

*На правах рукописи*



**Падило Лариса Павловна**

**АНАЛИЗ МИРОВОЙ ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ И ОЦЕНКА  
РИСКОВ ПО ЧУМЕ МЕЛКИХ ЖВАЧНЫХ ЖИВОТНЫХ**

4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Саратов – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

**Научный руководитель** доктор ветеринарных наук, старший научный сотрудник  
**Агольцов Валерий Александрович**

**Официальные оппоненты** **Ефимова Марина Анатольевна**, доктор биологических наук  
ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана», г. Казань, профессор кафедры эпизоотологии и паразитологии

**Спиридонов Геннадий Николаевич**, доктор биологических наук  
ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», заведующий лабораторией бактериальных патологий животных

**Ведущая организация** ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных», г. Владимир

Защита диссертации состоится «    » 2021 года на заседании диссертационного совета 35.2.035.01 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу 410005, г. Саратов, ул. Соколова, 335, УК №3, диссертационный зал.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте: ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru)

Отзывы на автореферат направлять по адресу 410012, г. Саратов, Театральная площадь, д. 1, ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Карпунина Лидия Владимировна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследования.** Чума мелких жвачных животных (ЧМЖ) является высоко контагиозным, трансграничным заболеванием. Эту инфекционную болезнь, наряду с блютангом, регистрируют наиболее часто среди мелких жвачных животных (Муносиб Ш.Д., 2012; Bouchemla F., 2017). Возбудитель ЧМЖ может инфицировать до 100 % восприимчивых животных. Патология протекает чаще всего в сверхострой, острой, а также подострой формах, при этом от 30 до 70% больных погибают (Бакулов И.А., 1986; Муносиб Ш.Д., 2012; Дудников С.А., 2020). Возбудитель может передаваться несколькими путями: аэрогенным, алиментарным, а также контактным. Рассматриваемая инфекционная патология никогда не регистрировалась в нашей стране, однако она наносит катастрофические экономические потери во многих странах, занимающихся разведением овец и коз. Смертность от этой болезни в очагах первичного возникновения может достигать 100%, а в стационарно неблагополучных географических объектах – до 50,0 % (Бакулов И.А., 1986; Агольцов В.А., 2018).

Российская Федерация обладает наиболее протяженными сухопутными границами, поэтому существует повышенный риск заноса возбудителя ЧМЖ с территорий сопредельных государств (Bouchemla F., 2018).

**Степень разработанности темы.** ЧМЖ – мировая проблема мелкого скотоводства – является актуальной на сегодняшний день. Несмотря на то, что внимание многих исследователей приковано к данной болезни, опубликованных работ крайне недостаточно. Учёные всего мира занимаются исследованиями особенностей возбудителя болезни, его морфологии, особенностей внедрения в организм и вызываемой им клинической картины. Но публикаций именно по изучению эпизоотологических особенностей инфекции и закономерностях её распространения как внутри того или иного государства, так и за его пределами, очень мало. А та информация, которая имеется, не отражает полноценной картины эпизоотического процесса ЧМЖ, протекающего в странах мира (Varon M., 2016).

Данные статистики об эпизоотических вспышках, представленные в официальных источниках (ОIE, WAHIS) приблизительные, за исключением даты возникновения вспышки болезни и даты официального ее лабораторного подтверждения. Это не позволяет в целом оценить данные и провести полноценный анализ при помощи математических расчетов, а также произвести оценку динамики эпизоотического процесса.

Индикация особенностей проявления эпизоотического процесса наблюдаемой инфекции, выявление причин возникновения, факторов распространения и его поддержания позволяют усовершенствовать проводимые оздоровительные и превентивные мероприятия.

**Цель** – изучение особенностей эпизоотического процесса ЧМЖ в различных странах мира, определение причин его дальнейшего распространения, анализ риска заноса и распространения ЧМЖ на территорию России с приграничных государств и разработка мероприятий по её сдерживанию.

### **Задачи:**

1. Проведение ретроспективного эпизоотологического анализа распространения ЧМЖ в мире.
2. Картографирование кластеров зон риска ЧМЖ и вызванных прямых и косвенных потерь.

3. Изучение зависимости проявления эпизоотического процесса ЧМЖ от факторов поддержания инфекции.

4. Выяснение причин первичного возникновения и распространения ЧМЖ на ранее благополучных территориях, а также повторных вспышек болезни после проведения оздоровительных мероприятий.

5. Изучение влияния природно-географических факторов на распространение ЧМЖ.

6. Анализ риска заноса и распространения ЧМЖ на территорию России с приграничных государств (Монголии и Китая) и прогнозирование развития эпизоотической ситуации.

7. Разработка рекомендаций по оценке факторов риска возникновения, развития и поддержания эпизоотического процесса ЧМЖ и мероприятий по её сдерживанию.

**Научная новизна.** В ходе работы проанализированы и систематизированы данные об эпизоотической ситуации по ЧМЖ. Впервые разработана математическая модель риска возникновения и распространения чумы мелких жвачных в мире. Проведен пространственно-временной анализ эпизоотической ситуации по ЧМЖ с элементами математической статистической обработки в странах мира за 2007-2019 гг.

Впервые установлены причины рецидивов инфекции после проведения оздоровительных мероприятий. Впервые проведён анализ риска заноса и распространения ЧМЖ на территорию России с приграничных государств. Впервые спрогнозировано развитие эпизоотической ситуации на приграничных с Россией Монголией и Китаем.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Исследования относятся к фундаментальной области эпизоотологии. Полученные данные об эпизоотиях изучаемой инфекции, количестве заболевших и павших животных при ЧМЖ в период с 2007 по 2019 год дополняют имеющиеся данные об особенностях инфекционного процесса ЧМЖ в различных климатических и природных зонах мира (Bouchemla F., 2018, Журавлева В., 2020). На основе полученных данных были сконструированы информационные альтернативные карты, отражающие динамику распространения данной инфекционной болезни. Проведенное исследование позволяет улучшить прогнозирование риска возникновения данной инфекции. А это, в свою очередь, повысит эффективность проведения противоэпизоотических мероприятий и существенно сократит масштаб экономического ущерба в результате возникновения данной инфекционной патологии.

Результаты, полученные в ходе исследований об эпизоотических особенностях ЧМЖ в мире, внедрены в учебный процесс для студентов ветеринарных ВУЗов по специальности «Ветеринария» по дисциплине «Эпизоотология и инфекционные болезни».

По материалам диссертации разработаны «Рекомендации по недопущению заноса и распространения чумы мелких жвачных животных на территории России» (ISBN 978-5-9758-1919-2), утвержденные Управлением Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Саратовской области 11.01.2021, Управлением ветеринарии Правительства Саратовской области 14.01.2021 г.

#### **Методология и методы исследования**

Для решения поставленных нами цели и задач в диссертационной работе использовали сочетание как общенаучных, так и частных научных методов исследования. Первые предусматривали применение совокупности общетеоретических и эмпирических методов исследования, таких как системный подход, анализ, измерение, сравнение и т. д. Из частных научных использованы результаты анализа данных из Международных баз МЭБ и FAO. При проведении эпизоотологического анализа использовались ретроспективные данные о вспышках и данные лабораторного скрининга болезни в различных странах мира. Как основу методологии исследования проблем эпизоотологической безопасности продовольственной базы применяли статистический анализ и методы эпизоотологического прогнозирования.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Ретроспективный анализ ЧМЖ в разных странах мира позволяет оценить особенности течения эпизоотического процесса
2. Картографирование кластеров зон риска возникновения ЧМЖ и вызванных ею прямых и косвенных потерь – основа для прогнозирования возникновения инфекции и возможного экономического ущерба.
3. Прогнозирование развития эпизоотической ситуации, с учётом вспышек ЧМЖ на территории Китая и Монголии – основа для оценки риска заноса и распространения ЧМЖ на территории России.
4. Оценка риска заноса и распространения ЧМЖ на территорию России с приграничных государств – основа для планирования профилактических мероприятий.

#### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность результатов объясняется существенным объемом фактического материала (пространственный материал – данные об эпизоотической ситуации по изучаемой инфекционной болезни на различных географических территориях, за период с 2007 по 2019 год), а также возможностью анализа результатов текущей эпизоотической ситуации по болезни, со статистической составляющей.

Основные результаты, описанные в диссертации, были представлены на Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов СГАУ по итогам НИР 2017 года (Саратов, 2018); Международном научно-практическом форуме по ветеринарным наукам «Российско-французский диалог в дни памяти Луи Пастера», (Самара, 2018); Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов СГАУ по итогам НИР 2018 года (Саратов, 2019); Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов СГАУ по итогам НИР 2019 года (Саратов, 2020); Научно-практической конференции молодых ученых «Ветеринарная медицина: проблемы и перспективы» (Саратов, 2020); Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов СГАУ по итогам НИР 2020 года (Саратов, 2021); Научно-практической конференции молодых ученых «Ветеринарная медицина: проблемы и перспективы» (Саратов, 2021).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 7 работ, из них 4 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в издании, входящем в международную базу данных Web of Science.

**Личный вклад соискателя.** Автором лично проведен литературный обзор по теме диссертации, сбор первичных эпизоотических данных, комплексный анализ

данных по вспышкам изучаемой инфекционной болезни. Сконструированы цифровые карты, которые отражают эпизоотическую ситуацию по ЧМЖ в мире в период с 2007 по 2019 годы в графическом виде. Составлен прогноз потенциального количества вспышек ЧМЖ на 2022-2024 годы) в Монголии и Китае, как приграничных территорий с Российской Федерацией. Проведено обобщение полученных результатов и сформулированы выводы.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа содержит следующие разделы: введение, обзор литературы, собственные исследования, материалы и методы, результаты исследований и их обсуждение, заключение, выводы, список литературы, включающий 140 источников, из них 84 иностранных и 56 отечественных авторов. Работа изложена на 117 страницах компьютерного текста, иллюстрирована 46 рисунками и 16 таблицами.

## **СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **Материалы и методы исследований**

Работа выполнялась с 2017 по 2020 гг. на базе СГАУ им. Н. И. Вавилова. В исследованиях использовали упорядоченные статистические данные международных организаций МЭБ (Handistatus II и WAHID 2007–2019 гг.), FAO-ВОЗЖ-МЭБ при ООН, профильных организаций (AFSSA, ASFA, CIRAD, RECOMSA, ECDC), предоставляющих информацию о территориальном распределении болезни в странах мира, о проводимых противоэпизоотических мероприятиях, численности популяции и размещении восприимчивых к болезни животных.

Собственные исследования проводили согласно «Методическим указаниям по эпизоотологическому исследованию», а также «Системе эпизоотологического мониторинга особо опасных, экзотических, малоизученных болезней» и рекомендации МЭБ (2014 г.).

Основными материалами для учета и анализа эпизоотической обстановки в зарубежных странах служили статистические данные ежегодных отчетов МЭБ за 2007–2019 гг., включающие информацию о регистрации новых эпизоотических вспышек, числе заболевших и павших от ЧМЖ животных.

При проведении эпизоотологического анализа учитывались по комплексу показателей социально-экономические факторы, отражающие уровень социально-экономического развития регионов, тип ведения сельского хозяйства, уровень развития животноводства и ветеринарного обслуживания. Социально-экономическое развитие регионов оценивалось по показателям валового национального продукта на душу населения. Ведение сельского хозяйства оценивалось по качественным показателям интенсивности и товарности производства.

Материалы по социальному, хозяйственно-экономическому укладу, системам ведения животноводства, экономико-географическим показателям развития животноводства стран мира получены из статистических ежегодных отчетов FAO и ООН по состоянию экономики в странах мира.

Математико-статистическое, сравнительно-географическое и сравнительно-историческое исследование проводилось как составная часть системного эпизоотологического метода исследования, направленного на изучение особенностей и закономерностей эпизоотического процесса, оценки эпизоотического риска и научного обоснования проведения противоэпизоотических мероприятий.

Собранная информация по эпизоотической ситуации по ЧМЖ вводилась в базу данных, разработанную на основе системы Microsoft Office Excel. Структура базы

данных содержала разделы о вспышках, распространении, заболевших и павших от ЧМЖ сельскохозяйственных и диких животных. По статистическим данным, внесенным в компьютерную базу, проводился расчёт индекса напряженности эпизоотической ситуации: заболеваемость, смертность, летальность, индекс инцидентности.

Количественная характеристика эпизоотической ситуации по ЧМЖ проводилась по общим эпизоотическим данным, перечисленным выше, с использованием трендов дескриптивной и аналитической эпизоотологии, проверкой реальности (эпизоотология) эпизоотологических проблем и гипотез относительно факторов риска. Для изучения значений рисков, шансов и отношений использованы методические приемы доказательной эпизоотологии.

Картографический анализ данных проводили с помощью геоинформационной системы ESRI ArcGIS Desktop 10.4.

Изучение эффективности кампаний по вакцинации осуществляли при помощи оценки зависимости показателя инцидентности болезни на территории отдельных государств и доли иммунизированных животных, рассчитывая коэффициента корреляции Пирсона. Статистическую обработку данных проводили в программе Excel из состава пакета Microsoft Office 2016.

При проведении оценки риска заноса и распространения ЧМЖ на территорию России использовали данные о численности поголовья восприимчивых животных в регионах Дальнего Востока, которые имеют общие границы с Китаем и Монголией. Также использовали данные о путях международного сообщения приграничных регионов РФ с Монголией и Китаем.

Для прогнозирования возможного количества новых эпизоотических вспышек ЧМЖ на территории Китая и Монголии мы использовали расчёт по распределению Пуассона в программе Vose software ModelRisk.

Для проведения оценки риска распространения чумы мелких жвачных использовали регрессионный метод моделирования экологических ниш с оптимизацией по методу максимальной энтропии. Моделирование нозоареала возбудителя ЧМЖ и оценку степени влияния природных и социально-экономических факторов на его распространение осуществляли при помощи ПО MaxEnt v.3.4.4. (Phillips at al., 2011).

В настоящем исследовании моделирование проводили в 10 повторениях по 10 тыс. итераций в каждом, с долей данных, используемых для кросс-валидации, равной 25%. Итоговая модель представляет собой усреднённые результаты с вычисленным стандартным отклонением.

Для оценки влияния природных факторов на эпизоотическую ситуацию по ЧМЖ использовали набор биоклиматических переменных, а также информацию о средней высоте над уровнем моря в растровом формате с пространственным разрешением  $\approx 1 \text{ км}^2$  из базы погодных и климатических данных WorldClim (<https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>).

В качестве социально-экономических факторов, способных оказывать влияние на распространение вируса ЧМЖ, рассматривали численность поголовья восприимчивых сельскохозяйственных животных (овец и коз), количество железных и автодорог, а также удалённость от аэропортов и морских портов.

Информация о поголовье восприимчивого к ЧМЖ скота взята в виде комплекса данных глобального распределения овец и коз в 2010 г. в мире (Marius at al., 2018).

Количество железных дорог на единицу площади вычислялось на основе информации из Vector Map Level 0 ([http://worldmap.harvard.edu/data/geonode:railroads\\_7q6](http://worldmap.harvard.edu/data/geonode:railroads_7q6)).

