



Метод анализа иерархий как инструмент поддержки принятия решений при оценке риска заноса трансграничных инфекционных болезней животных на территорию Российской Федерации и на ранее благополучные территории

Н. В. Лебедев¹, А. С. Иголкин¹, К. Н. Груздев¹, Д. Г. Спири², М. А. Фарух², Н. В. Ермилов², Г. Г. Еремин²

¹ ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»), г. Владимир, Россия

² ФГБУ «48 Центральный научно-исследовательский институт» Минобороны России (48 ЦНИИ МО РФ), г. Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Отрасль животноводства все увереннее занимает свое место в экономике Российской Федерации. Активно растет ее экспортный потенциал. Уже сейчас на внешние рынки экспортируется до 10% производимой продукции сельского хозяйства. Спрос на продовольствие стабильно увеличивается в период кризисов, что, в свою очередь, повышает роль ветеринарной службы, задачами которой является охрана территории страны от заноса заразных болезней животных из иностранных государств, реализация мероприятий по предупреждению и ликвидации инфекционных и иных болезней сельскохозяйственных, домашних, зоопарковых и других животных, пушных зверей, птиц, рыб и пчел и осуществление региональных планов ветеринарного обслуживания животноводства. В статье дается обоснование и оценка возможности использования современных методов для анализа и прогнозирования распространения заболеваемости животных, выявления причинно-следственных связей, масштаба распространения особо опасных болезней животных. Авторами предлагается к рассмотрению возможность применения математического метода анализа иерархий в качестве научно-обоснованного инструмента поддержки принятия решений при оценке риска заноса трансграничных инфекционных болезней животных на ранее благополучные территории Российской Федерации. Данный подход может быть использован в процессе выбора наиболее актуальной альтернативы из нескольких вариантов оценки риска. Метод анализа иерархий – математический инструмент качественного системного подхода к решению проблем принятия решений. Этот метод разработан американским ученым Томасом Льюисом Саати в 1970-х годах, с тех пор он активно развивается и широко используется на практике. Метод анализа иерархий можно применять не только для сравнения объектов, но и для решения более сложных проблем управления и прогнозирования.

Ключевые слова: трансграничные инфекционные болезни животных, благополучная территория, оценка риска, экономический ущерб, эпизоотическая ситуация, метод анализа иерархий, поддержка принятия решений

Благодарности: Авторы выражают благодарность руководителю информационно-аналитического центра Управления ветнадзора кандидату ветеринарных наук Антону Константиновичу Караулову.

Для цитирования: Лебедев Н. В., Иголкин А. С., Груздев К. Н., Спири Д. Г., Фарух М. А., Ермилов Н. В., Еремин Г. Г. Метод анализа иерархий как инструмент поддержки принятия решений при оценке риска заноса трансграничных инфекционных болезней животных на территорию Российской Федерации и на ранее благополучные территории. *Ветеринария сегодня*. 2023; 12 (1): 87–96. DOI: 10.29326/2304-196X-2023-12-1-87-96.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Фарух Михаил Александрович, старший научный сотрудник отдела научно-исследовательского центра, 48 ЦНИИ МО РФ, 105005, Россия, г. Москва, e-mail: 48cni@mil.ru.

Analytical hierarchy process as a tool supporting a decision-making for assessment of the risk of transboundary infectious animal disease introduction to the Russian Federation and previously disease-free territories

N. V. Lebedev¹, A. S. Igoikin¹, K. N. Gruzdev¹, D. G. Spirin², M. A. Farukh², N. V. Ermilov², G. G. Eremin²

¹ FGBI "Federal Centre for Animal Health" (FGBI "ARRIAH"), Vladimir, Russia

² 48th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

SUMMARY

The livestock industry is increasingly taking its place in the economy of the Russian Federation. Its export potential is actively growing. Already, up to 10% of agricultural products are exported to foreign markets. The demand for food steadily increases during crises, which in turn increases the role of the veterinary

© Лебедев Н. В., Иголкин А. С., Груздев К. Н., Спири Д. Г., Фарух М. А., Ермилов Н. В., Еремин Г. Г., 2023

service, whose tasks include protecting the country's territory from the introduction of infectious diseases of animals from foreign countries; implementation of measures to prevent and eliminate infectious and other diseases in agricultural, domestic, zoo and other animals, fur-bearing animals, birds, fish and bees, as well as the implementation of plans of the regional veterinary service in the field of animal husbandry. The article assesses the validity of the possibilities and use of modern methods of analyzing and predicting the spread of animal morbidity, identifying cause-and-effect relationships and the extent of the spread of particularly dangerous animal diseases. The authors propose to consider the possibility of using the mathematical method of hierarchy analysis as a scientifically sound decision-making support tool when assessing the risk of introducing trans-border infectious animal diseases into previously prosperous territories of the Russian Federation. This approach can be used in the process of choosing the most appropriate alternative from several risk assessment options. The Hierarchy Analysis Method (MAI) is a mathematical tool for a qualitative systematic approach to solving decision-making problems. This method was developed by the American scientist Thomas Lewis Saati in 1970, since then it has been actively developing and widely used in practice. The hierarchy analysis method can be used not only to compare objects, but also to solve more complex management and forecasting tasks.

Keywords: transboundary infectious animal diseases, disease-free territory, risk assessment, economic damage, epidemic situation, Analytical Hierarchy Process method, decision-making support

Acknowledgements: The authors express their acknowledgements to Anton K. Karaulov, Candidate of Science (Veterinary Medicine), Head of Information Analysis Centre of the Veterinary Surveillance Department.

For citation: Lebedev N. V., Igolkin A. S., Gruzdev K. N., Spirin D. G., Farukh M. A., Ermilov N. V., Eremin G. G. Analytical hierarchy process as a tool supporting a decision-making for assessment of the risk of transboundary infectious animal disease introduction to the Russian Federation and previously disease-free territories. *Veterinary Science Today*. 2023; 12 (1): 87–96. DOI: 10.29326/2304-196X-2023-12-1-87-96.

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

For correspondence: Mikhail A. Farukh, Senior Researcher of the Research Centre, 48th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 105005, Russia, Moscow, e-mail: 48cnii@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации продолжается наращивание внутреннего производства продукции животноводства, что способствует укреплению продовольственной безопасности страны, доступности пищевых продуктов для населения, обеспечению промышленности сырьем [1]. Несмотря на то что животноводство все еще зависит от внешнеэкономических факторов, оно уверенно начинает занимать важное место в экономике страны. Активно растет экспортный потенциал. Уже сейчас на внешние рынки экспортируется до 10% производимой продукции сельского хозяйства. Как известно, спрос на продовольствие стабильно увеличивается в период кризисов. На востребованность сельскохозяйственной продукции влияет и демографический фактор. К 2030 г. в мире появится 765 млн новых потребителей, из них 340 млн человек будут жить в Африке, 126 млн – в Индии, 30 млн – в Китае [2]. Инвестиционная политика государства дала результаты – построены современные животноводческие комплексы по производству свинины, молока, мяса птицы и яиц. В то же время из-за процессов глобализации активизировалось распространение инфекционных болезней животных, включая зоонозы. В соответствии с законом РФ «О ветеринарии» задачами отрасли является охрана территории страны от заноса заразных болезней животных из иностранных государств, реализация мероприятий по предупреждению и ликвидации заразных и иных болезней животных, включая сельскохозяйственных, домашних, зоопарковых и др., пушных зверей, птиц, рыб и пчел, и осуществление региональных планов ветеринарного обслуживания животноводства. Особенностью России является наличие протяженной сухопутной границы с сопредельными

государствами, которые являются неблагополучными по трансграничным болезням животных [3].

Трансграничные болезни животных (ТБЖ) – это заболевания, протекающие в виде эпизоотий, высококонтагиозные либо трансмиссивные, имеющие потенциал к быстрому распространению, способные легко преодолевать границы стран и достигать масштабов эпидемии. Для контроля/управления, включая искоренение, ТБЖ требуют межгосударственного сотрудничества [4–6]. К ним, по определению Всемирной организации здравоохранения животных, относятся: африканская чума лошадей, африканская чума свиней (АЧС), блютанг, ньюкаслская болезнь, везикулярная болезнь свиней, везикулярный стоматит, высокопатогенный грипп птиц, геморрагическая болезнь кроликов, заразный узелковый дерматит, классическая чума свиней, контагиозная плевропневмония крупного рогатого скота, лихорадка долины Рифт, оспа овец и оспа коз, чума крупного рогатого скота, чума мелких жвачных, ящур [7]. Эти инфекции несут огромные экономические потери из-за прямого и косвенного ущерба, а также введения торговых ограничений.

