикле АЧС как с точки зрения внутрипопуляционного распространения вируса, так и потенциально в его передаче домашним животным. Эпизоотологический надзор при АЧС у диких кабанов осуществляется путем тестирования всех особей, найденных большими или мертвыми, на наличие генома возбудителя или антител к вирусу АЧС в результате пассивного мониторинга либо тестированием всех добытых диких кабанов, то есть пойманных ловушками или загоном, а также отстрелянных в результате охоты или регулирования численности – активный мониторинг [2].

Информация, собранная Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (EFSA) из стран Балтии и Польши, указывает на то, что пассивный надзор обеспечивает более высокую вероятность раннего выявления АЧС. По данным многих зарубежных исследователей, большинство первичных случаев возникновения АЧС среди диких кабанов были зарегистрированы при пассивном наблюдении [25–27].

Исследования по распространению АЧС в странах Восточной Европы показали, что болезнь может сохраняться при очень низкой превалентности среди восприимчивых животных, даже когда плотность популяции диких кабанов поддерживается на низком уровне благодаря интенсивной охоте. Однако, поскольку АЧС в популяции дикого кабана для многих стран Европы в настоящее время стала энзоотичной, вопрос о том, какой вид мониторинга (пассивный или активный) наиболее эффективен в целях обнаружения вируса при условии снижения процента распространенности и низкой плотности популяции, остается открытым. Особенно это важно, учитывая, что большинство стран, в том числе и Российская Федерация, пытаются ликвидиро-

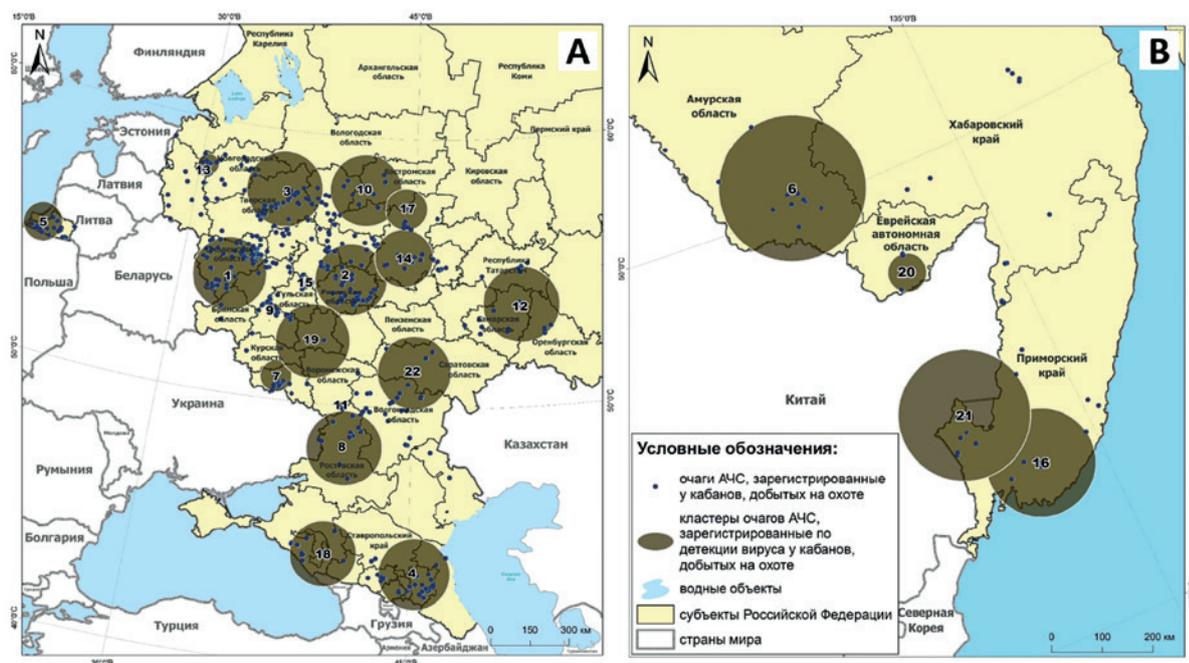


Рис. 3. Кластеры выявленных очагов АЧС, зарегистрированных в популяции диких кабанов (добытых на охоте) в неблагополучных регионах Российской Федерации: А – европейская часть; В – Дальний Восток (2007–2022 гг.)

