Check for updates

CC BY

https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-123-132
УДК 619:639.1.053:616-036.22:639.111.14:623.746.4-519:004.8

Интеграция применения дронов и искусственного интеллекта для обнаружения диких кабанов, туш и их останков в связи с африканской чумой свиней

Т. Ю. Беспалова, Е. В. Корогодина, Т. В. Михалева

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (ФГБНУ ФИЦВиМ); Самарский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ (СамНИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ), ул. Магнитогорская, 8, г. Самара, 443013, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Глобальное распространение африканской чумы свиней, смертельно опасного вирусного геморрагического заболевания домашних свиней и диких кабанов, диктует необходимость применения эффективных мер предупреждения и раннего выявления вспышек. Контроль численности популяции, а также поиск туш диких кабанов, погибших от африканской чумы свиней и являющихся источником передачи вируса, считаются приоритетными мерами в управлении заболеванием в дикой природе.

Цель исследования. Обобщение имеющихся в настоящее время знаний о передовых технологиях применения беспилотных летательных аппаратов (дронов) в условиях дикой природы в сочетании с методами искусственного интеллекта.

Материалы и методы. При выполнении работы применялись аналитические методы исследований с использованием баз данных PubMed, Springer, Wiley Online Library, Google Scholar, CrossRef, РИНЦ, eLIBRARY, CyberLeninka.

Результаты. В данном обзоре рассматривается возможность применения беспилотных летательных аппаратов (дронов) и искусственного интеллекта (нейронных сетей) для обнаружения диких кабанов и их останков в контексте борьбы с африканской чумой свиней. Подробно обсуждается роль диких кабанов в распространении заболевания и необходимость контроля их популяции, значение своевременного удаления трупов кабанов, при этом подчеркивается важность использования современных технологий для учета численности и плотности популяции дикого кабана. Проанализирована информация о применении дронов, оснащенных различными техническими средствами, при изучении популяций крупных видов животных в условиях дикой природы, отмечены преимущества и особенности использования беспилотных летательных аппаратов. Также обобщен опыт применения нейронных сетей в контексте автоматической обработки полученных с помощью дронов изображений животных.

Заключение. Интеграция беспилотных летательных аппаратов и искусственного интеллекта, вероятно, может стать ключевым инструментом в контроле популяции дикого кабана и быстром обнаружении туш кабанов, погибших вследствие африканской чумы свиней, что в целом позволит повысить эффективность мер, направленных на борьбу с данным заболеванием.

Ключевые слова: обзор, дикие кабаны, африканская чума свиней, методы учета животных, мониторинг, аэрофотосъемка, беспилотные летательные аппараты, дроны, искусственный интеллект, нейронная сеть

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (тема № FGNM-2022-0004). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Для цитирования: Беспалова Т. Ю., Корогодина Е. В., Михалева Т. В. Интеграция применения дронов и искусственного интеллекта для обнаружения диких кабанов, туш и их останков в связи с африканской чумой свиней. *Ветеринария сегодня.* 2025; 14 (2): 123–132. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-123-132

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Беспалова Татьяна Юрьевна, заместитель руководителя группы, СамНИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, ул. Магнитогорская, 8, г. Самара, 443013, Россия, *27bt@mail.ru*

Artificial intelligence-integrated drones used for detection of live wild boars, wild boar carcasses and remnants in the context of African swine fever control

Tatiana Yu. Bespalova, Elena V. Korogodina, Tatyana V. Mikhaleva

Federal Research Center for Virology and Microbiology; Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, 8 Magnitogorskaya str., Samara 443013, Russia

ABSTRACT

Introduction. Effective measures for African swine fever outbreak prevention and early detection are required in view of global spread of African swine fever, fatal viral hemorrhagic disease of domestic pigs and wild boars. Wild boar population managing and search for the wild boars died of African swine fever and being the virus source are considered priority measures for the disease control in wildlife.

© Беспалова Т. Ю., Корогодина Е. В., Михалева Т. В., 2025

Objective. Generalization of currently available knowledge about advanced technologies for the use of unmanned aerial vehicles (drones) in combination with artificial intelligence-based methods in the wild.

Materials and methods. Analytical research methods including search in the following databases were used: PubMed, Springer, Wiley Online Library, Google Scholar, CrossRef, Russian Science Citation Index (RSCI), eLIBRARY, CyberLeninka.

Results. Potential of using unmanned aerial vehicles (drones) and artificial intelligence (neural network) for detection of wild boars and their remnants in the context of combating African swine fever is described in the review. The role of wild boars in the disease spread and the need for wild boar population regulation are discussed in detail. Also, the importance of timely wild boar carcass removal and use of modern technologies for wild boar population recording and its density estimation are underlined**.** Data on the use of drones equipped with various technical devices for study of large animal populations in the wild are analyzed, advantages and peculiarities of unmanned aerial vehicle use are indicated. Experience gained in using neural networks-based techniques for automatic processing of animal images acquired from drones is also summarized.

Conclusion. Artificial intelligence-integrated unmanned aerial vehicles appear to be a key tool for managing wild boar populations and the rapid detection of African swine fever dead wild boars that allows improvement of overall effectiveness of the measures taken against this disease.

Keywords: review, wild boar, African swine fever, animal recording techniques, monitoring, aerial photography, unmanned aerial vehicles, UAVs, drones, artificial intelligence, neural network

Acknowledgements: The study was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the state assignment for the Federal Research Center for Virology and Microbiology (No. FGNM-2022-0004). The authors thank the reviewers for peer reviewing of this paper.

For citation: Bespalova T. Yu., Korogodina E. V., Mikhaleva T. V. Artificial intelligence-integrated drones used for detection of live wild boars, wild boar carcasses and remnants in the context of African swine fever control. *Veterinary Science Today*. 2025; 14 (2): 123–132. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-123-132

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

For correspondence: Tatiana Yu. Bespalova, Deputy Head of Group, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, 8 Magnitogorskaya str., Samara 443013, Russia, *27bt@mail.ru*

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире наблюдается глобальное распространение африканской чумы свиней (АЧС), смертельно опасного вирусного геморрагического заболевания домашних свиней (*Sus scrofa domestica*) и диких кабанов (*Sus scrofa*), представляющего серьезную угрозу для свиноводческой отрасли [1]. Вклад диких кабанов в распространение болезни широко признан, установлено, что на территорию нескольких европейских стран вирус АЧС занесли именно мигрирующие инфицированные дикие кабаны [2, 3, 4, 5]. В разработке стратегий управления АЧС для контроля новых вспышек в природе одним из важных инструментов является мониторинг популяции дикого евразийского кабана, оценка численности, плотности и динамики популяции вида. Одной из наиболее эффективных мер по искоренению АЧС в дикой природе является выявление вспышки на ранних стадиях, включающее поиск трупов, которые представляют собой источник прямой и непрямой передачи вируса. Быстрое их обнаружение и безопасная утилизация может предотвратить дальнейшее распространение инфекции, поскольку установлено, что в тушах диких кабанов, погибших от АЧС, вирус сохраняется в течение нескольких месяцев [6, 7, 8, 9]. Поиск трупов, их останков – трудоемкая и отнимающая много времени деятельность, которая сильно зависит от размера очага вспышки, текущего сезона, рельефа местности, густоты растительности и других факторов. По мнению исследователей, большая часть трупов может не обнаруживаться традиционными наземными, пешими методами [10]. Поэтому для достоверной оценки численности и плотности популяции дикого кабана и оптимизации поиска туш и их останков требуется применение альтернативных современных методов и технологий.