Так, эпизоотия классической чумы свиней 1997 г. в Нидерландах привела к уничтожению 10 млн свиней, оценочная стоимость ущерба составила 2,3 млрд долларов США [8]. В том же году ящур привел к разрушению свиноводческой отрасли Тайваня. Пострадали более 6 тыс. ферм, при этом 4 млн голов свиней подверглись депопуляции, ущерб составил 560 млн долларов США [9]. Финансовые потери после вспышки ящура в Великобритании в 2001 г. исчислялись 3,1 млрд фунтов стерлингов (4,4 млрд долларов США) только для сельскохозяйственной отрасли и пищевой промышленности [10]. В качестве примера негатив-

ного воздействия ТБЖ на экономику можно привести эпизоотию АЧС на Гаити в 1978 г. Тотальное уничтожение популяции свиней на острове привело к резкому снижению уровня жизни сельского населения [11]. Подобная ситуация повторилась в 2021 г. после заноса АЧС вначале в Доминиканскую Республику, а затем в Республику Гаити. Для своевременного купирования распространения заболеваний ТБЖ подлежат обязательной нотификации Всемирной организации здравоохранения животных [12].

Согласно приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 09.03.2011 № 62, ТБЖ внесены в Перечень заразных и иных болезней животных [13].

Если в прошлые годы пути распространения любой инфекции ограничивались ее природными ареалами, то в новых условиях активной мировой торговли и логистических потоков естественных преград для распространения трансграничных болезней, в первую очередь зоонозных и антропонозных, практически не существует [14].

Официальная торговля животными и продуктами животноводства регулируется международным и национальными законодательствами. Однако почти невозможно контролировать незаконное перемещение животных, происходящее в процессе неформальной торговли, которое влечет за собой трансграничную передачу инфекций. Чаще всего источником заражения выступают мясные продукты, кроме того, определенную роль играют фомиты. Живые животные также служат источником ТБЖ при контакте со здоровыми на совместных пастбищах при выгульном содержании, особенно в горных районах [15, 16].

В последние годы все чаще регистрируются случаи возникновения эмерджентных инфекций. Это не только меняет географию и структуру мировой эпизоотологии, но и заставляет переосмысливать меры предотвращения заноса, распространения и способы ликвидации болезней животных, осуществлять поиск научно обоснованных подходов к принятию решений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При выполнении исследований проведен сбор и анализ информации по эпизоотической ситуации, использованию методов оценки возможностей и риска заноса инфекционных болезней животных на территорию РФ и свободные от патогенов территории страны, методов и практики принятия управленческих решений в ветеринарии и других сферах деятельности. В работе также приведена характеристика ТБЖ. Применялись общепринятые методы анализа данных: обобщение и формализация, метод сравнительного анализа, методы описательной статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Трансграничные болезни животных являются глобальной проблемой. В то же время имеющиеся научные публикации не отражают в полной мере эпизоотологических особенностей этих инфекций, закономерностей их распространения на уровне государства или группы государств, в т. ч. их угрозы для свободных от патогенов территорий. Важное значение для предотвращения проникновения возбудителей ТБЖ различными путями является готовность ветеринарных служб государств, регионов к надлежащему и оперативному выявлению, расследованию и контролю вспышек. Проведенный

анализ показал, что многие страны, особенно развивающиеся, не имеют достаточного ветеринарного и диагностического потенциала для выполнения необходимых действий [15, 17–24]. Однако и в развитых странах при заносе ряда особо опасных заболеваний вышеперечисленные меры оказываются неэффективными. Так, при распространении АЧС (II генотипа) в Европейском союзе и Китае ни в одной из пострадавших стран (Венгрия, Румыния, Болгария и Бельгия) источник инфекции выявить не удалось.

Используемые методы эпизоотологического анализа часто ограничиваются руководствами описательного характера. Лишь в начале XXI в. появились работы, в которых при анализе распространения эпизоотий среди сельскохозяйственных животных начали применять современные геоинформационные методы исследования, компьютерные программы и технологии (например, ArcGIS) [25, 26]. Прикладное использование геоинформационной системы в ветеринарии связано с визуализацией данных о возникновении/распространении очагов неблагополучия, созданием динамических и ситуационных карт, определением корреляции трендов заболеваемости с хозяйственными, климатическими, географическими, социальными и другими факторами [27]. Система позволяет провести анализ и спрогнозировать распространение заболеваемости, выявить причинно-следственные связи между повышенной заболеваемостью и эколого-географическими факторами риска, а также установить географические факторы локализации и масштаб распространения особо опасных заболеваний сельскохозяйственных животных для научного обоснования целевого мониторинга эпизоотической ситуации и др. [28].

Филогенетический анализ возбудителей инфекций позволяет выявить наиболее вероятные источники заноса вируса и пути его распространения. Например, филогенетический анализ британского изолята вируса ящура 2001 года показал его сходство с южноафриканским [24, 29]. Североамериканские штаммы вируса эпидемической диареи свиней оказались схожи с китайскими [30]. Генетический анализ возбудителя АЧС II генотипа из Китая показал его вероятное восточноевропейское происхождение [31].

Большая работа по обоснованию возможностей и использованию современных методов анализа для прогнозирования распространения заболеваний животных проводится сотрудниками информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ». Специалисты осуществляют сбор и анализ информации по эпизоотической ситуации в зарубежных странах, анализ риска заноса в РФ особо опасных заболеваний, в том числе при импорте/экспорте животных и сельскохозяйственной продукции, также занимаются картографированием, моделированием, созданием и поддержкой баз данных.

Надстройка для ArcGIS, помогающая в выявлении пространственно-временных закономерностей, нашла практическое применение в ветеринарии. Основанная на понятии пространственно-временного куба, она позволяет выявлять временные тренды возрастания/убывания концентрации вспышек с учетом их взаимного расположения, анализировать места и тренды возникновения горячих точек и также данных в каждой отдельной локации.

Используются встроенные инструменты геопространственной статистики ArcGIS для выявления и визуализации тенденций пространственно-временного распространения заболеваний – эллипс стандартного отклонения (Standard Deviation Ellipse), стандартное расстояние (Standard Distance), средний центр (Mean Center). Геопространственный анализ данных позволяет выявлять тенденции распространения, выделять факторы риска, прогнозировать развитие эпизоотий [28].

Географический подход помогает создавать базы данных по заболеваниям животных с геопространственной привязкой. Визуализация данных с помощью карт дает наглядное представление об эпизоотической ситуации с возможностью ее предварительного визуального анализа [32].

Для расчета прогностических значений числа очагов АЧС используют модель «пуассоновское случайное блуждание с учетом тренда». Моделирование выполняют методом симуляций Монте-Карло при 10 000 итерациях в программе @Risk. Результат моделирования представляют в виде среднего ожидаемого количества вспышек, а также 95%-го доверительного интервала [33].

Также применяют метод бифуркационного анализа [14].

Использование описательных рутинных и вновь разработанных методов позволило сделать вывод о том, что на вероятность возникновения ТБЖ влияет ряд факторов:

- наличие восприимчивых животных;
- плотность популяции животных;
- обеспечение объективного учета и идентификации животных;
- географические условия;
- климатические условия региона;
- наличие векторов передачи инфекции;
- система содержания животных и организация процесса производства животноводческой продукции;
- активность антропогенных факторов;
- используемые методы борьбы с болезнями животных;
- состояние ветеринарной службы;
- наличие нормативной базы для борьбы с ТБЖ;
- наличие и реализация федеральных и региональных программ;
- мониторинг циркуляции возбудителей инфекционных болезней животных;
- общий уровень развития региона/страны;
- степень межведомственного взаимодействия;
- обеспечение жесткого контроля и надзора за перемещением животных и продукции животного происхождения в соответствии с решением об установлении статуса регионов РФ по заразным болезням животных и условиях перемещения подконтрольных госветназору товаров;
- уровень и системность разъяснительной работы с населением по вопросам опасности заразных, в т. ч. трансграничных болезней животных, экономических последствий их заноса и распространения [4, 5, 34–38].