Fig. 3. Clusters of detected ASF outbreaks reported in the wild boar population (hunted animals) in the ASF-infected regions of the Russian Federation: A – European part; B – Far East (2007–2022)

вать АЧС посредством прогрессивного управления популяцией, направленного на сокращение численности кабана [28, 29]. Даже при очень низкой плотности популяции существует окно неопределенности, когда АЧС все еще присутствует среди животных, но практически не обнаруживается, что усложняет любое дальнейшее управление, включая возможную стратегию искоренения болезни [30].

Учеными многих стран было высказано предположение, что инфекции животных, имеющие высокий процент летальных исходов, например такие, как АЧС, ведут к самоограничивающимся эпизоотиям, в результате которых происходит быстрое сокращение численности восприимчивой популяции за счет массовой гибели животных [31]. Чем стремительнее происходит распространение АЧС, тем быстрее это приводит к сокращению популяции дикого кабана. Если такая инфицированная популяция одновременно подвергается отстрелу в санитарных или рекреационных целях, то сокращение численности диких кабанов идет максимально быстро. В результате снижения численности животных число межвидовых контактов также уменьшается, и эпизоотия переходит в энзоотию. Зачастую на уровне охотничьего хозяйства исчезновение вируса АЧС становится очевидным. Но его повторное появление в течение нескольких месяцев после условного затишья является обычным явлением. Таким образом, эпизоотологический цикл АЧС у дикого кабана характеризуется сочетанием локальной энзоотичности с одновременным устойчивым географическим распространением в благополучные от болезни районы [6, 29, 32].

Интенсификация прямой передачи может также происходить эпизодически, после периода размножения животных, когда размер популяции животных удваивается, а подрастающие особи (2–6 месяцев) исследу-

ют среду обитания, увеличивая межвидовые контакты, а также при перегруппировке или скоплении животных на кормовых площадках [33–35].

В результате анализа литературных данных и собственных исследований всех зарегистрированных очагов инфекции был сделан вывод, что пассивный мониторинг обеспечивает большее количество выявленных АЧС, чем активный, а усилия по поиску останков трупов являются единственным параметром, который пропорционально увеличивает вероятность обнаружения инфицированных кабанов [34, 36]. Поэтому основные действия по предотвращению дальнейшего распространения АЧС в дикой фауне должны быть направлены на активный поиск мертвых животных и оповещение соответствующих ветеринарных органов, что имеет решающее значение для понимания эпизоотологической ситуации на любой из различных фаз эпизоотии АЧС, независимо от значений плотности популяции диких кабанов [37].

Кластеры очагов АЧС, обнаруженных при тестировании убитых на охоте кабанов, территориально расположены между собой преимущественно дискретно в виде неперекрывающихся географических локаций (рис. 3А и 3В), что говорит о равномерном распределении зарегистрированных очагов болезни, которые, предположительно, связаны с квотированием добычи животных.

Квоту добычи кабана рассчитывают на основании плотности и итоговой численности животных в соответствии с утвержденными нормативами допустимого изъятия и сопоставляют ее с указанной в заявке, представленной охотпользователями. Поэтому данные о возможной численности кабана или поддерживаются на постоянном уровне с целью сохранения и регулирования численности животных, или завышаются в интересах охотпользователей за счет увеличения числа запланированных квот.

Кластеры, сформированные очагами АЧС, установленными в результате исследования биоматериала от найденных мертвых животных (рис. 2А и 2В), в целом не совпадают с кластерами очагов, выявленных при тестировании добытых на охоте диких кабанов, что может свидетельствовать о циркуляции вируса АЧС на территориях, не охваченных охотой. Также это может говорить о ненаправлении всех проб от отстрелянных животных для лабораторных исследований, позднему обнаружению трупов кабанов и несвоевременной их утилизации владельцами/арендаторами охотугодий без проведения лабораторных исследований.

По данным ФГБУ «Центр ветеринарии» о числе зарегистрированных очагов АЧС, большинство павших от АЧС кабанов были найдены в летне-осенний период. По-видимому, данный факт можно связать с активной хозяйственной деятельностью человека, включая охоту. Пространственное и временное несовпадение кластеров, сформированных очагами АЧС в популяции кабанов, как павших от болезни, так и отстрелянных, может свидетельствовать об эффективности мер пассивного мониторинга, позволяющего выявлять существенно больше инфицированных животных и таким образом расширять географию территорий обнаружения АЧС.