В настоящее время все более популярными становятся беспилотные летательные аппараты (БПЛА), известные как дроны, коптеры или беспилотники, управляемые одним или несколькими пилотами с помощью каналов связи на пунктах дистанционного пилотирования (станциях наземного управления). БПЛА широко используются в абсолютно разных сферах, в том числе в практике мониторинга дикой природы. Более того, различные системы БПЛА, наряду с развивающимися технологиями искусственного интеллекта (ИИ), применяются для учета, анализа поведения и перемещений диких животных [11, 12, 13]. В последнее десятилетие в рамках природоохранных мероприятий с помощью беспилотников проводятся многочисленные исследования популяций и естественной среды обитания как диких птиц [14, 15, 16], так и различных видов крупных диких животных (приматов, слонов, бегемотов, копытных) [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23], однако их применение для поиска и учета популяций именно дикого кабана в рецензируемых источниках практически не освещено. БПЛА являются одним из многообещающих возможных дополнений к набору традиционных методов мониторинга. В ряде исследований показано, что, по сравнению с наземными методами (пеший мониторинг, применение фотоловушек и др.), беспилотники позволяют более быстро и с высокой точностью проводить подсчет популяций диких животных на обширных территориях [17, 24]. Ранее крупномасштабные аэрофотосъемки дикой природы проводились с помощью пилотируемых самолетов, однако использование БПЛА для воздушной съемки обходится значительно дешевле, а в сравнении со спутниковыми снимками они могут работать под облачным покровом [25]. ИИ, включая машинное обучение (МО), открывает революционные возможности в мониторинге дикой природы и позволяет повысить качество данных при подсчете

популяций животных, упростить сбор и автоматизировать рутинные процессы обработки данных. Нейросети (разновидность ИИ), обученные на массивах данных, ранее собранных с помощью аэрофотосъемки с дронов, лесных фотоловушек или видеокамер, способны распознавать не только вид, но и каждую отдельную особь животного. МО во много раз сокращает время обработки полученных снимков по сравнению с ручным анализом полученных с помощью фотоловушек фотографий. ИИ из десятков тысяч файлов данных за считаные минуты выбирает только те, на которых запечатлены животные. Это существенно экономит время исследователей [18].

В связи с продолжающейся в мире панзоотией АЧС в рамках управления инфекцией в природных условиях целесообразно изучать современные практики применения БПЛА, во-первых, в качестве инструмента наблюдения для оценки численности и плотности популяции диких кабанов, во-вторых, для эффективного поиска трупов и их останков. При анализе открытых опубликованных источников в этом ключе существенным пробелом явилось отсутствие исследований, касающихся применения БПЛА для поиска как живых особей, так и туш диких кабанов. Наш анализ практик использования БПЛА для наблюдений за другими видами животных в интеграции с ИИ, вероятно, поможет адаптировать их к программам мониторинга популяций дикого кабана и поиска туш животных, павших от АЧС, что будет способствовать улучшению контроля распространения данного заболевания.

Цель обзора заключалась в обобщении имеющихся в настоящее время знаний о передовых технологиях применения БПЛА (дронов) в условиях дикой природы в сочетании с методами ИИ. В данном обзоре рассмотрены роль дикого кабана в распространении АЧС и значение своевременного удаления трупов; использование БПЛА и нейросетей для наблюдения за популяциями крупных видов диких животных с акцентом на преимуществах и особенностях применения дронов по сравнению с традиционными методами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При выполнении работы применялись аналитические методы исследований с использованием баз данных PubMed, Springer, Wiley Online Library, Google Scholar, CrossRef, РИНЦ, eLIBRARY, CyberLeninka.

РОЛЬ ДИКОГО КАБАНА В ЭПИЗООТИИ АЧС

С тех пор как вирус АЧС II генотипа был обнаружен в Восточной Европе (2007 г.), заболевание распространилось во многих странах Европы и далеко за ее пределами (Азия, Америка и Океания). По данным Всемирной организации здравоохранения животных, за последние три года в общей сложности АЧС была зарегистрирована в 64 странах мира, поражено более 934 тыс. свиней и более 31 тыс. диких кабанов, при этом в Европе основная роль в распространении заболевания отводится дикому евразийскому кабану, сообщается более чем о 19 тыс. вспышек в популяции[1]. В большинстве европейских стран на протяжении многих лет распространению АЧС способствуют факторы, которые потенциально связаны с экологией дикого кабана, со стратегиями управления инфекцией в природе (например, эффективный поиск погибших кабанов), а также с длительным сохранением вируса АЧС в трупах и в окружающей среде [1]. Мониторинг популяции диких кабанов в Европе показывает стабильный рост численности и расширение ареала за последние десятилетия, что создает определенные сложности в управлении АЧС в пораженных инфекцией регионах [26]. Для стран Центральной Европы характерна высокая плотность популяции евразийского кабана, где она составляет 1,15–5,31 особи на 100 га [27, 28]. Известно, что плотность поголовья является одним из важных факторов, связанных с распространением АЧС среди диких кабанов, чем выше показатель, тем выше вероятность передачи возбудителя инфекции прямым контактным путем [29]. К примеру, в Польше было установлено, что случаи АЧС происходили в основном в районах с численностью диких кабанов более 1 особи на 1 км^2, хотя статистические и механистические модели не показали четкого и последовательного влияния плотности популяции диких кабанов на эпизоотию АЧС [1, 30]. Близость диких кабанов как к частным, так и к коммерческим фермам является фактором риска возникновения вспышек АЧС среди домашних свиней, что еще более актуально при сравнительно высокой численности диких кабанов [31]. Следовательно, для управления АЧС при проведении различных мероприятий необходимо владеть максимально достоверной информацией о численности и плотности популяции кабанов в каждом регионе. Однако получить данные, близкие к абсолютным, в действительности достаточно сложно. Эта проблема наиболее остро стоит в труднодоступных районах и на обширных территориях.

При изучении популяции дикого кабана в контексте АЧС важно учитывать особенности биологического поведения этого вида животных, сезонные и ландшафтные факторы, персистентность вируса в окружающей среде. В последнее время проводится достаточно много исследований по изучению различных факторов, влияющих в итоге на эффективный поиск диких кабанов, трупов и их останков. Успех поиска можно повысить, целенаправленно разыскивая предпочтительные места обитания как здоровых, так и инфицированных особей. Известно, что кабаны очень подвижны, укрываются среди непроходимой растительности и ведут преимущественно ночной образ жизни, наиболее активны они большую часть года поздним вечером (на закате солнца), в полночь и утренние часы на восходе солнца. Снижение активности при температуре выше 15 °C является их поведенческой реакцией, связанной с физиологическими особенностями. В лесу кабаны ведут себя менее активно, чем на открытых участках, в качестве безопасного места для отдыха они выбирают тростники в болотистой местности [32, 33]. Следует учитывать предпочтения диких кабанов, больных АЧС, в отношении мест, где они погибают. У таких животных изменяется поведение, они выбирают места уединения с достаточным укрытием, тишиной, прохладой, большим количеством воды, что связано с состоянием, вызванным инфекцией (угнетение, лихорадка, одышка) [34]. В проведенных исследованиях подавляющее большинство (71%) инфицированных туш было обнаружено в лесах, особенно в молодых лесных массивах, а также в местах, удаленных от дорог и населенных пунктов, в местах перехода от лесных массивов