Все описанные выше и некоторые другие математические методы анализа эпизоотической ситуации используются ветеринарной службой при оценке риска заноса ТБЖ на ранее благополучные территории РФ

и с целью своевременного предупреждения угроз их распространения. Своевременность противоэпизоотических мероприятий в случае возникновения вспышки – основной фактор недопущения распространения болезни по территории, свободной от патогена.

Риск определяется как вероятность нежелательного исхода. Этот потенциал часто используется для прогнозирования различных ситуаций.

Оценка риска – научный метод расчета вероятности вредоносного воздействия на здоровье людей, животных или экономику идентифицированного источника опасности или фактора риска, осуществляемого с максимальной возможной объективностью. При этом фактор риска представляет собой любой биологический, химический или физический агент или действия, которые могут нанести вред или оказать негативное влияние на здоровье/продуктивность.

Анализ риска включает в себя три самостоятельных, но тесно связанных между собой элемента: оценка риска, контроль за фактором/факторами риска, информирование о риске.

Методологически существуют следующие варианты оценки риска: качественный, полуколичественный и количественный. Качественный метод является наиболее доступным, он позволяет получить информацию быстро и в общей форме. Данный метод анализа риска («дерево решений») предложен в США в конце 50-х годов XX века. При анализе риска заноса возбудителя, проводимом качественным методом для оценки вероятности распространения, применяется системное моделирование.

При использовании полуколичественного метода предпринимается попытка провести ранжирование уровней риска (высокий, средний, низкий) на основе балльной оценки, выводимой группой экспертов.

Стоит отметить, что количественный метод более информативен, но требует точных данных, времени и специальной подготовки [21, 39–45]. Оценка риска может помочь в выявлении путей заноса и возможного воздействия патогена. Однако количественная информация о неофициальных путях интродукции заболеваний либо отсутствует, либо бывает неполной, что затрудняет оценку фактических величин рисков. Тем не менее эти знания необходимы для создания программ информирования, профилактики и эпизоотологического надзора, основанных на рисках, которые соответствуют реальности [46].

Перечисленные методы дополняют друг друга и реализуются одновременно в процессе решения поставленной задачи (оценки риска). Качественный анализ позволяет провести оценку риска заноса заболевания на ранее благополучную территорию, количественным методом оценивают возможное распространение и ущерб от заболевания, а полуколичественным оценивают общий риск в данной ситуации [47]. Все это можно считать информационным обеспечением процесса принятия управленческого решения.

Принятие решений является самым ответственным моментом. Решение – это выбор альтернативы из множества вариантов действий для достижения поставленной цели как завершающий этап процесса управления. Принимающему решению важно иметь уверенность в том, что процедура принятия решений правильна и желательна. Основные этапы процесса принятия управленческого решения включают постановку цели,

оценку ситуации, определение проблемы и поиск способов ее разрешения [48]. Принимающий решение должен владеть методологией теоретических и практических знаний в области принятия решений, в частности в области ветеринарии, компетентно определять подходы для обеспечения благополучия территорий и недопущения проникновения возбудителей ТБЖ, уметь применять теоретические знания для анализа проявлений болезни, комплексно использовать интеллектуальные инструменты для решения возникающих практических проблем.

Метод анализа иерархий (МАИ) – математический инструмент качественного системного подхода к сложным проблемам принятия решений. Метод не предлагает лицу, принимающему решение, какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению. Этот метод разработан американским ученым Томасом Льюисом Саати в 1970-х [49, 50], с тех пор он активно развивается и широко используется на практике. МАИ можно применять не только для сравнения объектов, но и для решения более сложных проблем управления и прогнозирования [51].

Иерархия – система, в которой уровни расположены и пронумерованы так, что:

- 1) нижний уровень содержит альтернативы рейтинга;
- 2) узлы уровней с большими номерами могут доминировать только над узлами уровней с меньшими номерами.

Таким образом, в иерархии связи определяют пути одной направленности – от вершины к альтернативам через промежуточные уровни, которые состоят из узлов-факторов (рис.).

Основным достоинством МАИ является высокая универсальность – метод может применяться для решения самых разнообразных задач: анализа возможных сценариев развития ситуации, распределения ресурсов, составления рейтинга клиентов, а также принятия кадровых решений.

Основным недостатком МАИ является необходимость получения большого объема информации от экспертов. Метод больше всего подходит для тех случаев, когда основная часть данных базируется на предпочтениях лица, принимающего решение, в процессе выбора наилучшего варианта решения из множества альтернатив.

В типичной ситуации принятия решения:

- рассматривается несколько вариантов решения;
- задан критерий, по которому определяется, в какой мере то или иное решение является подходящим;
- известны условия, в которых решается проблема, и причины, влияющие на выбор того или иного решения.

Постановка задачи в процессе применения МАИ: пусть имеется множество альтернатив (вариантов решений): V_1, V_2, \dots, V_n . Для нашей цели определения риска ТБЖ – это высокий, умеренный и низкий. Каждая из альтернатив оценивается списком критериев: K_1, K_2, \dots, K_n . Например, в случае анализа риска заноса АЧС оценочными критериями являются: кормовая база, контакты с дикими животными, контакты с домашними животными, контакты с кровососущими насекомыми, антропогенное вмешательство, транспортный критерий и условия содержания. Требуется определить

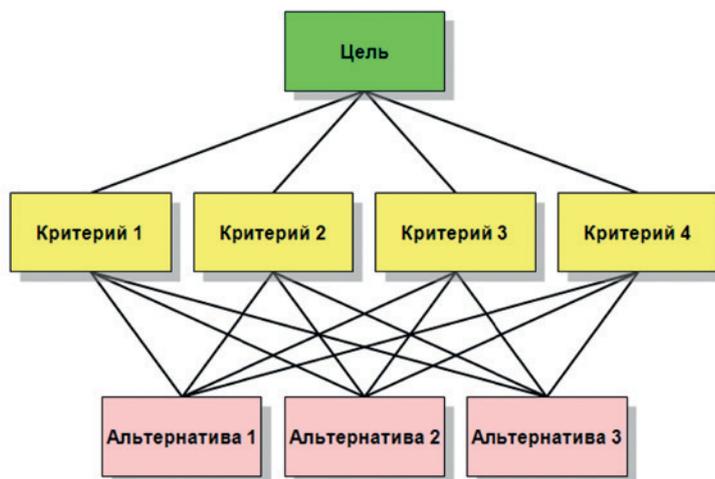


Рис. Простейшая иерархия МАИ.

Чтобы избежать беспорядка в диаграммах МАИ, связи, соединяющие альтернативы и их покрывающие критерии, часто опускаются или их количество искусственно уменьшается

Fig. Simple AHP hierarchy.

To avoid confusion in AHP diagrams, links connecting alternatives and their covering criteria are often omitted or artificially reduced in number

степень риска заноса заболевания на ранее благополучные территории.

Рассмотрим этапы применения МАИ.

Первый шаг – предварительное ранжирование критериев, в результате которого они располагаются в порядке убывания важности (значимости).

Второй шаг – попарное сравнение критериев по важности по девятибалльной шкале с составлением соответствующей матрицы (таблицы) размера $n \times n$.

Система парных сведений приводит к результату, который может быть представлен в виде обратной симметричной матрицы. Элементом матрицы (i, j) является интенсивность проявления элемента иерархии i относительно элемента иерархии j , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9, где оценки имеют следующий смысл:

- равная важность – 1;
- умеренное превосходство – 3;
- значительное превосходство – 5;
- сильное превосходство – 7;
- очень сильное превосходство – 9;
- в промежуточных случаях ставятся четные оценки – 2, 4, 6, 8.

При этом при проведении попарных сравнений элементов А и Б в основном ставятся следующие вопросы:

- какой из них важнее или имеет большее воздействие;
- какой из них более вероятен;
- какой из них предпочтительнее?

Третий шаг – формирование матрицы. Если элемент i важнее элемента j , то клетка $K_i:K_j$, соответствующая строке i и столбцу j , заполняется целым числом, а клетка $K_j:K_i$, соответствующая строке j и столбцу i , заполняется обратным числом (табл. 1).