Выявленные в результате пространственно-временного анализа непродолжительные кластеры очагов АЧС, зарегистрированных по найденным мертвым животным, указывают на сохранение в настоящее время возбудителя инфекции в популяции диких кабанов на территориях большинства неблагоприятных субъектов Российской Федерации. При этом относительный риск регистрации новых очагов АЧС внутри короткопериодных кластеров намного выше, чем у долговременных, предположительно, связанных с такими основными факторами риска распространения вируса АЧС, как хозяйственная деятельность человека, перемещение или миграция диких кабанов, а также низкий уровень биобезопасности на охоте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывают исследования, при ликвидации АЧС в дикой фауне на территории, длительно неблагоприятной по заболеванию, меры по предотвращению распространения болезни среди восприимчивых животных должны быть направлены на активный поиск, обнаружение и безопасное удаление (утилизацию) трупов (или останков) кабанов. Также следует осведомлять потенциально заинтересованные стороны (охотников, фермеров, ветеринарных специалистов) о важности данных мероприятий. Более того, необходимо последовательно сокращать численность кабана. С помощью пространственно-временного кластерного анализа выявлены локальные эпизоотии, изучены особенности их формирования с точки зрения распределения на группы очагов АЧС, зарегистрированных на основании диагностических исследований биоматериала от найденных трупов кабанов или их останков, а также особей, добытых на охоте. Знание выявленных тенденций и закономерностей распространения АЧС в популяции кабана дает возможность для совершенствования проводимых мероприятий в пределах территориальных границ зоны риска распространения и возникновения эпизоотий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- De la Torre A., Bosch J., Sánchez-Vizcaino J. M., Ito S., Muñoz C., Iglesias I., Martínez-Avilés M. African swine fever survey in a European context. *Pathogens*. 2022; 11 (2):137. DOI: 10.3390/pathogens11020137.
- EFSA, Baños J. V., Boklund A., Gogin A., Gortázar Ch., Guberti V., et al. Epidemiological analyses of African swine fever in the European Union (September 2020 to August 2021). *EFSA J.* 2022; 20 (5):e07290. DOI: 10.2903/j.efsa.2022.7290.
- Sauter-Louis C., Conraths F. J., Probst C., Blohm U., Schulz K., Sehl J., et al. African swine fever in wild boar in Europe – a review. *Viruses*. 2021; 13 (9):1717. DOI: 10.3390/v13091717.
- Dixon L. K., Stahl K., Jori F., Vial L., Pfeiffer D. U. African swine fever epidemiology and control. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2020; 8: 221–246. DOI: 10.1146/annurev-animal-021419-083741.
- 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. *Ecol. Evol.* 2020; 10 (6): 2846–2859. DOI: 10.1002/ece3.6100.
- Arzumanyan H., Hakobyan S., Avagyan H., Izmailyan N., Nersisyan N., Karalyan Z. Possibility of long-term survival of African swine fever virus in natural conditions. *Vet. World*. 2021; 14 (4): 854–859. DOI: 10.14202/vet-world.2021.854-859.
- 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 (Basel)*. 2021; 11 (9):2692. DOI: 10.3390/ani11092692.
- Guinat C., Vergne T., Jurado-Diaz C., Sánchez-Vizcaino J. M., Dixon L., Pfeiffer D. U. Effectiveness and practicality of control strategies for African swine fever: what do we really know? *Vet. Rec.* 2017; 180 (4):97. DOI: 10.1136/vr.103992.
- Jori F., Bastos A. D. Role of wild suids in the epidemiology of African swine fever. *Ecohealth*. 2009; 6 (2): 296–310. DOI: 10.1007/s10393-009-0248-7.
- Jori F., Chenais E., Boinas F., Busauskas P., Dhollander S., Fleischmann L., et al. Application of the World Café method to discuss the efficiency of African swine fever control strategies in European wild boar (*Sus scrofa*) populations. *Prev. Vet. Med.* 2020; 185:105178. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.105178.
- Probst C., Globig A., Knoll B., Conraths F. J., Depner K. Behaviour of free ranging wild boar towards their dead fellows: potential implications for the transmission of African swine fever. *R. Soc. Open Sci.* 2017; 4 (5):170054. DOI: 10.1098/rsos.170054.
- Masiulis M., Bušauskas P., Jonušaitis V., Pridotkas G. Potential role of domestic pig carcasses disposed in the forest for the transmission of African swine fever. *Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr.* 2018; 131. DOI: 10.2376/0005-9366-18014.
- Guberti V., Khomenko S., Masiulis M., Kerba S. African swine fever in wild boar ecology and biosecurity. *FAO Animal Production and Health Manual No. 22*. Rome: FAO, OIE and EC; 2019. 96 p. DOI: 10.4060/CA5987EN.
- Mushagalusa C. A., Penrith M. L., Etter E. M. C. Spatiotemporal analysis of African swine fever outbreaks on South African smallholder farms, 1993–2018. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 2022; 93 (2): 82–88. DOI: 10.36303/JSAVA.161.
- Mogano K., Suzuki T., Mohale D., Phahladira B., Ngoepe E., Kamata Y., et al. Spatio-temporal epidemiology of animal and human rabies in northern South Africa between 1998 and 2017. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2022; 16 (7):e0010464. DOI: 10.1371/journal.pntd.0010464.
- Lu X., Ward M. P. Spatiotemporal analysis of reported classical swine fever outbreaks in China (2005–2018) and the influence of weather. *Transbound. Emerg. Dis.* 2022; 69 (5):e3183–e3195. DOI: 10.1111/tbed.14452.
- González Gordon L., Porphyre T., Muhanguzi D., Muwonge A., Boden L., Bronsvort B. M. C. A scoping review of foot-and-mouth disease risk, based on spatial and spatio-temporal analysis of outbreaks in endemic settings. *Transbound. Emerg. Dis.* 2022; 69 (6): 3198–3215. DOI: 10.1111/tbed.14769.
- Gayawan E., Lima E. E. C. A spatio-temporal analysis of cause-specific mortality in São Paulo State, Brazil. *Cien. Saude Colet.* 2022; 27 (1): 287–298. DOI: 10.1590/1413-81232022271.32472020.
- Wang Z., Dong W., Yang K. Spatiotemporal analysis and risk assessment model research of diabetes among people over 45 years old in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022; 19 (16):9861. DOI: 10.3390/ijerph19169861.
- Kulldorff M. Aspatial scan statistic. *Communications in Statistics – Theory and Methods*. 1997; 26 (6): 1481–1496. DOI: 10.1080/03610929708831995.
- Kulldorff M., Heffernan R., Hartman J., Assunção R., Mostashari F. A space-time permutation scan statistic for disease outbreak detection. *PLoS Med.* 2005; 2 (3):e59. DOI: 10.1371/journal.pmed.0020059.
- Kulldorff M. Prospective time periodic geographical disease surveillance using a scan statistic. *J. R. Stat. Soc. Ser. A.* 2001; 164 (1): 61–72. DOI: 10.1111/1467-985X.00186.
- Nobre F. F., Stroup D. F. A monitoring system to detect changes in public health surveillance data. *Int. J. Epidemiol.* 1994; 23 (2): 408–418. DOI: 10.1093/ije/23.2.408.