Количество автодорог всех категорий на единицу площади взято в виде комплекса растровых данных с пространственным разрешением  $\approx 8 \times 8$  км (Meijer et al., 2018).

Все объясняющие переменные, представленные в растровом формате, были приведены к пространственному разрешению  $1 \times 1$  км.

При экстраполяции полученной модели на территорию субъектов Российской Федерации, сопредельных с Монголией и КНР, использовали данные о существующих путях сообщения, полученные из проекта OpenStreetMap при помощи сервиса NextGIS (<https://data.nextgis.com/en>). Информация о численности поголовья восприимчивых животных в рассматриваемых субъектах РФ получена из официального общедоступного источника Федеральной службы статистики (<https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ykmb3eKg/munst.htm>).

Предварительную оценку значимости объясняющих переменных с целью определения степени взаимной корреляции между ними и уменьшению мультиколлинеарности модели экологической ниши возбудителя ЧМЖ проводили при помощи инструмента «Исследовательская регрессия», входящего в состав геоинформационной системы ESRI ArcGIS Desktop.

Среди прошедших проверку предварительных моделей отбирали таковые с наибольшим количеством объясняющих переменных, а затем из их числа – модель с наименьшим максимальным порогом значения фактора инфляции дисперсии.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

### **Результаты проведения ретроспективного анализа вспышек**

Проведен ретроспективный картографический анализ эпизоотической ситуации по чуме мелких жвачных в мире за 2007-2019 год.

Эпизоотические очаги продвигаются эпизодическими вспышками на заражённой территории, и распространение болезни часто связано с перемещением скота и торговлей мелкими жвачными животными. Заболеваемость ниже в сухой среде с более высокими температурами, более высокая во влажной среде со средними температурами.

В период с 2007 по 2017 гг. было зарегистрировано 649 вспышек ЧМЖ, они были расположены на 3-х континентах. Многолетняя превалентность превышала 28%, средняя летальность 43,7%. Кластеризация имеющихся данных показала, что около 50% случаев падежа инфицированного поголовья восприимчивых животных произошло в Китае, 26% – в Монголии (Рисунок 1).

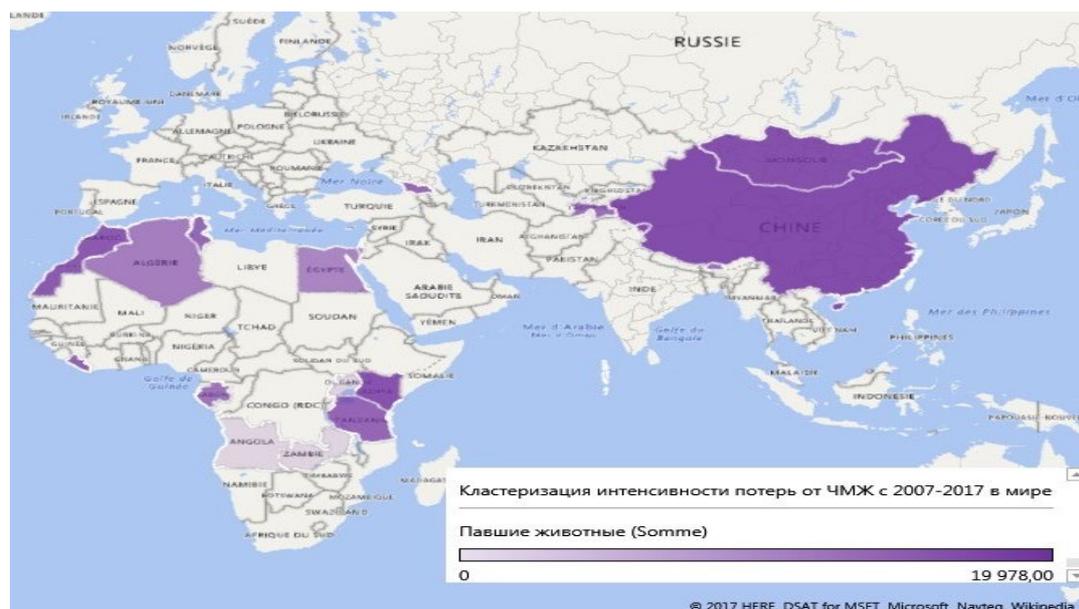


Рисунок 1 – Кластеризация потерь от ЧМЖ за 2007-2017 гг. в мире

### Прогнозирование ситуации

Проведен анализ эпизоотической ситуации на основе данных за 2007- 2017 год с целью прогнозирования дальнейшего распространения чумы мелких жвачных в 2018 году на различных географических территориях.

Для этого нами была создана простая модель, на основе имеющихся данных по ЧМЖ за 2007 – 2017 гг. в мире. Процесс прогнозирования проводили методом Монте-Карло, с использованием коммерческого программного обеспечения *@Risk Professional Edition*, интегрированного в *Microsoft Excel*.

В основе метода Монте-Карло лежит вероятностный метод отбора проб, что имитирует эффект случайности, а затем используем числовые данные для выборки из общего массива данных, предлагаемого моделью. Расчет прогностических значений ЧМЖ был сделан с использованием треугольного распределения (в 1000 итерациях).

Для оценки риска нами использовалось вероятное среднегодовое количество общих случаев и погибших животных в хозяйствах (у МРС). Исходя из этого, чем больше аргумента ожидаемых заболевших и/или павших, тем риск оценивается выше.

Из данного распределения на рисунке 2 следует, что среднегодовое количество возможных случаев на 2018 г., вычисленное методом Монте-Карло при использовании треугольного распределения, составило 14 622 случая.

Также было определено, что средняя летальность достигает 44,88%, что соответствует 6 563 гол. (Рисунок 3).

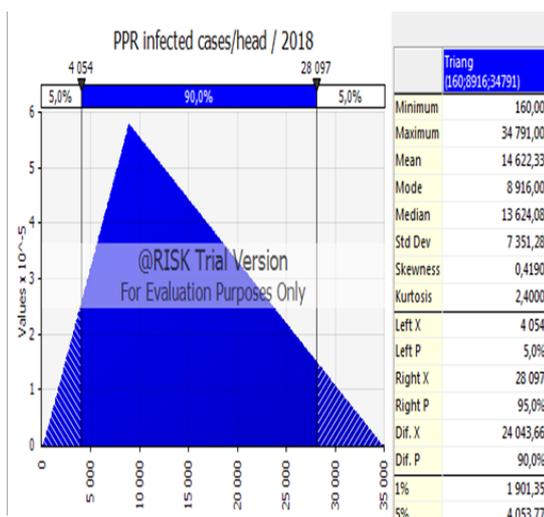


Рисунок 2 – Общая среднегодовая оценка риска по ЧМЖ в мире (количество случаев) на 2018 г. (по Монте - Карло)

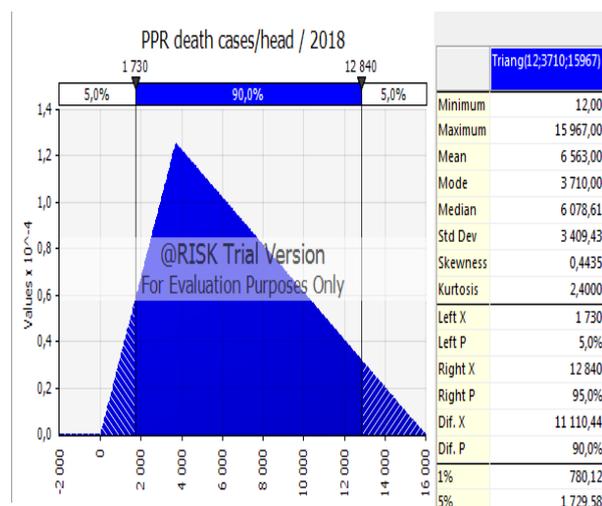


Рисунок 3 – Общее прогнозируемое среднегодовое значение погибших животных от ЧМЖ в мире на 2018 г. (по Монте- Карло)

Общее количество животных, находящихся в зоне риска вируса ЧМЖ на 2018г. превышает 6 млн. гол., что составляет не более 0,5% превалентности.