Например, если вес критерия K_1 (кормовая база) умеренно превосходит K_4 (перемещение животных), то в клетку $K_1:K_4$ (на пересечении первой строки и четвертого столбца) ставится число 3, а в клетку $K_4:K_1$ (четвертая строка, первый столбец) – обратная

Таблица 1
Форма таблицы сравнения критериев риска заноса АЧС

Table 1
Model table for comparison of ASF introduction risk criteria

	K_1	K_2	...	K_n	Средние геометрические	Нормализованный вектор приоритетов, НВП (формула 3)
K_1						
K_2						
...						
K_n						
Итого					формула 2	
λ_{\max}	формула 4					
Индекс согласования, ИС	формула 5					
Отношение согласованности, ОС	формула 6					

величина, равная 1/3. Если же элемент j более важен, чем элемент i , то целое число ставится в клетку $K_j:K_i$, а обратная величина – в клетку $K_i:K_j$. Если считается, что i и j одинаковы, то в обе клетки ставится единица.

Заполнение таблицы проводится построчно с наиболее важного критерия. Сначала проставляют целочисленные оценки, соответствующие им дробные оценки получаются автоматически (как обратные к целым числам). Чем важнее критерий, тем больше целочисленных оценок будет в соответствующей ему строке матрицы, и сами оценки будут иметь большие значения. Так как каждый критерий равен себе по важности, то главная диагональ матрицы всегда будет состоять из единиц. Очевидно, что сумма компонентов равна единице. Каждый компонент нормализованного вектора приоритетов (НВП) представляет собой оценку важности соответствующего критерия (например, 1-й компонент представляет собой оценку важности первого критерия).

Расчет среднего геометрического в каждой строке матрицы:

$$a_1 = \sqrt[n]{\text{произведение элементов } 1^{\text{й}} \text{ строки}};$$

$$a_2 = \sqrt[n]{\text{произведение элементов } 2^{\text{й}} \text{ строки}};$$

$$\dots$$

$$a_n = \sqrt[n]{\text{произведение элементов } n^{\text{й}} \text{ строки}}. \quad (1)$$

Расчет суммы средних геометрических:

$$\sum a_j = a_1 + a_2 + \dots + a_n. \quad (2)$$

Расчет компонентов НВП:

$$1^{\text{й}} \text{ компонент НВП} = \frac{a_1}{(\sum a_j)};$$

$$2^{\text{й}} \text{ компонент НВП} = \frac{a_2}{(\sum a_j)};$$

$$n^{\text{й}} \text{ компонент НВП} = \frac{a_n}{(\sum a_j)}. \quad (3)$$

Таблица 2
Значение показателя случайной согласованности

Table 2
Random consistency index

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПСС	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Проверка согласованности локальных приоритетов путем расчета трех характеристик:

– собственное значение матрицы:

$$\lambda_{\max} = \sum 1^{\text{го}} \text{ столбца} \times 1^{\text{й}} \text{ НВП} + \sum 2^{\text{го}} \text{ столбца} \times 2^{\text{й}} \text{ НВП} + \dots + \sum n^{\text{го}} \text{ столбца} \times n^{\text{й}} \text{ НВП}; \quad (4)$$

– индекс согласования:

$$\text{ИС} = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1}; \quad (5)$$

– отношение согласованности (%):

$$\text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{ПСС}}; \quad (6)$$

где ПСС – показатель случайной согласованности, определяемый теоретически для случая, когда оценки в матрице представлены случайным образом, и зависящий только от размера матрицы, как это представлено в таблице 2 (*четвертый шаг*).

Оценки в матрице считаются согласованными, если $\text{ОС} \leq 10\text{--}15\%$, в противном случае их надо пересматривать.

Пятый шаг – проводится попарное сравнение вариантов (степеней риска) по каждому критерию аналогично тому, как это делалось для критериев, и заполняются соответствующие таблицы.

Для каждой таблицы проводится проверка согласованности локальных приоритетов путем расчета трех характеристик (этап четыре).

На *шестом шаге* определяется общий критерий (приоритет) для каждого варианта (степеней риска):

$$K(B_1) = B_1 \text{ по } 1^{\text{му}} \text{ крит.} \times 1^{\text{й}} \text{ НВП} + B_1 \text{ по } 2^{\text{му}} \text{ крит.} \times 2^{\text{й}} \text{ НВП} + \dots + B_1 \text{ по } n^{\text{му}} \text{ крит.} \times n^{\text{й}} \text{ НВП}. \quad (7)$$

Аналогично подсчитываются $K(B_2), K(B_3) \dots K(B_k)$, при этом в выражении B_1 заменяется на $B_2, B_3 \dots B_k$ соответственно. Заполняется таблица 3.

Седьмой шаг. Определяется наилучшее решение, для которого значение K максимально.

Восьмой шаг. Проверяется достоверность решения:

– производится расчет обобщенного индекса согласования:

$$\text{ОИС} = \text{ИС}_1 \times 1^{\text{й}} \text{ компонент НВП} + \text{ИС}_2 \times 2^{\text{й}} \text{ компонент НВП} + \dots + \text{ИС}_n \times n^{\text{й}} \text{ компонент НВП}; \quad (8)$$

– рассчитывается обобщенное отношение согласованности:

$$\text{ООС} = \frac{\text{ОИС}}{\text{ОПСС}}; \quad (9)$$

где ОПСС определяется по таблице 1 на уровне ПСС для матриц сравнения вариантов по критериям. Решение считается достоверным, если $\text{ООС} \leq 10\text{--}15\%$, в противном случае нужно корректировать матрицы сравнения вариантов по критериям.

В качестве примера приведем оценку риска заноса ТБЖ на ранее благополучные территории.

Предположим, что необходимо определить степень риска заноса ТБЖ на территорию ранее благополучного региона № 1.

Таблица 3
Форма таблицы – расчета итоговых значений приоритетов

Table 3
Model table – calculation of final priorities

	K_1	K_2	...	K_n	Итоговые значения приоритетов (формула 7)
	приводятся значения 1-го компонента НВП из таблицы 2	приводятся значения 2-го компонента НВП из таблицы 2		приводятся значения n-го компонента НВП из таблицы 2	
B_1					$K(B_1) =$
B_2					$K(B_2) =$
...					...
B_k					$K(B_k) =$
ИС	приводится значение ИС ₁ по K_1	приводится значение ИС ₂ по K_2	...	приводится значение ИС _n по K_n	приводится сумма по столбцу
ОИС	рассчитывается по формуле 8				
ООС	рассчитывается по формуле 9				

Таблица 4
Сравнение критериев риска заноса ТБЖ

Table 4
Comparison of transboundary animal disease introduction risk criteria

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	Средние геометрические	НВП
K_1	1	7	7	7	7	7	7	5,3	0,5
K_2	1/7	1	5	1	7	5	1	1,6	0,15
K_3	1/7	1/5	1	1/5	1/3	1/3	3	0,4	0,04
K_4	1/7	1	5	1	5	3	1	1,4	0,13
K_5	1/7	1/7	3	1/5	1	1/3	1/3	0,4	0,04
K_6	1/7	1/5	3	1/3	3	1	1	0,7	0,07
K_7	1/7	1	1/3	1	3	1	1	0,8	0,07
ИТОГ (сумма)	1,9	10,5	24,3	10,7	26,3	17,6	14,3	10,6	1
λ_{\max}	8,17								
ИС	0,19								
ОС	0,14								

14 января 2021 г. на территории сопредельного региона № 2 вблизи границы с благополучным регионом обнаружено 12 трупов диких кабанов, зараженных возбудителем ТБЖ.

25 февраля 2021 г. в колбасе, завезенной в благополучный регион № 1 из удаленного региона № 3, обнаружили геном возбудителя ТБЖ.

14 октября 2021 г. появилось сообщение о том, что ветеринары нашли в ранее благополучном регионе № 1 зараженную продукцию животноводства. Геном возбудителя ТБЖ обнаружили во время лабораторных исследований замороженного мяса, доставленного в регион № 1 из региона № 4, а туда, судя по документам, продукция попала из региона № 5.

Обозначим три альтернативы: B_1 – высокий риск, B_2 – умеренный риск и B_3 – низкий риск. Каждую из альтернатив оценим списком критериев: K_1 – кормовая база, K_2 – антропогенное вмешательство, K_3 – контакты с дикими животными, K_4 – контакты с домашними животными, K_5 – контакты с кровососущими насекомыми, K_6 – условия содержания, K_7 – транспортный.