[1] WOAH. African swine fever. https://www.woah.org/en/disease/african-swine-fever/#ui-id-2

к редколесью и кустарникам, вблизи троп, водоемов и лесных опушек с высокой травой [34, 35, 36]. Пространственно-временная кластеризация обнаруженных туш кабанов, положительных на АЧС, была наиболее заметна на расстоянии 2 км и в течение 1 нед. после регистрации вспышки [37]. Кроме того, при планировании мероприятий по поиску туш важно учитывать сезонные особенности распространения АЧС. В большинстве европейских стран у диких кабанов наблюдалась ярко выраженная сезонная динамика заболеваемости АЧС, которая повышалась зимой (декабрь – февраль) и достигала пика летом (июль). По данным отечественных ученых, вспышки АЧС среди диких кабанов, регистрировавшиеся в субъектах РФ с 2007 по 2022 г., также в большей степени приходились на ноябрь – декабрь и февраль с пиками в летние месяцы (июль – август) [38, 39].

Естественное поведение диких кабанов – рытье корней, катание по земле и изучение различных объектов – может быть фактором риска инфицирования при проживании их в зараженной вирусом окружающей среде. Рядом исследователей показано, что передача возбудителя АЧС в местах обитания кабанов может происходить не только при прямом контакте с инфицированными сородичами, но и при косвенном контакте с тушами, выделениями, почвой, водой, травой или сельскохозяйственными культурами [28, 40, 41], при этом физический контакт с тушами или почвой под ними представляет равный риск заражения вирусом АЧС [42]. Места разложения трупов и их останков (кости и кожа) остаются привлекательными для диких кабанов в течение длительного периода времени [40]. Процесс разложения туш зависит от сезона и может занимать от нескольких дней летом до нескольких месяцев зимой [43]. Дикие кабаны, павшие от АЧС, представляют собой постоянный источник инфекции для других животных, поскольку вирус обладает высокой устойчивостью к условиям окружающей среды и длительно сохраняется в различных органах, тканях и выделениях. Сообщалось, что в замороженной туше возбудитель АЧС может сохранять инфекционность в течение нескольких месяцев, это позволяет вирусу перезимовать и вызвать новую вспышку, когда весной восприимчивый дикий кабан наткнется на размороженные останки [37]. В исследовании, проведенном в Германии, было отмечено, что дикие кабаны рылись в местах разложения, обнюхивали туши сородичей и тыкались в них, а также грызли скелетированные кости, контакт происходил в ~ 30% всех посещений кабанами подобных мест, при этом животных особенно интересовала почва под тушами и вокруг них [8]. Позднее в Восточной Польше было определено, что более 50% случаев передачи инфекции были связаны с непрямым контактом с инфицированными тушами, которые способствуют персистенции вируса АЧС в популяциях кабанов [44]. В недавнем исследовании в Чехии с целью оценки привлекательности туш кабанов для их живых сородичей было проведено двухлетнее наблюдение с помощью фотоловушек. Оказалось, что количество посещений дикими кабанами участков с экспериментально расположенными тушами в течение года было более чем в пять раз выше по сравнению с контрольными участками (без туш). Кабаны относительно быстро находили размещенную тушу, в среднем за 2 дня весной и летом, 6 дней осенью и 8 дней зимой. Самые ранние посещения были отмечены весной, когда процесс разложения сопровождался сильным запахом. Также было определено количество непосредственных контактов с тушей, которые варьировались в зависимости от сезона. Осенью непосредственный контакт наблюдался в 340 посещений из 541 (62,8%), весной – 71,2%, летом – 74,5%. Наибольшее количество прямых контактов было зафиксировано зимой – 84,1% [33]. Эта информация имеет большое значение, так как инфицированные ткани (мышцы, кожа, подкожный жир) и органы разлагающихся туш могут быть источниками заражения АЧС в течение нескольких месяцев, особенно при низких температурах [9, 45]. Стабильность возбудителя в почве зависит от температуры, в экспериментальных условиях при +4 °C инфекционность вируса сохраняется до 112 дней [46], в почве под тушей – до 2 нед. [47, 48]. Отмечалось, что выживаемость вируса зависит от типа и pH почвы: в почве лесов и лугов он сохраняется в течение недели, в почве из болотистой местности – 3 дня, в песке – не менее 3 нед., а в кислых лесных почвах быстро погибает [49].

Дикие кабаны являются всеядными животными, так же, как и домашним свиньям, им свойственен каннибализм. В содержимом желудков диких кабанов обнаруживали ткани других животных, в том числе сородичей [50]. В исследовании J. Cukor et al. [51] прямой контакт дикого кабана с трупами наблюдали в 81% случаев, а каннибализм – в 9,8% от всех отмеченных посещений кабанов. Следовательно, преднамеренное или случайное употребление трупов (каннибализм) или инвазивный контакт с тушами (с зараженной кровью, тканями или биологическим материалом) можно рассматривать как решающие факторы в цепочке передачи вируса АЧС среди диких кабанов [52]. Кроме того, инфицированные туши также могут способствовать косвенному распространению вируса потенциальными векторами – членистоногими переносчиками [42], а также падальщиками. По сообщениям J. Rietz et al. [53], некоторые падальщики, в частности лисы, не потребляют туши кабанов на месте, но могут перемещать (разбрасывать) их останки на довольно большие расстояния за 6–10 дней. В 75% случаев части туши разбрасывают более чем на 400 м, максимально – на 1,2 км. Это стоит учитывать с точки зрения управления вспышкой АЧС в целях эффективного поиска туш. В то же время такие расстояния разброса останков делают наземный поиск, проводимый человеком, практически невозможным.

Таким образом, трупы диких кабанов и окружающая их почва являются резервуаром длительного сохранения вируса АЧС, и поэтому крайне важно проводить ранний, быстрый и эффективный поиск потенциально инфицированных туш, своевременно и безопасно удалять их из окружающей среды, чтобы свести к минимуму риск распространения болезни в популяции. При этом особое внимание следует уделять такой работе в эндемичных по АЧС районах, используя накопленные знания об особенностях поведения больных кабанов и факторах окружающей среды, которые повышают вероятность обнаружения трупов.

В рамках управления АЧС важно контролировать численность популяции дикого кабана в каждом регионе, поддерживая минимально возможную плотность [6]. Существующие методы учета численности животных основаны на их прямом пересчете при полевых наблюдениях невооруженным глазом или в бинокль, получении

изображений на месте в фиксированных точках с помощью фотоловушек, а также при отборе проб, съемке или анализе тех или иных косвенных свидетельств их жизнедеятельности [54, 55]. Методы различаются по охвату территории, способам подсчета, объектам учета, используемым техническим средствам и др. К примеру, широко применяемый метод зимнего маршрутного учета определяет зависимость между численностью особей на выбранной территории (линии маршрута), количеством наследов (оставленных в течение одних суток) и длиной суточного хода особей (при условии подходящей толщины снежного покрова). Этот основной на сегодняшний день метод считается простым и универсальным в исполнении, отличается относительно невысокой стоимостью используемых технических средств, но мало подходит для учета животных, ведущих скрытный образ жизни [55]. Существующие недостатки традиционных методов учета диких животных (полный снежный покров, низкая точность, зависимость от погодных условий и др.) диктуют необходимость модернизации технологий мониторинга. Для получения достоверных данных о численности и миграции популяций животных целесообразнее использовать комбинированные методы. В настоящее время доказана эффективность одновременного использования нескольких методов со специализированным оборудованием, таким как фотоловушки, видео- или инфракрасные (ИК) камеры. Но, по мнению ряда исследователей, самым эффективным методом учета численности животных, по сравнению с полевыми методами, является авиационный мониторинг [19, 54, 55, 56].