Для оценки нашего анализа рассчитали чистую приведенную величину модели (*NPV*) (Рисунок 4), используя учетные ставки количества случаев болезни и павших от ЧМЖ за 2007-2017 гг. в мире.

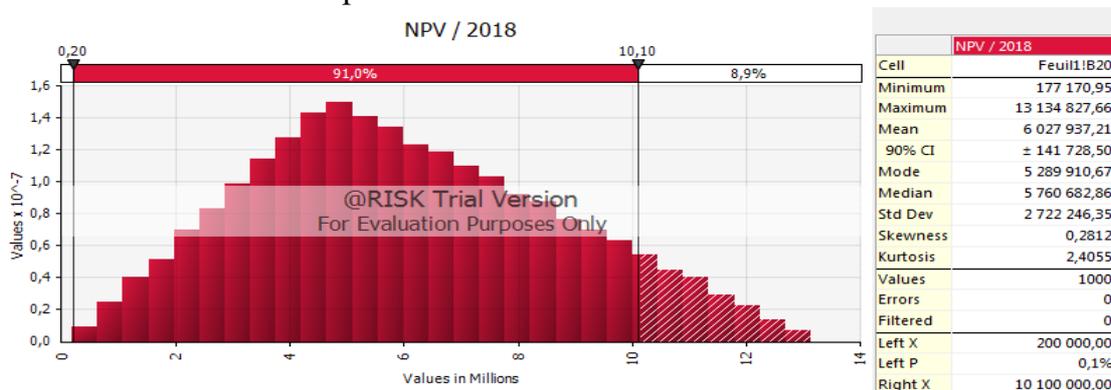


Рисунок 4 – Оценка чувствительности анализа предусмотренной модели - чистая приведенная величина – *NPV* (по Монте- Карло)

Из гистограммы видно, что существует малая вероятность 0,1% что *NPV* приблизится к нулю. Напротив, *NPV* при точке 10,1 млн. является достоверным индикатором с 91,8%, и это положительный показатель эффективности кампаний по вакцинации и других противоэпизоотических мероприятий.

В 2015 – 2017 гг. ЧМЖ присутствовала в 72 странах, в т. ч. в 51 стране в Азии, ставя под угрозу более 1,7 миллиарда голов овец и коз (при общей численности в мире 2,1 миллиарда голов), а также более 330 миллионов человек, относящимся к малоимущим фермерским сообществам, которые существуют исключительно за счет мелкого рогатого скота.

Учитывая географическое расположение территории РФ на границе эндемической территории, Россия входит в зону риска. Визуальный анализ карты показывает основные ворота заноса ЧМЖ в Россию: Монголия, Китай и Грузия (Рисунки 5 - 7).



Рисунок 5 – Кавказские ворота заноса ЧМЖ на территорию РФ (Грузия)

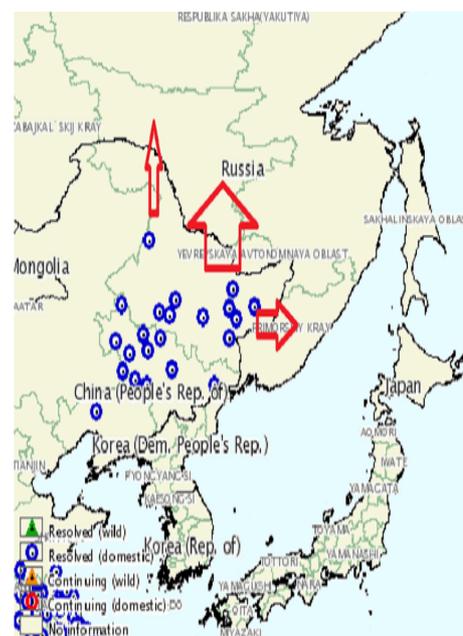


Рисунок 6 – Дальневосточные ворота заноса ЧМЖ на территорию РФ (Китай)



Рисунок 7 – Южно-сибирские ворота заноса ЧМЖ на 2018 г. (Монголия)

Риск заноса болезни в соседние области потенциально возможен при перемещении животных и продуктов животноводства, поскольку при данной инфекции прямой контакт является главным способом передачи.

Остальные регионы, даже если на их территории содержится большое поголовье скота, подвержены меньшему риску (чем дальше, тем безопаснее). Но при этом, с точки зрения эпизоотологии нельзя исключать возникновения риска на этих географических территориях из-за транспортировки и дальнейшей реализации инфицированных животных и продуктов животноводства.

Важным резервуаром (с низким и умеренным уровнем риска) ЧМЖ является поголовье диких восприимчивых животных (неконтролируемые и бессимптомные

вирусоносители). Карта пограничных регионов РФ, находящихся в зоне риска заноса ЧМЖ (по состоянию на 2017 год) показана на рисунке 8.



Рисунок 8 – Неблагополучные по ЧМЖ страны, пограничные с РФ (по состоянию на 2017 год)

Как видно из рисунка 8, в зоне высокого риска заноса чумы мелких жвачных с территории Китая и Монголии находятся следующие регионы РФ: Хабаровский край, Приморский край, Амурская область, Забайкальский край, Республика Бурятия и Республика Тыва.

Динамика развития эпизоотической ситуации в мире отражена на рисунке 9.

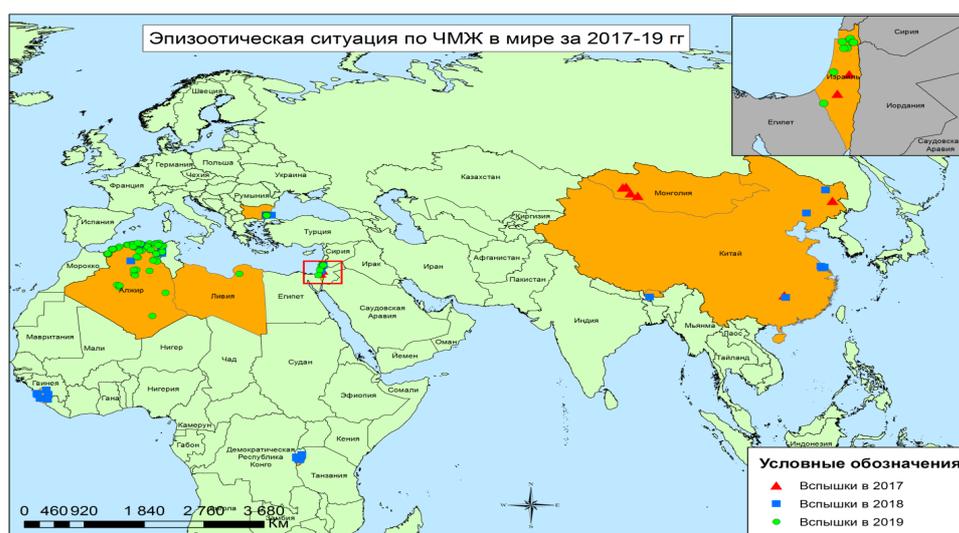


Рисунок 9 – Динамика развития эпизоотической ситуации по ЧМЖ в мире за 2017-2019 гг.

Количество вспышек и случаев ЧМЖ в мире за 2017-2019 гг. показаны на рисунке 10.