Проведем попарное сравнение критериев по важности, используя девятибалльную шкалу, с составлением соответствующей матрицы размера 7×7 . При этом учитываем факты, изложенные в начале решения задачи.

Таблица 5
Сравнение критериев для степеней риска заноса ТБЖ

Table 5
Comparison of criteria for transboundary animal disease risk level

	B_1	B_2	B_3
K_1	7	3	1
K_2	7	3	1
K_3	7	3	1
K_4	1	1	1
K_5	1	1	1
K_6	1	1	1
K_7	7	3	1

Заполнение таблицы 4 проводится построчно, начиная с наиболее важного критерия, с использованием формул (2–6). Значение ПСС согласно таблице 2 будет равно 1,32.

Оценки в матрице можно считать согласованными, так как $ОС = 0,14$ укладывается в $ОС \leq 10–15\%$.

Сравнивая варианты (степени риска) между собой, будем считать их равновероятными.

Определяем наилучшее решение, для которого значение каждого из критериев максимально (табл. 5).

Исходя из максимальной суммы столбца для V_1 (31 балл), делаем вывод о высоком риске заноса на территорию свободного региона № 1 возбудителя ТБЖ.

При расчете обобщенного отношения согласованности по формуле (9) получаем $OOS = 0,14\%$, а значит, решение можно считать достоверным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая взаимосвязанность и плотную логистическую сеть между странами в вопросах торговли живыми животными и продуктами животного происхождения, занос и дальнейшее распространение особо опасных болезней, в т. ч. трансграничных, на благополучные территории сейчас и в ближайшем будущем остается серьезной угрозой для всего животноводства.

Возможность применения метода анализа иерархий как одного из инструментов принятия решений при оценке риска возникновения и заноса трансграничных болезней животных позволит качественно представить масштаб опасности и заблаговременно провести профилактические мероприятия. При этом следует учитывать необходимость наличия достоверных сведений количественного и качественного характера при использовании данной методологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Староверов В. И., Вартанова М. Л. Продовольственная безопасность России – важнейшая составляющая демографической политики страны. *Экономические отношения*. 2019; 9 (4): 2851–2862. DOI: 10.18334/eo.9.4.41461.
2. Вартанова М. Л. Глобальные тренды продовольственной политики и их влияние на демографическое развитие. *Экономические отношения*. 2019; 9 (4): 2877–2888. DOI: 10.18334/eo.9.4.41507.
3. О ветеринарии: закон РФ от 14.05.1993 № 4979-1. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_4438.
4. Руководство по вирусологии. Вирусы и вирусные инфекции человека и животных. Под ред. Д. К. Львова. М.: Медицинское информационное агентство; 2013. 1200 с.
5. Инфекционная патология животных: в 2 т. Т. 1. Под ред. А. Я. Самуйленко и др. М.: Академкнига; 2006. 910 с.
6. FAO Expert Consultation on the Emergency Prevention System (EMPRES) for Transboundary Animal and Plant Pests and Diseases (Livestock Diseases Programme) including the Blueprint for Global Rinderpest Eradication and Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Prevention and control of transboundary animal diseases: report of the FAO Expert Consultation on the Emergency Prevention System (EMPRES) for Transboundary Animal and Plant Pests and Diseases (Livestock Diseases Programme) including the Blueprint for Global Rinderpest Eradication, Rome, Italy, 24–26 July 1996*. Режим доступа: <https://www.fao.org/3/W3737E/W3737E00.htm>.
7. Animal Diseases. Режим доступа: <https://www.woah.org/en/what-we-do/animal-health-and-welfare/animal-diseases>.
8. Meuwissen M. P., Horst S. H., Huirne R. B., Dijkhuizen A. A. A model to estimate the financial consequences of classical swine fever outbreaks: principles and outcomes. *Prev. Vet. Med.* 1991; 42 (3–4): 249–270. DOI: 10.1016/S0167-5877(99)00079-3.
9. Yang P. C., Chu R. M., Chung W. B., Sung H. T. Epidemiological characteristics and financial costs of the 1997 foot-and-mouth disease epidemic in Taiwan. *Vet. Rec.* 1999; 145 (25): 731–734. DOI: 10.1136/vr.145.25.731.
10. Thompson D., Muriel P., Russell D., Osborne P., Bromley A., Rowland M., et al. Economic costs of the foot and mouth disease outbreak in the United Kingdom in 2001. *Rev. Sci. Tech.* 2002; 21 (3): 675–687. DOI: 10.20506/rst.21.3.1353.
11. Zepeda C., Morilla A., Yoon K.-J., Zimmerman J. The social impact of disease control and eradication programs: case studies. In: *Trends in Emerging Viral Infections of Swine*. 2002; 17–20. DOI: 10.1002/9780470376812.ch1c.
12. Макаров В. В., Грубый В. А., Груздев К. Н., Сухарев О. И. Список МЭБ и трансграничные инфекции животных: монография. Владимир: ФГБУ «ВНИИЗЖ»; 2012. 162 с.
13. Об утверждении Перечня заразных и иных болезней животных: приказ МСХ РФ от 09.03.2011 № 62. Режим доступа: <https://base.garant.ru/2174787>.
14. Дудин М. Н., Шкодинский С. В., Усманов Д. И. Бифуркационный анализ современного состояния российской экономики: влияние COVID-19 на ключевые процессы развития. *Экономические отношения*. 2022; 12 (2): 155–178. DOI: 10.18334/eo.12.2.114554.
15. Beltran-Alcrudo D., Falco J. R., Raizman E., Dietze K. Transboundary spread of pig diseases: the role of international trade and travel. *BMC Vet. Res.* 2019; 15:64. DOI: 10.1186/s12917-019-1800-5.
16. Zepeda C., Salman M., Ruppner R. International trade, animal health and veterinary epidemiology: challenges and opportunities. *Prev. Vet. Med.* 2001; 48 (4): 261–271. DOI: 10.1016/S0167-5877(00)00200-2.
17. Алехин А. Ф., Мищенко В. А. Особенности течения чумы среди крупного рогатого скота, выпасающегося на отгонном пастбище. *Вопросы ветеринарной вирусологии, микробиологии и эпизоотологии: материалы научной конференции ВНИИВВиМ (Псков, 13–18 апреля 1992 г.)*. Т. 1. Псков; 1992; 151–152.
18. Банди Ц. Эффективность комплексной системы противозооотических мероприятий при ящуре в Монголии в 2011–2013 гг.: автореф. дис. ... канд. вет. наук. Владимир; 2013. 25 с.
19. Белик Е. В., Дудников С. А., Лядский М. М., Бельчихина А. В., Гуленкин В. М., Караулов А. К., Дудорова М. В. Анализ риска заноса и распространения африканской чумы свиней на территории Владимирской области: информационно-аналитический обзор. Владимир; ФГУ «ВНИИЗЖ»; 2009. 97 с.
20. Bouchemla F., Agoltsov V. A., Popova O. M., Padilo L. P. Assessment of the peste des petits ruminants world epizootic situation and estimate its spreading to Russia. *Vet. World.* 2018; 11 (5): 612–619. DOI: 10.14202/vetworld.2018.612-619.
21. Гуленкин В. М., Караулов А. К., Лозовой Д. А., Захаров В. М. Экспертная оценка риска заноса ящура на территорию Российской Федерации из неблагополучных государств. *Ветеринария сегодня*. 2018; (2): 36–41. DOI: 10.29326/2304-196X-2018-2-25-36-41.
22. Караулов А. К., Гуленкин В. М., Титов М. А., Захаров В. М., Дудникова Н. С., Дудников С. А. Анализ риска заноса блутанга (катаральной лихорадки овец) со скотом, импортируемым в Россию из стран Западной Европы. *Российский ветеринарный журнал. СХЖ*. 2008; Спецвыпуск (сентябрь): 33–35.
23. Кононов А. В., Караулов А. К., Гуленкин В. М., Пискунов А. В., Петрова О. Н., Спрыгин А. В. и др. Прогноз по чуме мелких жвачных животных в Российской Федерации на 2019 год. В кн.: *Прогнозы по заразным болезням животных в Российской Федерации на 2019 год*. Владимир: ФГБУ «ВНИИЗЖ»; 2018; 233–250.
24. Pharo H. J. Foot-and-mouth disease: an assessment of the risks facing New Zealand. *N. Z. Vet. J.* 2002; 50 (2): 46–55. DOI: 10.1080/00480169.2002.362650.
25. Боев Б. В., Макаров В. В. Гео-информационные системы и эпидемии гриппа. *Ветеринарная патология*. 2004; 3: 51–59. eLIBRARY ID: 9165685.
26. Гинцбург А. Л., Боев Б. В. Компьютерное моделирование эпидемий. *Наука в России*. 2005; 5: 52–57. eLIBRARY ID: 17688485.
27. Бельчихина А. В., Дудорова М. В. Разработка на базе Arc GIS атласа эпидемиологических объектов Владимирской области. *Геоинформационные системы в здравоохранении РФ: данные, аналитика, решения: труды 1-й и 2-й Всероссийских конференций с международным участием (26–27 мая, 2011 г. и 24–25 мая 2012 г.)*. СПб.: Береста; 2013; 42–45.
28. Коренной Ф. И. Математико-картографическое моделирование распространения особо опасных заболеваний сельскохозяйственных животных: автореф. дис. ... канд. географ. наук. М.; 2019. 22 с.
29. Amimo J. O., Okoth E., Junga J. O., Ogara W. O., Njihira M. N., Wang Q., et al. Molecular detection and genetic characterization of kobuviruses and astroviruses in asymptomatic local pigs in East Africa. *Arch. Virol.* 2014; 159 (6): 1313–1319. DOI: 10.1007/s00705-013-1942-x.
30. Huang Y. W., Dickerman A. W., Piñeyro P., Li L., Fang L., Kiehne R., et al. Origin, evolution, and genotyping of emergent porcine epidemic diarrhea virus strains in the United States. *mBio*. 2013; 4 (5): e00737-13. DOI: 10.1128/mBio.00737-13.
31. Zhou X., Li N., Luo Y., Liu Y., Miao F., Chen T., et al. Emergence of African swine fever in China, 2018. *Transbound. Emerg. Dis.* 2018; 65 (6): 1482–1484. DOI: 10.1111/tbed.12989.
32. Коренной Ф. И., Петрова О. Н., Караулов А. К. Применение инструментов геопространственного анализа ГИС для выявления пространственно-временных закономерностей распространения зоонозных инфекций. Режим доступа: <https://snipchi.ru/updoc/2017/Prezentazii/Korennoy%20F.%20I.%20«Применение%20инструментов%20геопространственного%20анализа.pdf>.
33. Петрова О. Н., Коренной Ф. И., Караулов А. К., Шевцов А. А., Гуленкин В. М. Прогноз по африканской чуме свиней в Российской Федерации на 2020 год (итоговый вариант). Режим доступа: https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/iac/asf/publications/asf_prognoz2020.pdf.
34. Мищенко В. А., Павлов Д. К., Думова В. В., Никешина Т. Б., Гетманский О. И., Кононов А. В., Лисицын В. В. Экологические особенности заболеваний пищеварительной системы новорожденных телят. *Ветеринарная патология*. 2005; 3 (14): 34–38. eLIBRARY ID: 9167885.
35. Gulenkin V. M., Korennoy F. I., Karaulov A. K., Dudnikov S. A. Cartographical analysis of African swine fever outbreaks in the territory of the Russian Federation and computer modeling of the basic reproduction ratio. *Prev. Vet. Med.* 2011; 102 (3): 167–174. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2011.07.004.