ПРИМЕНЕНИЕ ДРОНОВ В МОНИТОРИНГЕ ДИКОЙ ПРИРОДЫ

За последние несколько лет все большую популярность во всем мире стали набирать дистанционно пилотируемые авиационные системы – БПЛА. Система БПЛА включает три основных компонента: сам летательный аппарат (дрон), выполняющий задачи в воздухе; наземную станцию, где беспилотник взлетает и приземляется и где установлено оборудование для связи и управления им; оператора, который непосредственно управляет дроном во время полета. БПЛА обладают множеством преимуществ, которые делают их мощным инструментом для изучения дикой природы. Еще несколько лет назад получение данных о количестве животных в определенном пространстве и времени было достаточно сложной задачей из-за высокой стоимости использования самолетов и спутниковых снимков, а наземные съемки часто ограничивались доступностью объектов и размером исследуемых территорий [11]. Сегодня с помощью дронов можно во много раз упростить труд человека, сэкономить время и финансы. БПЛА можно успешно применять в труднодоступной местности и в сложных климатических условиях. Выбор БПЛА для мониторинга и оценки численности животных осуществляется исходя из его полезной нагрузки и установленных датчиков. В состав аппаратуры и программного обеспечения БПЛА могут входить датчики на основе машинного зрения или система ИИ. С помощью ИИ и нейронной сети можно не только вести учет численности животных, выявлять местоположение в реальном времени и составлять маршрут их движения и миграции, но и определять конкретный вид животного [17, 57]. Значительно расширяются возможности БПЛА, оснащенных различной электронной аппаратурой, в состав которой входят цифровые датчики и камеры ночного, тепловизионного видения, средства связи, ориентирования и положения GPS/ГЛОНАСС (глобальные навигационные спутниковые системы, GNSS). Датчики на основе машинного зрения обеспечивают визуальное восприятие окружающей среды БПЛА, создавая изображение захваченной сцены, например, тепловизионная камера улавливает и регистрирует ИК-излучение, испускаемое окружающими объектами. Для БПЛА с фото- и тепловизионной камерой труднодоступных мест практически не существует. ИК-камера помогает различать живые объекты и объекты неживой природы, способна работать в течение всего дня и ночи независимо от факторов окружающей среды и обнаруживать объекты, которые не фиксируют обычные камеры, в том числе выявлять животных в темное время суток, а также скрытых плотным растительным покровом. В тепловых ИК-волнах животное выглядит как яркий объект при условии, что температура его тела выше, чем температура окружающей среды (с разницей до 30–40 °C). Тепловые изображения наилучшего качества получаются на восходе солнца, поздним вечером и ночью (рис. 1) [19, 54, 55, 57, 58].

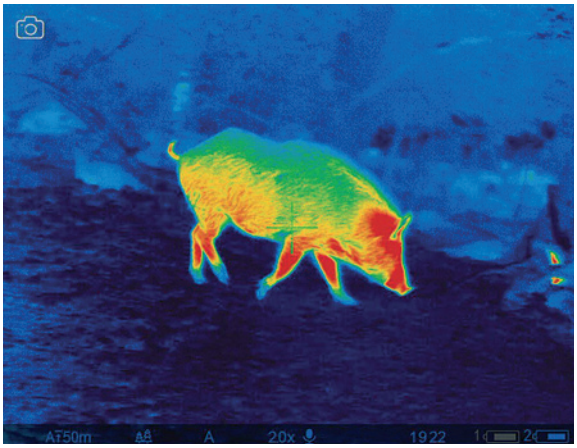

Рис. 1. Тепловое изображение дикого кабана (https://pulsarvision.com/journal/calm-alert-hungry-getting-to-know-animals-through-thermal)

Fig. 1. Thermal image of a wild boar (https://pulsarvision.com/journal/calm-alert-hungry-getting-to-know-animals-through-thermal)

В целом имеющийся функционал БПЛА показывает их потенциальную пригодность в поиске диких кабанов, туш и останков. Дроны способны медленно летать на малых высотах, обследовать без риска для человека территории, сложные для наземных исследований, например густые лесные массивы или водно-болотные угодья, а также фиксировать движущиеся и неподвижные объекты (рис. 2). Последнее важно при поиске как живых особей, находящихся в периоде покоя, так и трупов животных. Установлено, что для точного подсчета больших групп животных оптимальные снимки площади, охватываемой одним кадром, можно получить на высоте 150 м.

Относительно низкая стоимость и возможность взлета с небольшого пространства обеспечивают БПЛА преимущество над крупными пилотируемыми самолетами. К тому же дроны сравнительно тише последних, что уменьшает риск беспокойства животных шумом.

Рис. 2. Наблюдение за дикими кабанами с помощью дрона (изображение сгенерировано с помощью нейросети)

Fig. 2. Wild boar monitoring using drone technology (AI-generated image)

Данные подсчетов получаются более объективными, поскольку животные с меньшей вероятностью убегут и скроются [20]. В отношении поиска туш кабанов и их останков с помощью БПЛА стоит учесть данные экспериментов, показывающих, что кабанов особенно привлекают места с тушами сородичей [33]. Скопления живых особей на таких участках можно легко зафиксировать дронами и, следовательно, применять эти технологии в поиске останков. Кроме того, можно непосредственно находить останки с помощью тепловизионной съемки с БПЛА, фиксирующей тепловые сигнатуры, которые могут быть вызваны скоплениями личинок мух и/или жизнедеятельностью микроорганизмов, поедающих останки в процессе разложения трупов. Тепло, выделяемое питающимися личинками, можно обнаружить в периоды их пиковой активности с 6-го по 29-й день с начала распада трупа при температуре от 15 до 27 °C, когда численность популяции насекомых на останках максимальна. Оценка разрешения изображений, полученных на разных высотах полета, показала, что наибольший контраст между тепловым следом останков и фоном наблюдается на записях, сделанных в полдень на высоте 4 м над уровнем земли; высота 15 м оказалась оптимальной для баланса между скоростью охвата территории и эффективным обнаружением в течение длительного периода наблюдения, а на расстоянии более 30 м объект можно было не заметить. Все эти факторы следует учитывать при планировании полетов, чтобы в конечном счете максимально увеличить шансы на обнаружение останков [59, 60].