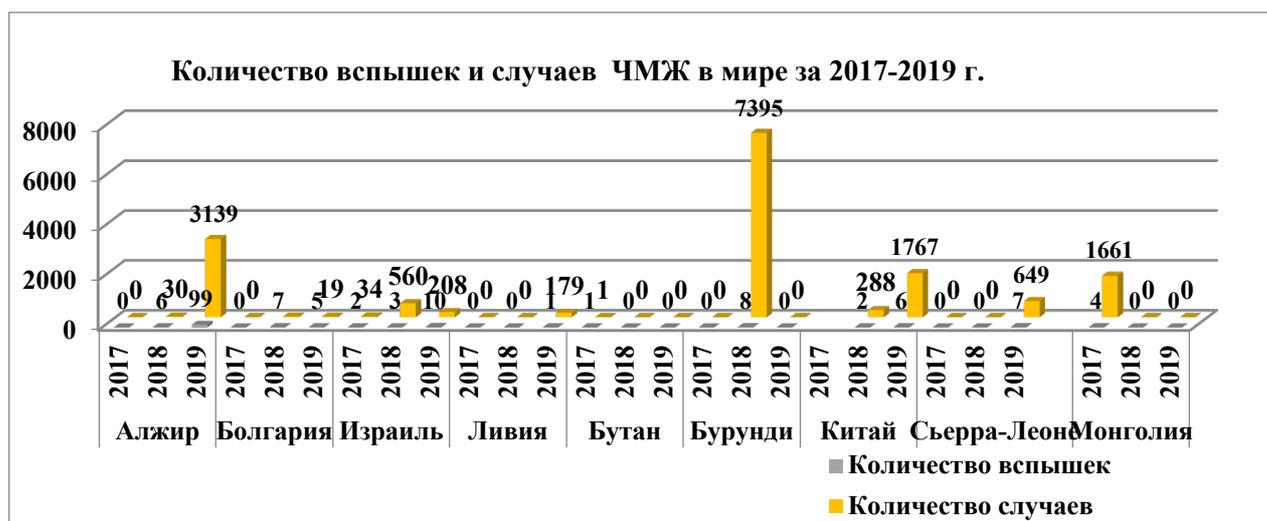


Рисунок 10 – Количество вспышек и случаев ЧМЖ в мире за 2017-2019 гг.

В 2017 году инфекция была зарегистрирована в Монголии (4 вспышки, 1661 случай), в Израиле (2 вспышки, 34 случая), в Китае (2 вспышки, 288 случаев).

За 2018 год чума мелких жвачных была зарегистрирована в 7 странах мира: Алжире, Бутане, Болгарии, Бурунди, Китае, Израиле, Сьерра Леоне.

В Алжире было зарегистрировано 6 вспышек и 30 случаев болезни; в Бутане - 1 вспышка и 1 случай; в Болгарии – 7 вспышек, 28 случаев; в Бурунди – 8 вспышек, 7395 случаев; в Китае – 6 вспышек, 1757 случаев; в Израиле 3 вспышки, 560 случаев, Сьерра-Леоне – 7 вспышек, 649 случаев.

По состоянию на декабрь 2019 года были зарегистрированы 10 вспышек и 208 случаев возникновения чумы мелких жвачных на территории Израиля, 99 вспышек в Алжире и 3139 случаев, а также 1 вспышка и 179 случаев болезни в Ливии. Согласно данным ОИЕ и ФАО в 2009 – 2019 гг. в мире было зарегистрировано 2884 вспышек чумы мелких жвачных животных, расположенных, главным образом, в странах Африки и Азии.

Проведённый геопространственный анализ показал, что наивысшая концентрация вспышек ЧМЖ за указанный период наблюдалась в пяти крупных кластерах (Рисунок 11):

- Западная часть северного побережья Африки, (Алжир и Тунис);
- Западная часть Черноморского побережья (Болгария);
- Восточное побережье Средиземного моря (Израиль);
- Народная Республика Бангладеш;
- Южная, Юго-Восточная и Восточная часть Китайской Народной Республики.

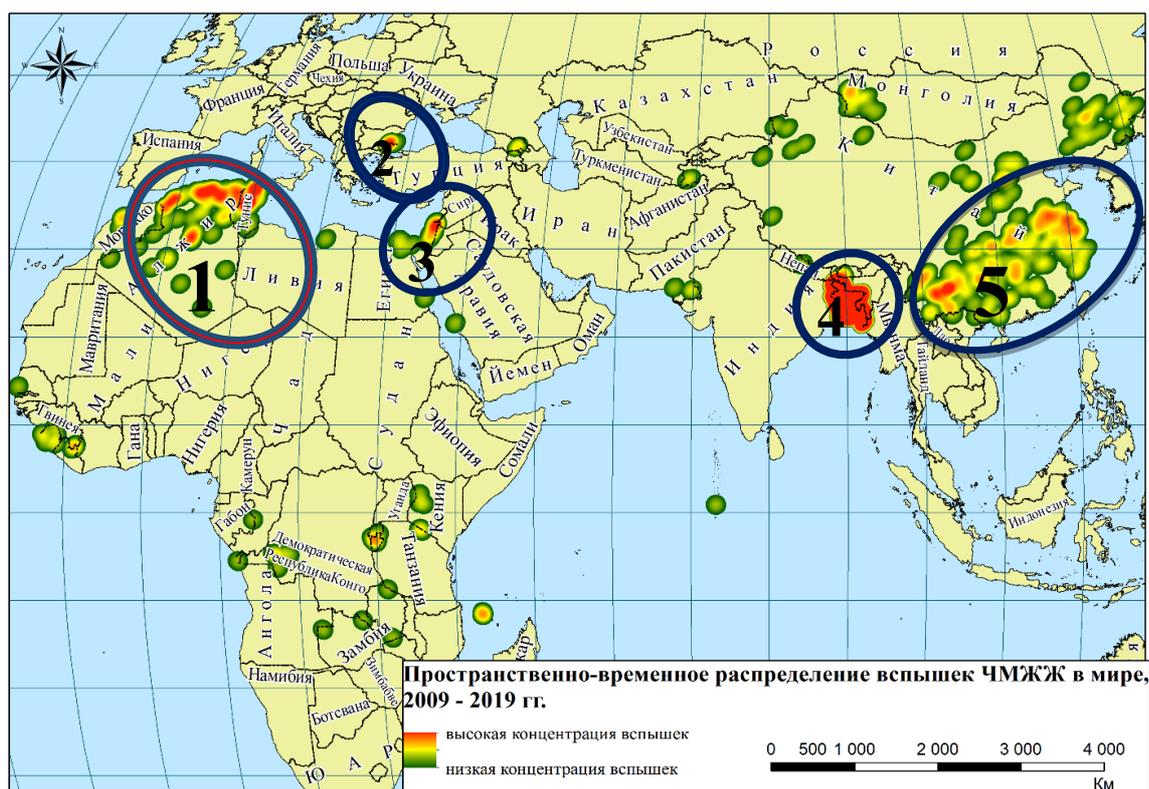


Рисунок 11 – Пространственно-временное распределение вспышек ЧМЖ в мире, 2009-2019 гг. Кластеры: 1 – зона Северной Африки (Марокко, Алжир, Тунис); 2 – Болгария; 3 – Палестина; 4 – Бангладеш, 5 – Китай

Расчёт индекса стационарности показал, что наиболее длительным неблагополучие по ЧМЖ было на территории Китая, Алжира, Израиля, Туниса и Бангладеш (Рисунок 12). В этих же странах было зарегистрировано и наибольшее количество вспышек болезни на протяжении указанного периода (Рисунок 13).