36. Korennoy F. I., Gulenkin V. M., Gogin A. E., Vergne T., Karaulov A. K. Estimating the basic reproductive number for African swine fever using the Ukrainian historical epidemic of 1977. *Transbound. Emerg. Dis.* 2017; 64 (6): 1858–1866. DOI: 10.1111/tbed.12583.
37. Korennoy F. I., Gulenkin V. M., Malone J. B., Mores C. N., Dudnikov S. A., Stevenson M. A. Spatio-temporal modeling of the African swine fever epidemic in the Russian Federation, 2007–2012. *Spat. Spatiotemporal Epidemiol.* 2014; 11: 135–141. DOI: 10.1016/j.sste.2014.04.002.
38. Vergne T., Korennoy F., Combelles L., Gogin A., Pfeiffer D. U. Modeling African swine fever presence and reported abundance in the Russian Federation using national surveillance data from 2007 to 2014. *Spat. Spatiotemporal Epidemiol.* 2016; 19: 70–77. DOI: 10.1016/j.sste.2016.06.002.
39. Дудников С. А. Количественная эпизоотология: основы прикладной эпидемиологии и биостатистики. Владимир: Демиург; 2004. 459 с.
40. Miller J., Burton K., Fund J., Self A. Process review for development of quantitative risk analyses for transboundary animal disease to pathogen-free territories. *BioResearch Open Access.* 2017; 6 (1): 133–140. DOI: 10.1089/biores.2016.0046.
41. Оганесян А. С., Баскакова Н. Е., Караулов А. К. Методические рекомендации по полуквантитативной оценке риска при проведении импортных операций (ввоз/перемещение) с животными и продукцией животного происхождения: методический материал. Владимир: ФГБУ «ВНИИЗЖ»; 2016. 22 с.
42. Черкасский Б. Л. Риск в эпизоотологии. М.: Практическая медицина; 2007. 476 с.
43. Шевцов А. А., Караулов А. К., Дудников С. А., Титов М. А., Усов А. В., Коренной Ф. И., Бардина Н. С. Анализ риска заноса и распространения африканской чумы свиней на территорию Российской Федерации из Закавказья (ситуация на июнь 2008). Владимир: ФГУ «ВНИИЗЖ»; 2008. 72 с.
44. Amanatun A., Sudarnika E., Lukman D. W., Wibawan I. W. T. Risk assessment on rabies entry through hunting dog movement with semi-quantitative approach to Sumatera Island, Indonesia. *J. Adv. Vet. Anim. Res.* 2019; 6 (2): 148–157. DOI: 10.5455/javar.2019.f325.
45. Ezell B. Homeland Security Risk Modeling. In: *Handbook of Real-World Applications in Modeling and Simulation*. Ed. by J. A. Sokolowski, C. M. Banks. John Wiley & Sons, Inc.; 2012; 129–164. DOI: 10.1002/9781118241042.ch4.
46. Теребова С. В., Колтун Г. Г., Подвалова В. В., Короткова И. П. Анализ риска распространения африканской чумы свиней в Приморском крае. *Аграрный вестник Приморья*. 2020; 1 (17): 13–19. eLIBRARY ID: 42918095.
47. Гуленкин В. М., Коренной Ф. И., Караулов А. К. Методические рекомендации количественной (балльной) оценки мнений экспертной группы по вопросам эпизоотологии инфекционных заболеваний животных, безопасности пищевой животноводческой и рыбной продукции: утв. ФГБУ «ВНИИЗЖ» 21.09.2017 № 41-17. Владимир; 2017. 18 с.
48. Гудков П. А. Методы сравнительного анализа: учебное пособие. Под ред. А. М. Бершадского. Пенза: Пензенский гос. ун-т; 2008. 81 с.
49. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь; 1993. 278 с.
50. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. Пер. с англ. О. Н. Андреевской. М.: Либроком; 2009. 357 с.
51. Романов В. Н. Системный анализ для инженеров. СПб.: СЗГЗТУ; 2006. 186 с.
- ## REFERENCES
1. Staroverov V. I., Vartanova M. L. Russia's food security as an important component of the country's demographic policy. *Ekonomicheskoe otnosheniya.* 2019; 9 (4): 2851–2862. DOI: 10.18334/eo.9.4.41461. (in Russ.)
2. Vartanova M. L. Global trends in food policy and their impact on demographic development. *Ekonomicheskoe otnosheniya.* 2019; 9 (4): 2877–2888. DOI: 10.18334/eo.9.4.41507. (in Russ.)
3. Veterinary Law of the Russian Federation 14.05.1993 No. 4979-1. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_4438/. (in Russ.)
4. Virology Manual. Viruses and viral infections in humans and animals. Ed. by D. K. Lvov. Moscow: Medical Informational Agency Publishers; 2013. 1200 p. (in Russ.)
5. Animal infectious pathology in 2 vmls. Vol. 1. Ed. by A. Ya. Samuylenko et al. Moscow: Akademkniga; 2006. 910 p. (in Russ.)
6. FAO Expert Consultation on the Emergency Prevention System (EMPRES) for Transboundary Animal and Plant Pests and Diseases (Livestock Diseases Programme) including the Blueprint for Global Rinderpest Eradication and Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Prevention and control of transboundary animal diseases: report of the FAO Expert Consultation on the Emergency Prevention System (EMPRES) for Transboundary Animal and Plant Pests and Diseases (Livestock Diseases Programme) including the Blueprint for Global Rinderpest Eradication, Rome, Italy, 24–26 July 1996*. Available at: <https://www.fao.org/3/W3737E/W3737E00.htm>.
7. Animal Diseases. Available at: <https://www.woah.org/en/what-we-do/animal-health-and-welfare/animal-diseases>.
8. Meuwissen M. P., Horst S. H., Huirne R. B., Dijkhuizen A. A. A model to estimate the financial consequences of classical swine fever outbreaks: principles and outcomes. *Prev. Vet. Med.* 1991; 42 (3–4): 249–270. DOI: 10.1016/s0167-5877(99)00079-3.
9. Yang P. C., Chu R. M., Chung W. B., Sung H. T. Epidemiological characteristics and financial costs of the 1997 foot-and-mouth disease epidemic in Taiwan. *Vet. Rec.* 1999; 145 (25): 731–734. DOI: 10.1136/vr.145.25.731.
10. Thompson D., Muriel P., Russell D., Osborne P., Bromley A., Rowland M., et al. Economic costs of the foot and mouth disease outbreak in the United Kingdom in 2001. *Rev. Sci. Tech.* 2002; 21 (3): 675–687. DOI: 10.20506/rst.21.3.1353.
11. Zepeda C., Morilla A., Yoon K.-J., Zimmerman J. The social impact of disease control and eradication programs: case studies. In: *Trends in Emerging Viral Infections of Swine*. 2002; 17–20. DOI: 10.1002/9780470376812.ch1c.
12. Makarov V. V., Grubiy V. A., Gruzdev K. N., Sukharev O. I. OIE List and transboundary animal infections: monograph. Vladimir: FGBI "ARRIAH"; 2012. 162 p. (in Russ.)
13. Approval of the List of contagious and other animal diseases: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation 09.03.2011 No. 62. Available at: <https://base.garant.ru/2174787>. (in Russ.)
14. Dudin M. N., Shkodinskiy S. V., Usmanov D. I. Bifurcation analysis of the current state of the Russian economy: the impact of COVID-19 on key development processes. *Ekonomicheskoe otnosheniya.* 2022; 12 (2): 155–178. DOI: 10.18334/eo.12.2.114554. (in Russ.)
15. Beltran-Alcrudo D., Falco J. R., Raizman E., Dietze K. Transboundary spread of pig diseases: the role of international trade and travel. *BMC Vet. Res.* 2019; 15:64. DOI: 10.1186/s12917-019-1800-5.
16. Zepeda C., Salman M., Ruppanner R. International trade, animal health and veterinary epidemiology: challenges and opportunities. *Prev. Vet. Med.* 2001; 48 (4): 261–271. DOI: 10.1016/s0167-5877(00)00200-2.
17. Alyokhin A. F., Mischenko V. A. Osobennosti techeniya chумы sredi krupnogo rogatogo skota, vypasayushchegosya na otgonnom pastbishche = Peculiarities of rinderpest course in cattle grazing on distant pastures. *Voprosy veterinarnoi virusologii, mikrobiologii i epizootologii: materialy nauchnoi konferentsii VNIIViM (Pokrov, 13–18 aprelya 1992 g.)*. T. 1 = Aspects of Veterinary Virology, Microbiology and Epizootology: Proceedings of the ARRIV&M Conference (Pokrov, April 13–18, 1992). Vol. 1. Pokrov; 1992; 151–152. (in Russ.)
18. Bandi Ts. Effectiveness of complex system of anti-epidemic measures against foot-and-mouth disease in Mongolia in 2011–2013: Author's Abstract of Theses for degree of Candidate of Science (Veterinary Medicine). Vladimir; 2013. 25 p. (in Russ.)
19. Belik E. V., Dudnikov S. A., Lyadskiy M. M., Belchihina A. V., Gulyonkin V. M., Karaulov A. K., Dudorova M. V. Analysis of the risk of African swine fever introduction and spread in the Vladimir Oblast: information and analytical review. Vladimir; FGI "ARRIAH". 2009. 97 p. (in Russ.)
20. Bouchemla F., Agoltsov V. A., Popova O. M., Padilo L. P. Assessment of the peste des petits ruminants world epizootic situation and estimate its spreading to Russia. *Vet. World.* 2018; 11 (5): 612–619. DOI: 10.14202/vetworld.2018.612-619.
21. Gulenkin V. M., Karaulov A. K., Lozovoy D. A., Zakharov V. M. Expert risk assessment of FMD introduction to the Russian Federation from infected countries. *Veterinary Science Today.* 2018; (2): 36–41. DOI: 10.29326/2304-196X-2018-2-25-36-41.
22. Karaulov A. K., Gulenkin V. M., Titov M. A., Zakharov V. M., Dudnikova N. S., Dudnikov S. A. Risk analysis of bluetongue (ovine catarrhal fever) introduction with imported cattle to Russia from Western Europe countries. *Russian Veterinary Journal Productive Animals.* 2008; Special Issue (September): 33–35. (in Russ.)
23. Kononov A. V., Karaulov A. K., Gulenkin V. M., Piskunov A. V., Petrova O. N., Sprygin A. V., et al. Prediction for peste des petits ruminants in the Russian Federation for 2019. In: *Predictions for contagious animal diseases in the Russian Federation for 2019*. Vladimir: FGBI "ARRIAH"; 2018; 233–250. (in Russ.)
24. Pharo H. J. Foot-and-mouth disease: an assessment of the risks facing New Zealand. *N. Z. Vet. J.* 2002; 50 (2): 46–55. DOI: 10.1080/00480169.2002.36250.
25. Boev B. V., Makarov V. V. Geo-informatsionnye sistemy i epidemii grippa = Geoinformation systems and influenza epidemics. *Veterinarnaya patologiya.* 2004; 3: 51–59. eLIBRARY ID: 9165685. (in Russ.)
26. Gintsburg A. L., Boev B. V. Komp'yuternoe modelirovanie epidemii = Computer modeling of epidemics. *Science in Russia.* 2005; 5: 52–57. eLIBRARY ID: 17688485. (in Russ.)
27. Belchihina A. V., Dudorova M. V. Razrabotka na baze Arc GIS atlasa epidiznachimykh ob'ektov Vladimirovskoi oblasti = Development of atlas of epidemiologically-significant facilities of the Vladimir Oblast based on Arc GIS database. *Geoinformatsionnye sistemy v zdrazvookhraneni RF: dannye, analitika, resheniya: trudy 1-ii 2-i Vserossiiskikh konferentsii i mezhdunarodnym uchastiem (26–27 maya, 2011 g. i 24–25 maya 2012 g.) = Geoinformation systems in health care system of the Russian Federation: data, analytics, decisions: proceedings of the 1st and 2nd All-Russia Conferences with international participation (26–27 May, 2011 and 24–25 May, 2012)*. Saint Petersburg: Beresta; 2013; 42–45. (in Russ.)
28. Korennoy F. I. Mathematical and cartographic modeling of the spread of highly dangerous livestock diseases: author's thesis of Candidate of Science (Geography). Moscow; 2019. 22 p. (in Russ.)