Рис. 3. Робот с обнимающими крыльями [62]

Fig. 3. Hugging-wing robot [62]

Системы БПЛА постоянно совершенствуются. Для обнаружения и распознавания объектов все более распространенной становится практика интеграции компьютерного зрения с системами дронов, открывая новые возможности и расширяя функционал БПЛА. С помощью компьютерного зрения дроны автономно обрабатывают визуальную информацию, идентифицируют объекты и принимают решения в зависимости от окружающей обстановки. Сегодня к передовым технологиям относят так называемые FPV-дроны (First Person View) с программным обеспечением (ПО) Betaflight и функцией передачи видео в режиме реального времени, которые позволяют получать пространственные данные с высокой скоростью и точностью и передавать видеосигнал на большие расстояния. FPV-дроны отличаются от обычных GPS-дронов меньшим размером и весом, что дает им возможность легко маневрировать и быстро перемещаться (скорость полетов может достигать 100 км/ч и более). Оснащение их камерами высокого разрешения и видеопередатчиками позволяет пользователю видеть изображение в режиме реального времени на специальных очках или мониторе, ощущать эффект собственного присутствия в воздушном пространстве и управлять движением дрона на расстоянии, при этом настраивая скорость, высоту и угол наклона аппарата для управления полетом по заданной местности. При мониторинге окружающей среды FPV-дроны, как и другие БПЛА, используются для сбора данных и изучения обширных, новых или труднодоступных территорий, обнаружения и отслеживания движущихся объектов, мест обитания диких животных и предоставляют высококачественные изображения с привязкой к географическим координатам[2] [61]. Также одним из перспективных методов наблюдения за поведением диких животных и сбора данных об условиях среды их обитания может стать применение универсальных роботизированных систем, роботов с обнимающими крыльями, которые могут как парить в воздухе, так и прикрепляться к вертикальным опорам: стволам деревьев, столбам (рис. 3). Определить место посадки такого робота можно, используя автономную навигацию, с дальнего расстояния с точностью до нескольких метров [62].

При планировании работ с использованием БПЛА необходимо учитывать ряд аспектов, которые способны существенно повлиять на объем и качество

[2] https://sky-space.ru/blog/fpv-dron

получаемых данных. К ним можно отнести: низкое разрешение изображения камеры или сенсора, продолжительность заряда аккумулятора (от чего, следовательно, зависит дальность и площадь, охватываемые за один полет дрона), погодные условия (сильный ветер, дождь, снег), навыки управления и опыт оператора и др. [21]. Управление и обслуживание дронов требует специальной подготовки наземных операторов и соблюдения мер безопасности. В нашей стране применение любых БПЛА возможно только при наличии официальных документов и разрешений, полученных согласно нормативным актам, регламентирующим использование БПЛА в Российской Федерации.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ, СОБИРАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ДРОНОВ

Традиционные методы включают использование и анализ обычных фотографий, но при визуальной обработке огромного массива фотоснимков в ручном режиме возрастает и трудоемкость, следовательно, может иметь место человеческий фактор (невнимательность, усталость и др.). Минимизировать данный недостаток можно, привлекая к работе нескольких специалистов или используя ПО, способное автоматически обрабатывать информацию [58]. Изображения, полученные с помощью датчиков, установленных на БПЛА, обычно объединяются в цифровую карту посредством специальных программ. Такую цифровую карту можно загрузить в ПО географической информационной системы (ГИС), которое определит географические координаты с помощью данных GPS, автоматически собираемых БПЛА во время полета. Если у БПЛА нет встроенного GPS, географические координаты можно получить вручную, ориентируясь на наземные контрольные точки (физические ориентиры с известными координатами). Обработка изображений на цифровой карте может выполняться вручную пользователем или автоматически с помощью ПО, которое классифицирует объекты. Цифровые файлы, связанные с изображениями, полученными с помощью дронов, могут быть очень большими (до 70 терабайт), особенно при высоком разрешении, необходимом для точного распознавания объектов [63]. На сегодняшний день для обработки массивов данных при мониторинге дикой природы отечественными и зарубежными исследователями используются различные программы [17, 58]. Longmore S. N. et al. [64] совместили ПО, применяемое в астрономии, с существующими алгоритмами МО для дешифрования тепловых снимков животных в автоматическом режиме, что способствовало эффективному обнаружению животных на изображениях. В настоящее время для идентификации разных видов животных в России разрабатывается до 30 программ, которые подсчитывают количество особей как на отдельном снимке, так и в их серии, ряд ПО позволяет одновременно обрабатывать тепловизионные снимки и видеоматериалы[3] [55]. Например, ПО Thermal Infrared Object Finder (TIOF), разработанное на платформе Python, способно обрабатывать большое количество данных ИК изображений для определения конкретных животных [65].

[3] https://ru.rt.com/qo5p

Одним из подходов, облегчающих обнаружение и подсчет особей при аэрофотосъемке, является применение конволюционных (сверточных) нейронных сетей (CNN). CNN представляют собой тип глубоких нейронных сетей, используемых для классификации и распознавания изображений, которые состоят из двух основных компонентов: выделение признаков и классификация. Целью выделения признаков является создание карт объектов, что осуществляется посредством процессов, называемых свертками. Модель CNN обычно состоит из трех основных типов слоев: сверточного, объединяющего и полностью связанного. Первые два выполняют извлечение признаков, а полностью связанный слой отображает извлеченные признаки и выполняет классификацию [17]. По сравнению с традиционными методами классификации модели глубокого обучения часто обеспечивают более высокую точность обработки при наличии больших выборок для обучения и тестирования модели, поэтому применение нейросетей позволяет создавать точные модели популяций животных, отслеживать миграционные пути, оценивать численность популяций [17]. Управление полетом на основе нейросетей расширяет возможности БПЛА. Нейронные сети способны обучаться на основе данных и адаптировать свое поведение к изменяющимся условиям полета и различным параметрам съемки в непредсказуемых условиях окружающей среды в реальном времени. Они могут объединять данные с различных датчиков, установленных на беспилотнике, для улучшения восприятия и ситуационной осведомленности, что дает дрону возможность принимать более обоснованные решения. Кроме того, нейронные сети позволяют БПЛА автономно перемещаться, лучше маневрировать и обходить препятствия во время полета, что особенно ценно при исследовании труднодоступных территорий. Нейросети могут оптимизировать траектории для дронов, что полезно в таких приложениях, как аэрофотосъемка или наблюдение, где для оптимального сбора данных необходимо следовать определенным траекториям [61]. Применение нейросетевых алгоритмов обеспечивает минимальное время для решения задач (от нескольких секунд до нескольких минут), но процесс обучения нейросети в совокупности может занимать десятки часов. При этом пользователь должен обладать навыками программирования в таких средах, как Python или Java, а компьютер, на котором будет осуществляться МО, должен быть оснащен соответствующим оборудованием [15].