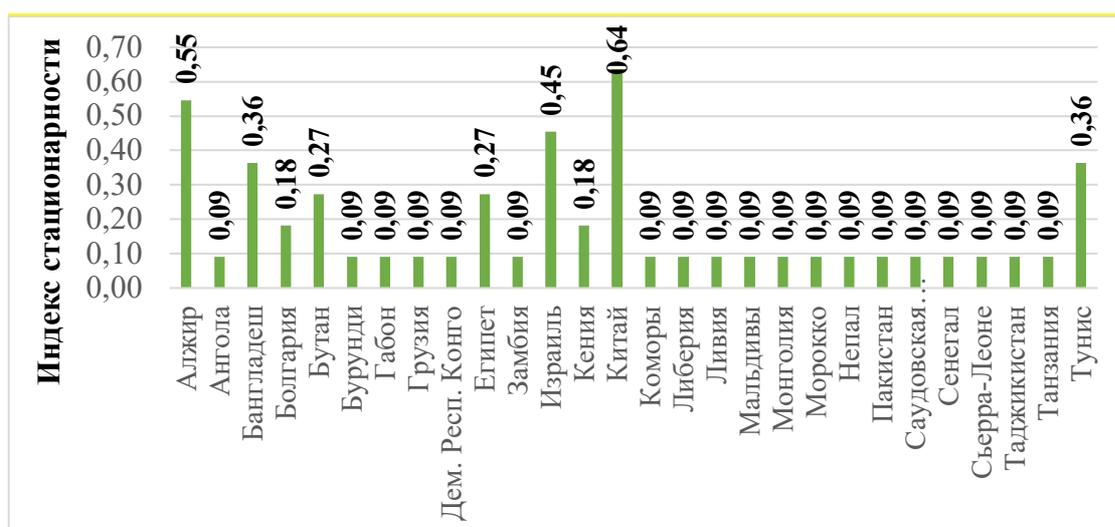


Рисунок 12 – Индекс стационарности ЧМЖ в мире, 2009 – 2019 гг.

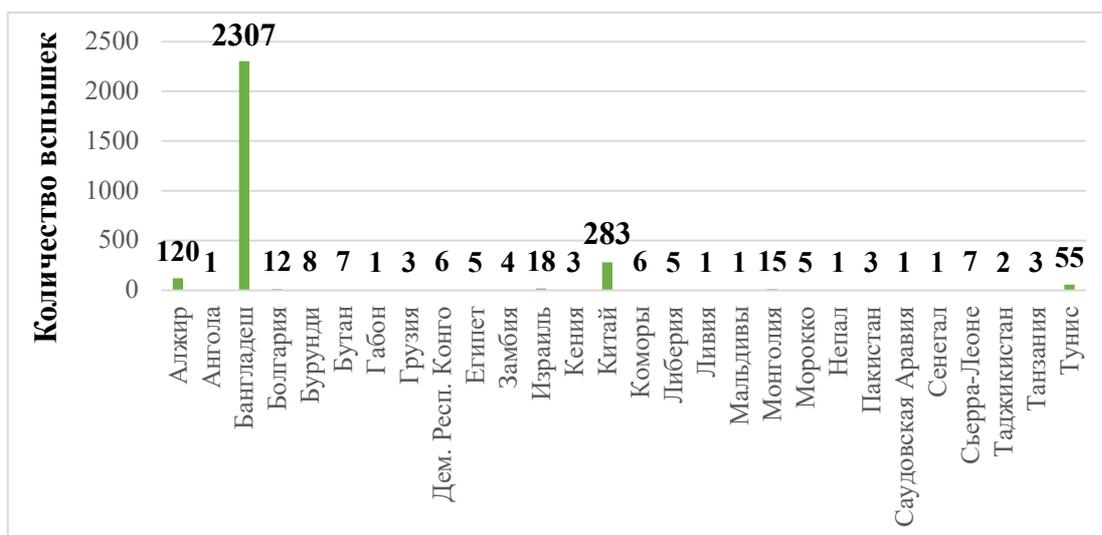


Рисунок 13 – Количество вспышек ЧМЖ в различных государствах, 2009 – 2019 гг.

При этом вспышки с наибольшим количеством павших животных концентрировались, главным образом, на территории Бангладеш и Китая (Рисунок 14).

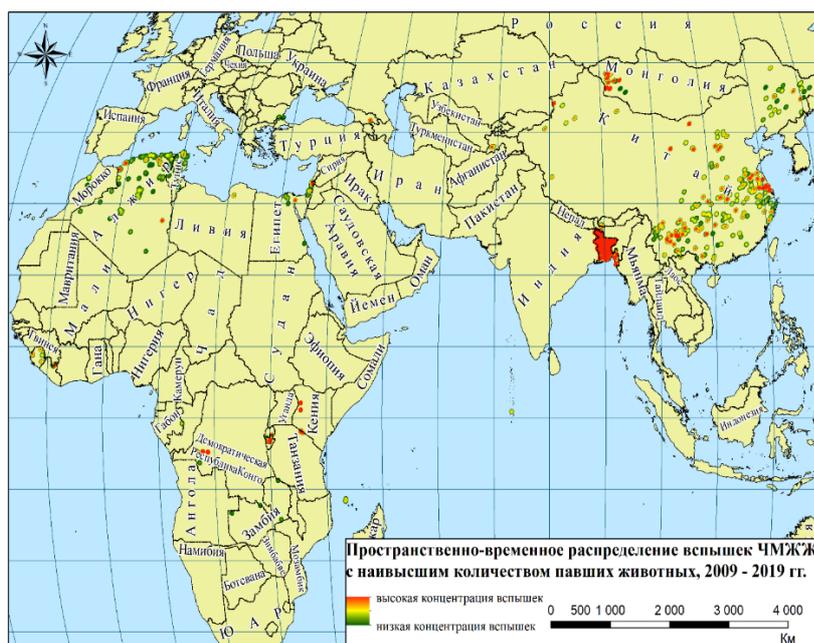


Рисунок 14 – Пространственно-временное распределение вспышек ЧМЖ с наивысшим количеством павших животных в мире, 2009 – 2019 гг.

Таким образом, ретроспективным анализом установлено, что нозоарел возбудителя ЧМЖ имеет чрезвычайно широкое географическое распространение.

### Оценка распределения поголовья восприимчивых к инфекции животных на приграничных территориях РФ с Китаем и Монголией

Ввиду своего географического положения Российская Федерация имеет общие границы с неблагополучными по изучаемой инфекции государствами: Китаем и Монголией. В связи с этим, территория нашей страны находится в зоне

потенциального риска заноса инфекции с вышеупомянутых стран, а также распространения болезни внутри территории России.

Важным фактором для оценки риска распространения болезни выступает третье звено эпизоотической цепи – восприимчивые животные. В связи с этим, нами были собраны и проанализированы данные по численности поголовья восприимчивых животных в приграничных регионах России.

Численность поголовья мелкого рогатого скота в приграничных регионах России с Монголией и Китаем: Амурская область (более 2000 голов); Республика Бурятия (более 40000 голов); Приморский край (более 3000 голов); Республика Тува (120000 голов); Забайкальский край (75000-90000 голов); Хабаровский край (более 1800 голов).

Чем больше численность поголовья восприимчивых животных, тем выше риск возникновения эпизоотии.

Таким образом, на основании данных по численности восприимчивых животных в вышеупомянутых регионах, можно оценить степень риска возникновения и распространения ЧМЖ на территории пограничных субъектов РФ.

Оценка риска выглядит следующим образом:

- Республика Тува - зона очень высокого риска;
- Забайкальский край - зона очень высокого риска;
- Республика Бурятия - зона среднего риска;
- Приморский край - зона низкого риска;
- Амурская область - зона очень низкого риска;
- Хабаровский край - зона очень низкого риска;
- Еврейская автономная область - зона очень низкого риска.