24. SaTScan™. Software for the spatial and space-time scan statistics. Режим доступа: <https://www.satscan.org>.
25. 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 J.* 2018; 16 (11):e05494. DOI: 10.2903/j.efs.2018.5494.
26. Lange M., Guberti V., Thulke H.-H. Understanding ASF spread and emergency control concepts in wild boar populations using individual-based modelling and spatio-temporal surveillance data. *EFSA supp. publ.* 2018; 15 (11):EN-1521. 46 p. DOI: 10.2903/sp.efs.2018.EN-1521.
27. Lange M., Reichold A., Thulke H.-H. Modelling advanced knowledge of African swine fever, resulting surveillance patterns at the population level and impact on reliable exit strategy definition. *EFSA supp. publ.* 2021; 18 (3):EN-6429. 61 p. DOI: 10.2903/sp.efs.2021.EN-6429.
28. 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 (Basel)*. 2021; 11 (5):1208. DOI: 10.3390/ani11051208.
29. Gervasi V., Marcon A., Bellini S., Guberti V. Evaluation of the efficiency of active and passive surveillance in the detection of African swine fever in wild boar. *Vet. Sci.* 2019; 7 (1):5. DOI: 10.3390/vetsci7010005.
30. Mazur-Panasiuk N., Żmudzki J., Woźniakowski G. African swine fever virus – persistence in different environmental conditions and the possibility of its indirect transmission. *J. Vet. Res.* 2019; 63 (3): 303–310. DOI: 10.2478/jvetres-2019-0058.
31. Fischer M., Hühr J., Blome S., Conraths F. J., Probst C. Stability of African swine fever virus in carcasses of domestic pigs and wild boar experimentally infected with the ASFV “Estonia 2014” isolate. *Viruses*. 2020; 12 (10):1118. DOI: 10.3390/v12101118.
32. Kramer-Schadt S., Fernández N., Eisinger D., Grimm V., Thulke H.-H. Individual variations in infectiousness explain long-term disease persistence in wildlife populations. *Oikos*. 2009; 118 (2): 199–208. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2008.16582.x.
33. O’Neil X., White A., Ruiz-Fons F., Gortázar C. Modelling the transmission and persistence of African swine fever in wild boar in contrasting European scenarios. *Sci. Rep.* 2020; 10 (1):5895. DOI: 10.1038/s41598-020-62736-y.
34. EFSA, Nielsen S. S., Alvarez J., Bicot D. J., Calistri P., Depner K., et al. ASF exit strategy: providing cumulative evidence of the absence of African swine fever virus circulation in wild boar populations using standard surveillance measures. *EFSA J.* 2021; 19 (3):e06419. DOI: 10.2903/j.efs.2021.6419.
35. Podgórski T., Śmietanka K. Do wild boar movements drive the spread of African swine fever? *Transbound. Emerg. Dis.* 2018; 65 (6): 1588–1596. DOI: 10.1111/tbed.12910.
36. Zani L., Masiulis M., Bušauskas P., Dietze K., Pridotkas G., Globig A., et al. African swine fever virus survival in buried wild boar carcasses. *Transbound. Emerg. Dis.* 2020; 67 (5): 2086–2092. DOI: 10.1111/tbed.13554.
37. Gervasi V., Guberti V. African swine fever endemic persistence in wild boar populations: key mechanisms explored through modelling. *Transbound. Emerg. Dis.* 2021; 68 (5): 2812–2825. DOI: 10.1111/tbed.14194.