Результаты практического использования ИИ для мониторинга животных показаны в ряде исследований и сообщениях, размещенных на интернет-ресурсах. Zhou M. et al. была изучена эффективность двух моделей глубоких нейросетей: CNN и глубоких остаточных сетей (ResNet) в классификации четырех видов животных: крупного рогатого скота (*Bos taurus*), лошадей (*Equus caballus*), канадских казарок (*Branta canadensis*) и белохвостых оленей (*Odocoileus virginianus*). Результаты показали, что видимых изображений, собранных на расстоянии 60 м или менее, достаточно для точной классификации, и что наиболее эффективным алгоритмом может быть модель ResNet с 18 слоями (ResNet 18), поскольку показатель общей точности при идентификации животных составил 99,18% [66]. В проведенном D. Marchowski эксперименте по учету популяций 33 видов водоплавающих птиц применение БПЛА

в сочетании с технологиями ИИ оказалось успешным в 96% из 343 случаев. Для автоматизированного подсчета использовалось ПО ImageJ/Fiji и методы МО с алгоритмами нейронных сетей, такими как DenoiSeg [15]. Krishnan B. S. et al. применили для МО подход объединения, который использует несколько пар тепловых и видимых изображений, полученных с дронов. Интересно, что для белохвостых оленей, которые обычно сливались с фоном и часто находились в тени на фотографиях, дополнительная информация с тепловизионных изображений улучшила обнаружение и классификацию вида с 15 до 85%. Было установлено, что объединение изображений в сочетании с двумя моделями глубоких нейросетей идеально подходит для съемки животных с покровительственной окраской [23]. Комбинируя изображения, полученные с высоты 75 и 120 м над уровнем земли, была обучена более быстрая CNN на основе регионов (Faster R-CNN) с использованием аннотированных изображений с метками «взрослый карибу», «теленок карибу» и «призрачный карибу» (животные, перемещающиеся между изображениями и размывающие отдельных особей во время обработки фотограмметрических данных). Точность, прецизионность и повторяемость модели составили 80, 90 и 88% соответственно [17]. В национальном парке Хортобадь (Hortobágyi Nemzeti Park, Венгрия) технологии ИИ помогают в сохранении азиатских диких лошадей Пржевальского, находящихся под угрозой исчезновения. Исследователи используют дроны для мониторинга поведения стад лошадей. Полученные в высоком разрешении материалы обрабатывают на платформе Microsoft Azure и анализируют с помощью ИИ, который способен отличать лошадей от других животных[4]. В национальном парке «Земля леопарда» (Приморский край, Россия) были проведены первые испытания ПО, разработанного специалистами Московского физико-технического института в сотрудничестве с Министерством природных ресурсов и экологии РФ. Программа позволяет распознавать дальневосточных леопардов, амурских тигров и других диких животных[5]. Также в России проводится тестирование системы распознавания диких животных с использованием ИИ, разработанной компанией NtechLab. На данный момент система интегрирована с видеоматериалами, содержащими изображения медведей, но в будущем планируется расширение функционала для распознавания других видов диких животных[6]. В настоящее время в ряде регионов России сотрудники Минприроды для поиска скоплений копытных животных уже проводят авиаучет с применением дронов и нейросети[7].

В завершение стоит отметить, что в 2024 г. командой американских исследователей было создано хранилище изображений дикой природы (Aerial Wildlife Image Repository, AWIR), которое представляет собой динамичную интерактивную базу данных с аннотированными изображениями, полученными с помощью дронов с обычными и тепловизионными камерами. AWIR – это первое хранилище с открытым доступом, позволяющее пользователям загружать, комментировать и курировать изображения животных, полученные с помощью дронов. AWIR также предоставляет базовые наборы данных, которые пользователи могут загружать для обучения алгоритмов ИИ автоматическому обнаружению и классификации животных. Хранилище содержит 6587 объектов животного мира (преимущественно крупных птиц и млекопитающих), изображенных на 1325 видимых и тепловых снимках [67].

[4] https://habr.com/ru/companies/microsoft/articles/567406

[5] https://www.mnr.gov.ru/press/news/uchyenye_natsparka_zemlya_leoparda_v_primore_ispytali_iskusstvennyy_intellekt_dlya_raspoznavaniya_ti/

[6] https://360.ru/news/obschestvo/dikih-zhivotnyh-v-rossii-nachnut-otslezhivat-s-pomoschju-iskusstvennogo-intellekta-smi/?from=inf_cards

[7] https://nsknews.info/materials/drony-i-neyroset-schitayut-dikikh-zverey-v-novosibirskoy-oblasti/

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для предотвращения распространения АЧС среди диких кабанов и оценки риска возникновения заболевания необходима достоверная информация о численности и плотности популяции, а поиск туш животных является инструментом для раннего выявления АЧС. Сочетание современных БПЛА с нейросетевыми алгоритмами представляет собой высокоэффективный метод получения точной и оперативной информации о состоянии природной среды, что, в частности, открывает новые возможности в области мониторинга популяции диких кабанов. В эпоху активного развития ИИ и широкого применения БПЛА использование инновационных технологий в комбинации с традиционными методами, вероятно, будет способствовать не только повышению эффективности поиска как живых особей, так и туш диких кабанов, но и достоверности получаемых данных, что в целом может улучшить контроль за благополучием животных в рамках стратегий управления АЧС. Успешная реализация подобных подходов возможна при тесном сотрудничестве программистов, исследователей дикой природы и специалистов ветеринарной службы. Поскольку применение ИИ с системами БПЛА является развивающейся областью исследований диких животных, необходимо продолжать отслеживать совершенствование данных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. EFSA, Boklund A. E., Ståhl K., Miranda Chueca M. Á., Podgórski T., Vergne T., et al. Risk and protective factors for ASF in domestic pigs and wild boar in the EU, and mitigation measures for managing the disease in wild boar. *EFSA Journal.* 2024; 22 (12):e9095. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9095

2. 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

3. Oļševskis E., Guberti V., Seržants M., Westergaard J., Gallardo C., Rodze I., Depner K. African swine fever virus introduction into the EU in 2014: Experience of Latvia. *Research in Veterinary Science.* 2016; 105: 28–30. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2016.01.006

4. 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; 7:12562. https://doi.org/10.1038/s41598-017-12952-w

5. Sauter-Louis C., Forth J. H., Probst C., Staubach C., Hlinak A., Rudovsky A., et al. Joining the club: First detection of African swine fever in wild boar in Germany. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2021; 68 (4): 1744–1752. https://doi.org/10.1111/tbed.13890

6. 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. https://doi.org/10.3390/v13091717

7. 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

8. 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. *Royal Society Open Science.* 2017; 4 (5):170054. https://doi.org/10.1098/rsos.170054

9. 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. https://doi.org/10.3390/v12101118

10. EFSA Panel on Animal Health and Welfare. Scientific opinion on African swine fever. *EFSA Journal.* 2015; 13 (7):4163. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4163

11. Gonzalez L. F., Montes G. A., Puig E., Johnson S., Mengersen K., Gaston K. J. Unmanned aerial vehicles (UAVs) and artificial intelligence revolutionizing wildlife monitoring and conservation. *Sensors.* 2016; 16 (1):97. https://doi.org/10.3390/s16010097

12. Schad L., Fischer J. Opportunities and risks in the use of drones for studying animal behavior. *Methods in Ecology and Evolution.* 2023; 14 (8): 1864–1872. https://doi.org/10.1111/2041-210x.13922

13. Petso T., Jamisola R. S. Jr. Wildlife conservation using drones and artificial intelligence in Africa. *Science Robotics.* 2023; 8 (85):eadm7008. https://doi.org/10.1126/scirobotics.adm7008

14. Hodgson J. C., Baylis S. M., Mott R., Herrod A., Clarke R. H. Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports.* 2016; 6:22574. https://doi.org/10.1038/srep22574

15. Marchowski D. Drones, automatic counting tools, and artificial neural networks in wildlife population censusing. *Ecology and Evolution.* 2021; 11 (22): 16214–16227. https://doi.org/10.1002/ece3.8302

16. Demmer C. R., Demmer S., McIntyre T. Drones as a tool to study and monitor endangered grey crowned cranes (*Balearica regulorum*): Behavioural responses and recommended guidelines. *Ecology and Evolution.* 2024; 4 (2):e10990. https://doi.org/10.1002/ece3.10990