### Прогнозирование количества эпизоотических вспышек в Китае и Монголии на 2022 – 2024 гг.

График диаграммы прогнозирования количества вспышек чумы мелких жвачных на территории Китайской Народной республики на 1 и 3 года представлен на рисунке 15.

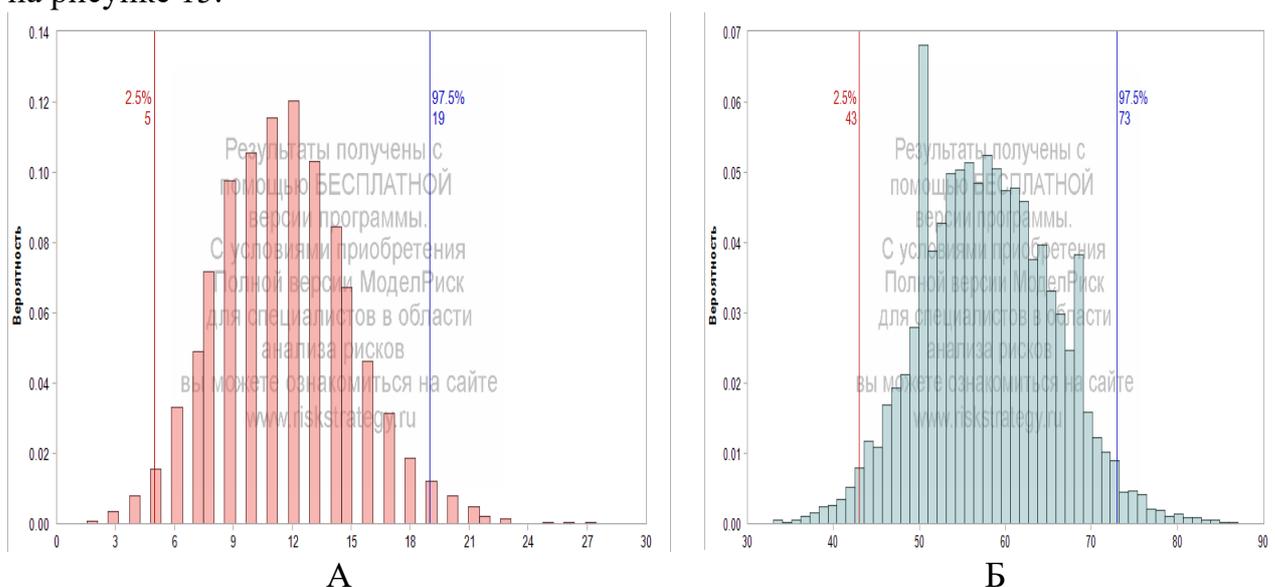


Рисунок 15 – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Китайской Народной Республики

А – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Китайской Народной Республики на 1 год.

Б – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Китайской Народной Республики на 3 года.

Наиболее вероятное количество вспышек в Китае на 1 год =  $11,61 \pm 3,42$ .  
Наиболее вероятное количество вспышек в Китае на 3 года (2022-2024) =  $57,95 \pm 7,66$ .

График прогнозирования количества вспышек чумы мелких жвачных на территории Монголии на 1 и 3 года представлен на рисунке 16.

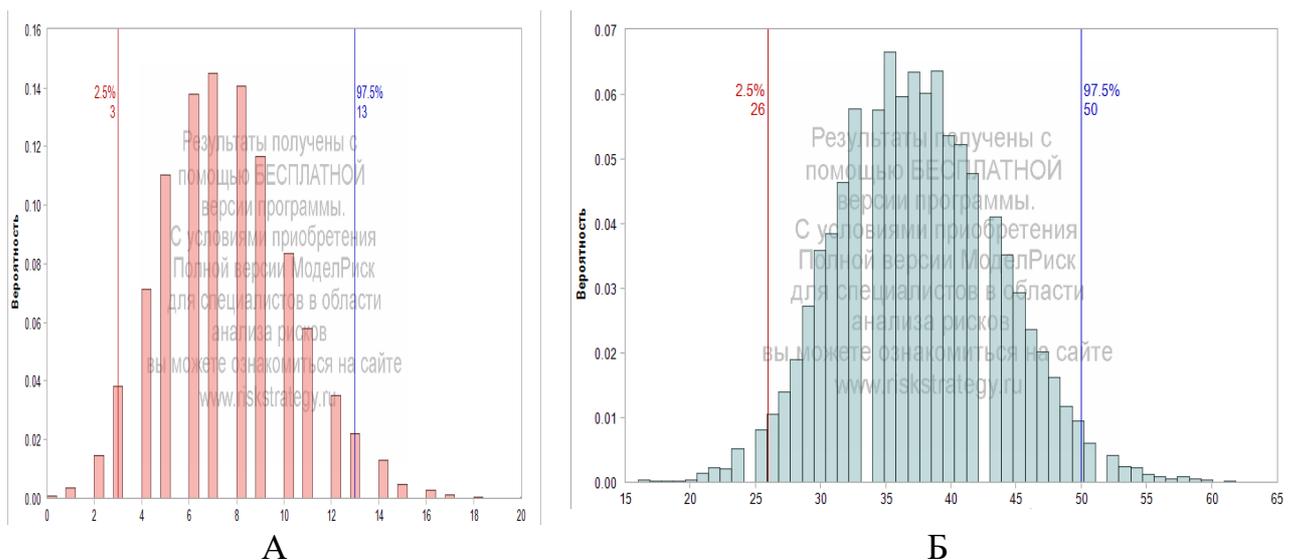


Рисунок 16 – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Монголии

А – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Монголии на 1 год; Б – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Монголии на 3 года.

Наиболее вероятное количество вспышек в Монголии на 1 год =  $7,51 \pm 2,72$ , а на 3 года (2022-2024) =  $37,46 \pm 6,14$ .

В связи с тем, что существует потенциальный риск заноса и распространения ЧМЖ трансграничным путем на территорию РФ, необходимо создать ГИС - подразделения в структуре региональных ветеринарных служб.

### Оценка эффективности вакцинации против ЧМЖ в странах мира в период с 2009 по 2019 год

Для оценки влияния проводимых кампаний по вакцинации на эпизоотическую ситуацию по ЧМЖ было проведено сравнение численности вакцинированного поголовья восприимчивых сельскохозяйственных животных и инцидентности болезни на территории стран с наибольшим неблагополучием (Рисунок 17).

Согласно данным МЭБ, в рассматриваемый период ни в одной стране мира кампании по вакцинации не охватывали 100% поголовья мелкого рогатого скота.

В странах, наиболее неблагополучных по ЧМЖ, доля вакцинированного поголовья не превышала 5,5%. Наиболее длительными профилактические мероприятия были на территории Израиля (2009 – 2014 гг.), однако, доля вновь вакцинированного поголовья не превышала 1,5% от общей численности

восприимчивых сельскохозяйственных животных. Наибольший показатель вакцинированного поголовья в ходе годовой кампании был достигнут в Бангладеш: 5,18% в 2009 г., после чего вакцинация не проводилась. В Алжире соответствующие мероприятия против ЧМЖ осуществлялись в 2013 г., но доля привитого поголовья составила не более 0,38%. Китай и Тунис кампании по вакцинации в рассматриваемый период не проводили.

Изучение корреляции между показателем инцидентности ЧМЖ и количеством иммунизированных животных на территории государств с наибольшим неблагополучием выявил лишь незначительное снижение инцидентности в результате кампаний по вакцинации. Коэффициент корреляции Пирсона составил -0,13 для Алжира, -0,19 для Бангладеш и -0,33 для Израиля, что, по-видимому, связано с незначительными масштабами кампаний по вакцинации.