29. Amimo J. O., Okoth E., Junga J. O., Ogara W. O., Njihira M. N., Wang Q., et al. Molecular detection and genetic characterization of kobuviruses and astroviruses in asymptomatic local pigs in East Africa. *Arch. Virol.* 2014; 159 (6): 1313–1319. DOI: 10.1007/s00705-013-1942-x.
30. Huang Y. W., Dickerman A. W., Piñeyro P., Li L., Fang L., Kiehne R., et al. Origin, evolution, and genotyping of emergent porcine epidemic diarrhea virus strains in the United States. *mBio.* 2013; 4 (5): e00737-13. DOI: 10.1128/mBio.00737-13.
31. Zhou X., Li N., Luo Y., Liu Y., Miao F., Chen T., et al. Emergence of African swine fever in China, 2018. *Transbound. Emerg. Dis.* 2018; 65 (6): 1482–1484. DOI: 10.1111/tbed.12989.
32. Korennoy F. I., Petrova O. N., Karaulov A. K. Use of the GIS geo-spatial analysis tools for identification of spatio-temporal patterns of zoonotic infection spread. Available at: <https://snipchi.ru/updoc/2017/Prezentatsii/Korennoy%20F.%20I.%20«Применение%20инструментов%20геопространственного%20анализа.pdf>. (in Russ.)
33. Petrova O. N., Korennoy F. I., Karaulov A. K., Shevtsov A. A., Gulenkin V. M. Prediction for African swine fever in the Russian Federation for 2020 (final version). Available at: https://svsps.gov.ru/fsvps-docs/ru/iac/asf/publications/asf_prognoz2020.pdf. (in Russ.)
34. Mischenko V. A., Pavlov D. K., Dumova V. V., Nikeshina T. B., Getmanskiy O. I., Kononov A. V., Lisitsyn V. V. Ekologicheskie osobennosti zabolevanii pishchevaritel'noi sistemy novorozhdennykh telyat = Ecological peculiarities of gastro-intestinal diseases in neonatal calves. *Veterinarnaya patologiya.* 2005; 3: 34–38. eLIBRARY ID: 9167885. (in Russ.)
35. Gulenkin V. M., Korennoy F. I., Karaulov A. K., Dudnikov S. A. Cartographical analysis of African swine fever outbreaks in the territory of the Russian Federation and computer modeling of the basic reproduction ratio. *Prev. Vet. Med.* 2011; 102 (3): 167–174. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2011.07.004.
36. Korennoy F. I., Gulenkin V. M., Gogin A. E., Vergne T., Karaulov A. K. Estimating the basic reproductive number for African swine fever using the Ukrainian historical epidemic of 1977. *Transbound. Emerg. Dis.* 2017; 64 (6): 1858–1866. DOI: 10.1111/tbed.12583.
37. Korennoy F. I., Gulenkin V. M., Malone J. B., Mores C. N., Dudnikov S. A., Stevenson M. A. Spatio-temporal modeling of the African swine fever epidemic in the Russian Federation, 2007–2012. *Spat. Spatiotemporal. Epidemiol.* 2014; 11: 135–141. DOI: 10.1016/j.sste.2014.04.002.
38. Vergne T., Korennoy F., Combelles L., Gogin A., Pfeiffer D. U. Modeling African swine fever presence and reported abundance in the Russian Federation using national surveillance data from 2007 to 2014. *Spat. Spatiotemporal. Epidemiol.* 2016; 19: 70–77. DOI: 10.1016/j.sste.2016.06.002.
39. Dudnikov S. A. Quantitative epidemiology: basics of applied epidemiology and biostatistics. Vladimir: Demurg; 2005. 459 p. (in Russ.)
40. Miller J., Burton K., Fund J., Self A. Process review for development of quantitative risk analyses for transboundary animal disease to pathogen-free territories. *BioResearch Open Access.* 2017; 6 (1): 133–140. DOI: 10.1089/biores.2016.0046.
41. Oganessian A. S., Baskakova N. Ye., Karaulov A. K. Methodological Guidelines for semi-quantitative assessment of the risk associated with import (entry/movements) of live animals and products of animal origin: methodical material. Vladimir: FGBI "ARRIAH"; 2016. 22 p. (in Russ.)
42. Cherkassky B. L. Risk in epidemiology. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2007. 476 p. (in Russ.)
43. Shevtsov A. A., Karaulov A. K., Dudnikov S. A., Titov M. A., Usov A. V., Korennoy F. I., Bardina N. S. Analysis of risk of African swine fever introduction to the Russian Federation from Transcaucasia (situation as of June 2008). Vladimir: FGBI "ARRIAH"; 2008. 72 p. (in Russ.)
44. Amanatin A., Sudarnika E., Lukman D. W., Wibawan I. W. T. Risk assessment on rabies entry through hunting dog movement with semi-quantitative approach to Sumatera Island, Indonesia. *J. Adv. Vet. Anim. Res.* 2019; 6 (2): 148–157. DOI: 10.5455/javar.2019.f325.
45. Ezell B. Homeland Security Risk Modeling. In: *Handbook of Real-World Applications in Modeling and Simulation*. Ed. by J. A. Sokolowski, C. M. Banks. John Wiley & Sons, Inc.; 2012; 129–164. DOI: 10.1002/9781118241042.ch4.
46. Terebova S. V., Koltun G. G., Podvalova V. V., Korotkova I. P. Risk analysis of the spread of african swine fever in Primorsky krai. *Agrarian bulletin of Primorye.* 2020; 1 (17): 13–19. eLIBRARY ID: 42918095. (in Russ.)
47. Gulenkin V. M., Korennoy F. I., Karaulov A. K. Methodical recommendations for quantitative (score) assessment of the expert group opinions on animal infectious disease epidemiology, animal and fish product safety: approved by FGBI "ARRIAH" 21.09.2017 No. 41-17. Vladimir; 2017. 18 p. (in Russ.)
48. Gudkov P. A. Comparative analysis methods: study guide. Ed. by A. M. Bershadskiy. Penza: Penza State University; 2008. 81 p. (in Russ.)
49. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation (Decision Making Series). New York: McGraw-Hill; 1980. 287 p.
50. Saaty T. L. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. Pittsburgh: Rws Publications; 1996. 370 p.
51. Romanov V. N. Systemic analysis for engineers. Saint Petersburg: NWSCTU; 2006. 186 p. (in Russ.)