17. Lenzi J., Barnas A. F., ElSaid A. A., Desell T., Rockwell R. F., Ellis-Felege S. N. Artificial intelligence for automated detection of large mammals creates path to upscale drone surveys. *Scientific Reports.* 2023; 13:947. https://doi.org/10.1038/s41598-023-28240-9

18. Brickson L., Zhang L., Vollrath F., Douglas-Hamilton I., Titus A. J. Elephants and algorithms: a review of the current and future role of AI in elephant monitoring. *Journal of the Royal Society.* 2023; 20 (208):20230367. https://doi.org/10.1098/rsif.2023.0367

19. Witczuk J., Pagacz S., Zmarz A., Cypel M. Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and thermal imaging for ungulate surveys in forests – preliminary results. *International Journal of Remote Sensing.* 2018; 39 (15–16): 5504–5521. http://doi.org/10.1080/01431161.2017.1390621

20. Linchant J., Lhoest S., Quevauvillers S., Lejeune P., Vermeulen C., Semeki Ngabinzeke J., et al. UAS imagery reveals new survey opportunities for counting hippos. *PLoS ONE.* 2018; 13 (11):e0206413. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206413

21. Semel B. P., Karpanty S. M., Vololonirina F. F., Rakotonanahary A. N. Eyes in the sky: Assessing the feasibility of low-cost, ready-to-use unmanned aerial vehicles to monitor primate populations directly. *Folia Primatologica.* 2019; 91 (1): 69–82. https://doi.org/10.1159/000496971

22. Baldwin R. W., Beaver J. T., Messinger M., Muday J., Windsor M., Larsen G. D., et al. Camera trap methods and drone thermal surveillance provide reliable, comparable density estimates of large, free-ranging ungulates. *Animals.* 2023; 13 (11):1884. https://doi.org/10.3390/ani13111884

23. Krishnan B. S., Jones L. R., Elmore J. A., Samiappan S., Evans K. O., Pfeiffer M. B., et al. Fusion of visible and thermal images improves automated detection and classification of animals for drone surveys. *Scientific Reports.* 2023; 13:10385. https://doi.org/10.1038/s41598-023-37295-7

24. Corcoran E., Denman S., Hamilton G. Evaluating new technology for biodiversity monitoring: Are drone surveys biased? *Ecology and Evolution.* 2021; 11 (11): 6649–6656. https://doi.org/10.1002/ece3.7518

25. Hvala A., Rogers R. M., Alazab M., Campbell H. A. Supplementing aerial drone surveys with biotelemetry data validates wildlife detection probabilities. *Frontiers in Conservation Science.* 2023; 4:1203736. https://doi.org/10.3389/fcosc.2023.1203736

26. Tack J. Wild boar (*Sus scrofa*) populations in Europe: A scientific review of population trends and implications for management. Brussels: European Landowners' Organization; 2018. 56 p. https://wildbeimwild.com/wp-content/uploads/2023/08/12-Tack-J-Wild-Boar-Population-Trends-in-Europe-2018.pdf

27. Carpio A. J., Apollonio M., Acevedo P. Wild ungulate overabundance in Europe: contexts, causes, monitoring and management recommendations. *Mammal Review.* 2021; 51 (1): 95–108. https://doi.org/10.1111/mam.12221

28. 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

29. 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

30. Śmietanka K., Woźniakowski G., Kozak E., Niemczuk K., Frączyk 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

31. Boklund A., Dhollander S., Chesnoiu Vasile T., Abrahantes J. C., Bøtner A., Gogin A., et al. Risk factors for African swine fever incursion in Romanian domestic farms during 2019. *Scientific Reports.* 2020; 10:10215. https://doi.org/10.1038/s41598-020-66381-3

32. Johann F., Handschuh M., Linderoth P., Dormann C. F., Arnold J. Adaptation of wild boar (*Sus scrofa*) activity in a human-dominated landscape. *BMC Ecology.* 2020; 20:4. https://doi.org/10.1186/s12898-019-0271-7

33. Cukor J., Faltusová M., Vacek Z., Linda R., Skoták V., Václavek P., et al. Wild boar carcasses in the center of boar activity: crucial risks of ASF transmission. *Frontiers in Veterinary Science.* 2024; 11:1497361. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1497361

34. Morelle K., Jezek M., Licoppe A., Podgorski T. Deathbed choice by ASF-infected wild boar can help find carcasses. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2019; 66 (5): 1821–1826. https://doi.org/10.1111/tbed.13267

35. 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

36. Rogoll L., Schulz K., Staubach C., Oļševskis E., Seržants M., Lamberga K., et al. Identification of predilection sites for wild boar carcass search based on spatial analysis of Latvian ASF surveillance data. *Scientific Reports.* 2024; 14:382. https://doi.org/10.1038/s41598-023-50477-7

37. Allepuz A., Hovari M., Masiulis M., Ciaravino G., Beltrán-Alcrudo D. Targeting the search of African swine fever-infected wild boar carcasses: A tool for early detection. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2022; 69 (5): e1682–e1692. https://doi.org/10.1111/tbed.14504

38. Coelho I. M. P., Paiva M. T., da Costa A. J. A., Nicolino R. R. African swine fever: spread and seasonal patterns worldwide. *Preventive Veterinary Medicine.* 2025; 235:106401. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106401

39. 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

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

40. Probst C., Gethmann J., Amler S., Globig A., Knoll B., Conraths F. J. The potential role of scavengers in spreading African swine fever among wild boar. *Scientific Reports.* 2019; 9:11450. https://doi.org/10.1038/s41598-019-47623-5

41. Nuanualsuwan S., Songkasupa T., Boonpornprasert P., Suwankitwat N., Lohlamoh W., Nuengjamnong C. Persistence of African swine fever virus on porous and non-porous fomites at environmental temperatures. *Porcine Health Management.* 2022; 8:34. https://doi.org/10.1186/s40813-022-00277-8

42. Tummeleht L., Häkkä S. S. S., Jürison M., Vilem A., Nurmoja I., Viltrop A. Wild boar (*Sus scrofa*) carcasses as an attraction for scavengers and a potential source for soil contamination with the African swine fever virus. *Frontiers in Veterinary Science.* 2024; 11:1305643. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1305643

43. Probst C., Gethmann J., Amendt J., Lutz L., Teifke J. P., Conraths F. J. Estimating the postmortem interval of wild boar carcasses. *Veterinary Sciences.* 2020; 7 (1):6. https://doi.org/10.3390/vetsci7010006

44. 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

45. Davies K., Goatley L. C., Guinat C., Netherton C. L., Gubbins S., Dixon L. K., Reis A. L. Survival of African swine fever virus in excretions from pigs experimentally infected with the Georgia 2007/1 isolate. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2017; 64 (2): 425–431. https://doi.org/10.1111/tbed.12381

46. Prodelalova J., Kavanova L., Salat J., Moutelikova R., Kobzova S., Krasna M., et al. Experimental evidence of the long-term survival of infective African swine fever virus strain Ba71V in soil under different conditions. *Pathogens.* 2022; 11 (6):648. https://doi.org/10.3390/pathogens11060648

47. 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

48. Mazur-Panasiuk N., Woźniakowski G. Natural inactivation of African swine fever virus in tissues: Influence of temperature and environmental conditions on virus survival. *Veterinary Microbiology.* 2020; 242:108609. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2020.108609

49. Блохин А. А., Бурова О. А., Торопова Н. Н., Захарова О. И., Яшин И. В., Коренной Ф. И. Мониторинг АЧС в дикой фауне: сохранность вируса в останках кабанов и методы дезинфекции (обзор литературы). *Ветеринария*. 2022; (3): 14–21. https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.3.14-21

Blokhin A. A., Burova O. A., Toropova N. N., Zakharova O. I., Iashin I. V., Korennoy F. I. Monitoring ASF in wildlife: virus survival in wild boar carcasses and disinfection methods (review). *Veterinariya*. 2022; (3): 14–21. https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.3.14-21 (in Russ.)