Поступила в редакцию / Received 20.12.2022

Доработана после рецензирования / Revised 23.01.2023

Принята к публикации / Accepted 16.02.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Захарова Ольга Игоревна, научный сотрудник отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, ННИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Нижний Новгород, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-1408-2989>, e-mail: olenka.zakharova.1976@list.ru.

Блохин Андрей Александрович, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, ННИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Нижний Новгород, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-5161-1184>, e-mail: and.bloxin2010@yandex.ru.

Бурова Ольга Александровна, заместитель руководителя отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, ННИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Нижний Новгород, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-5396-0334>, e-mail: burovaolga@list.ru.

Яшин Иван Вячеславович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, ННИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Нижний Новгород, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-7359-2041>, e-mail: ivanyashin@yandex.ru.

Коренной Федор Игоревич, кандидат географических 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, Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, NNRVI – Branch of the FRCVM, Nizhny Novgorod, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-1408-2989>, e-mail: ozakharova@frcvim.ru.

Andrey A. Blokhin, Candidate of Science (Veterinary Medicine), Leading Researcher, Head of Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, NNRVI – Branch of the FRCVM, Nizhny Novgorod, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-5161-1184>, e-mail: and.bloxin2010@yandex.ru.

Olga A. Burova, Deputy Head of Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, NNRVI – Branch of the FRCVM, Nizhny Novgorod, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-5396-0334>, e-mail: burovaolga@list.ru.

Ivan V. Yashin, Candidate of Science (Biology), Leading Researcher, Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, NNRVI – Branch of the FRCVM, Nizhny Novgorod, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-7359-2041>, e-mail: ivanyashin@yandex.ru.

Fedor I. Korennoy, Candidate of Science (Geography), Senior Researcher, Information and Analysis Centre, FGBI “ARRIAH”, Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-7378-3531>, e-mail: korennoy@arriah.ru.