Поступила в редакцию / Received 22.11.2022

Поступила после рецензирования / Revised 12.12.2022

Принята к публикации / Accepted 26.01.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лебедев Никита Викторович, кандидат ветеринарных наук, советник директора ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-3600-2409>, e-mail: lebn@yandex.ru.

Иголкин Алексей Сергеевич, кандидат ветеринарных наук, заведующий референтной лабораторией по африканской чуме свиней ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-5438-8026>, e-mail: igolkin_as@arriah.ru.

Груздев Константин Николаевич, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник информационно-аналитического центра ФГБУ «ВНИИЗЖ», г. Владимир, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-3159-1969>, e-mail: gruzdev@arriah.ru.

Спирин Дмитрий Геннадьевич, кандидат химических наук, начальник отдела научно-исследовательского центра 48 ЦНИИ МО РФ, г. Москва, Россия; e-mail: 48cnii@mil.ru.

Фарух Михаил Александрович, старший научный сотрудник отдела научно-исследовательского центра 48 ЦНИИ МО РФ, г. Москва, Россия; e-mail: 48cnii@mil.ru.

Ермилов Николай Владимирович, младший научный сотрудник отдела научно-исследовательского центра 48 ЦНИИ МО РФ, г. Москва, Россия; e-mail: 48cnii@mil.ru.

Еремин Геннадий Геннадьевич, кандидат медицинских наук, заместитель начальника научно-исследовательского центра 48 ЦНИИ МО РФ, г. Москва, Россия; AuthorID: 710033, e-mail: 48cnii@mil.ru.

Nikita V. Lebedev, Candidate of Science (Veterinary Medicine), Adviser to the Director, FGBI "ARRIAH", Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3600-2409>, e-mail: lebn@yandex.ru.

Alexey S. Igolkin, Candidate of Science (Veterinary Medicine), Head of Reference Laboratory for African swine fever, FGBI "ARRIAH", Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-5438-8026>, e-mail: igolkin_as@arriah.ru.

Konstantin N. Gruzdev, Doctor of Science (Biology), Professor, Chief Researcher, Information and Analysis Centre, FGBI "ARRIAH", Vladimir, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-3159-1969>, e-mail: gruzdev@arriah.ru.

Dmitry G. Spirin, Candidate of Science (Chemical), Head of Department, Research Centre, 48th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia; e-mail: 48cnii@mil.ru.

Mikhail A. Farukh, Senior Researcher, Department of the Research Centre, 48th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia; e-mail: 48cnii@mil.ru.

Nikolay V. Ermilov, Junior Researcher, Department of the Research Centre, 48th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia; e-mail: 48cnii@mil.ru.

Gennady G. Eremin, Candidate of Science (Medicine), Deputy Head of the Research Centre, 48th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia; e-mail: 48cnii@mil.ru.