50. Merta D., Mocała P., Pomykacz M., Frąckowiak W. Autumn-winter diet and fat reserves of wild boars (*Sus scrofa*) inhabiting forest and forest-farmland environment in south-western Poland. *Folia Zoologica*. 2014; 63 (2): 95–102. https://doi.org/10.25225/fozo.v63.i2.a7.2014

51. Cukor J., Linda R., Václavek P., Mahlerová K., Šatrán P., Havránek F. Confirmed cannibalism in wild boar and its possible role in African swine fever transmission. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2020; 67 (3): 1068–1073. https://doi.org/10.1111/tbed.13468

52. Sánchez-Cordón P. J., Lean F. Z. X., Batten C., Steinbach F., Neimanis A., Le Potier M. F., et al. Comparative evaluation of disease dynamics in wild boar and domestic pigs experimentally inoculated intranasally with the European highly virulent African swine fever virus genotype II strain "Armenia 2007". *Veterinary Research*. 2024; 55:89. https://doi.org/10.1186/s13567-024-01343-5

53. Rietz J., Ischebeck S., Conraths F. J., Probst C., Zedrosser A., Fiderer C., et al. Scavenger-induced scattering of wild boar carcasses over large distances and its implications for disease management. *Journal of Environmental Management*. 2024; 365:121554. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121554

54. Hyun C.-U., Park M., Lee W. Y. Remotely piloted aircraft system (RPAS)-based wildlife detection: a review and case studies in maritime Antarctica. *Animals*. 2020; 10 (12):2387. https://doi.org/10.3390/ani10122387

55. Просеков А. Ю. Характеристика и ключевые ограничения традиционных методов учета охотничьих животных и цифровые технологии для решения существующих проблем (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020; 21 (4): 341–354. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.341-354

Prosekov A. Yu. Characteristics and key limitations of traditional methods for accounting hunting animals and digital technologies for solving the existing problems (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020; 21 (4): 341–354. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.341-354 (in Russ.)

56. Prosekov A., Kuznetsov A., Rada A., Ivanova S. Methods for monitoring large terrestrial animals in the wild. *Forests*. 2020; 11 (8):808. https://doi.org/10.3390/f11080808

57. Tubis A. A., Poturaj H., Dereń K., Żurek A. Risks of drone use in light of literature studies. *Sensors*. 2024; 24 (4):1205. https://doi.org/10.3390/s24041205

58. Ivanova S., Prosekov A. Hunting resource management by population size control by remote sensing using an unmanned aerial vehicle. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2024; 23 (1): 391–399. https://doi.org/10.46488/NEPT.2024.v23i01.033

59. Lee M. J., Voss S. C., Franklin D., Dadour I. R. Preliminary investigation of aircraft mounted thermal imaging to locate decomposing remains via the heat produced by larval aggregations. *Forensic Science International*. 2018; 289: 175–185. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.05.028

60. Butters O., Krosch M. N., Roberts M., MacGregor D. Application of forward-looking infrared (FLIR) imaging from an unmanned aerial platform in the search for decomposing remains. *Journal of Forensic Sciences*. 2021; 66 (1): 347–355. https://doi.org/10.1111/1556-4029.14581

61. Peksa J., Mamchur D. A review on the state of the art in copter drones and flight control systems. *Sensors*. 2024; 24 (11):3349. https://doi.org/10.3390/s24113349

62. Askari M., Benciolini M., Phan H. V., Stewart W., Ijspeert A. J., Floreano D. Crash-perching on vertical poles with a hugging-wing robot. *Communications Engineering*. 2024; 3:98. https://doi.org/10.1038/s44172-024-00241-0

63. Mechan F., Bartonicek Z., Malone D., Lees R. S. Unmanned aerial vehicles for surveillance and control of vectors of malaria and other vector-borne diseases. *Malaria Journal*. 2023; 22:23. https://doi.org/10.1186/s12936-022-04414-0

64. Longmore S. N., Collins R. P., Pfeifer S., Fox S. E., Mulero-Pázmány M., Bezombes F., et al. Adapting astronomical source detection software to help detect animals in thermal images obtained by unmanned aerial systems. *International Journal of Remote Sensing*. 2017; 38 (8–10): 2623–2638. https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1280639

65. Prosekov A., Vesnina A., Atuchin V., Kuznetsov A. Robust algorithms for drone-assisted monitoring of big animals in harsh conditions of Siberian winter forests: recovery of European elk (*Alces alces*) in Salair mountains. *Animals*. 2022; 12 (12):1483. https://doi.org/10.3390/ani12121483

66. Zhou M., Elmore J. A., Samiappan S., Evans K. O., Pfeiffer M. B., Blackwell B. F., Iglay R. B. Improving animal monitoring using small unmanned aircraft systems (sUAS) and deep learning networks. *Sensors*. 2021; 21 (17):5697. https://doi.org/10.3390/s21175697

67. Samiappan S., Krishnan B. S., Dehart D., Jones L. R., Elmore J. A., Evans K. O., Iglay R. B. Aerial wildlife image repository for animal monitoring with drones in the age of artificial intelligence. *Database*. 2024; 2024:baae070. https://doi.org/10.1093/database/baae070

Поступила в редакцию / Received 28.02.2025
Поступила после рецензирования / Revised 08.04.2025
Принята к публикации / Accepted 05.05.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Беспалова Татьяна Юрьевна, заместитель руководителя группы, СамНИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Самара, Россия; *https://orcid.org/0000-0002-0264-0218, 27bt@mail.ru*

Корогодина Елена Владимировна, заместитель руководителя группы, СамНИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Самара, Россия; *https://orcid.org/0000-0003-1079-6287, ElenaKorogodina@inbox.ru*

Михалева Татьяна Владимировна, канд. вет. наук, ученый секретарь СамНИВИ – филиал ФГБНУ ФИЦВиМ, г. Самара, Россия; *https://orcid.org/0000-0001-6411-6027, tatyanamihaleva@mail.ru*

Tatiana Yu. Bespalova, Deputy Head of Group, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Samara, Russia; *https://orcid.org/0000-0002-0264-0218, 27bt@mail.ru*

Elena V. Korogodina, Deputy Head of Group, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Samara, Russia; *https://orcid.org/0000-0003-1079-6287, ElenaKorogodina@inbox.ru*

Tatyana V. Mikhaleva, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Academic Secretary, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Samara, Russia; *https://orcid.org/0000-0001-6411-6027, tatyanamihaleva@mail.ru*

Вклад авторов: Авторы внесли равный вклад на всех этапах работы и написания статьи.

Contribution of the authors: All authors contributed equally to this work at all stages as well as to paper text writing.