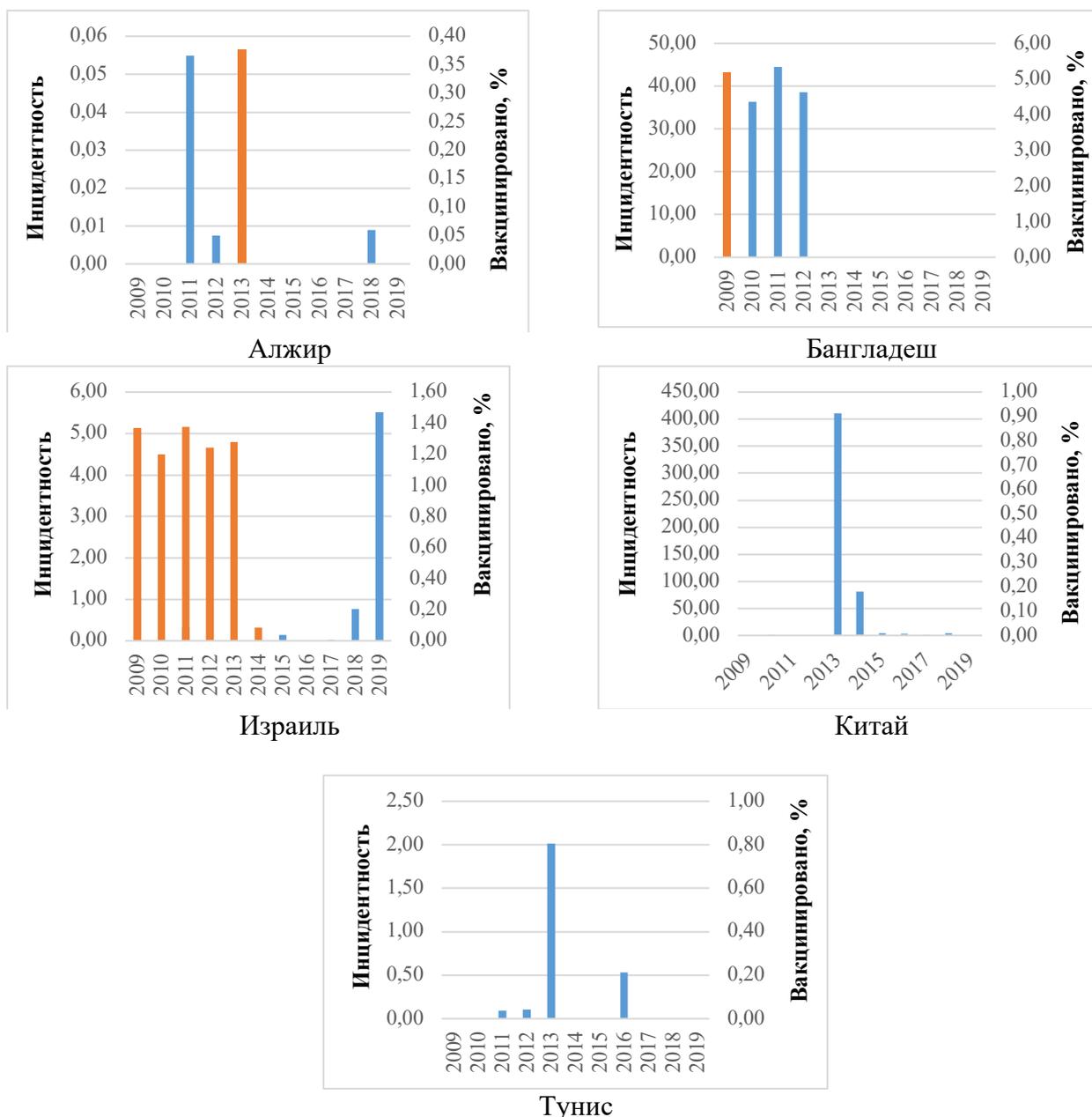


Рисунок 17 – Инцидентность ЧМЖ и поголовье мелкого рогатого скота, вакцинированного от ЧМЖ, в странах с наихудшей эпизоотической обстановкой, 2009-2019 гг.

(синим обозначена инцидентность, красным – % вакцинированного поголовья)

### Оценка влияния природных и социально-экономических факторов на распространение возбудителя чумы мелких жвачных и риск его заноса на территорию Российской Федерации

#### Моделирование экологической ниши по методу максимальной энтропии

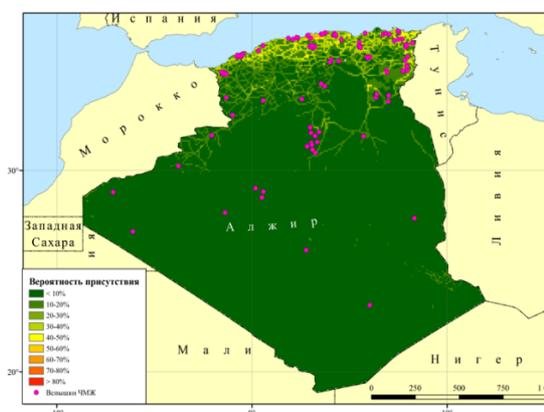
Построенная модель продемонстрировала высокую предсказательную способность, значение площади под кривой (AUC) для кривой ошибок (ROC) составило  $0,886 \pm 0,008$ . Относительная значимость отдельных объясняющих переменных, использованных при построении модели, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Относительная значимость отдельных объясняющих переменных для распространения возбудителя ЧМЖ

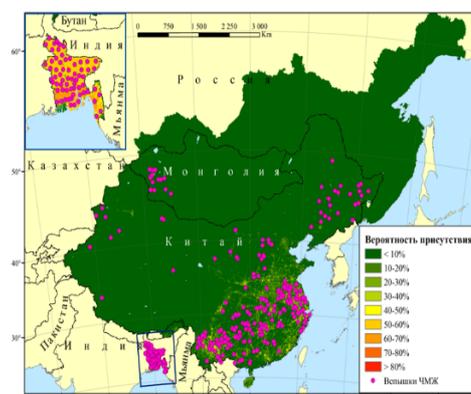
Переменная	Значимость
Плотность покрытия территории автодорогами	30.6
Козы	1.7
Минимальная температура самого холодного месяца года	62.3
Осадки самого влажного месяца	1.1
Осадки в самом засушливом квартале	0.3
Средний дневной диапазон (среднее значение за месяц (максимальная температура - минимальная температура))	2.6
Средняя температура самого влажного квартала	0.5
Овцы	0.3
Железные дороги	0.5

Полученные данные свидетельствуют, что наибольшее влияние на распределение вспышек ЧМЖ оказывают минимальные значения температуры самого холодного месяца года и плотность покрытия территории автодорогами.

Карты вероятности присутствия возбудителя ЧМЖ на территориях, которые использовались при построении модели его экологической ниши с учётом указанных в таблице 1 переменных, представлены на рисунке 18.



(а) Алжир



(б) Бангладеш, Китай, Монголия и Россия

Рисунок 18 – Карты вероятности присутствия возбудителя ЧМЖ на территории Алжира (а), Бангладеш, КНР, Монголии и России (б)

Как видно по результатам картографического анализа, в Алжире территории, наиболее подверженные риску возникновения вспышек ЧМЖ, находятся в северной части страны, где господствует субтропический средиземноморский тип климата, а минимальная температура зимой составляет  $+10^{\circ} \dots +12^{\circ} \text{C}$  (Metz.,1994. URL: <http://countrystudies.us/algeria/46.htm>). Вероятность присутствия возбудителя ЧМЖ здесь колеблется от 30 до 70%.

На рисунке 186 также представлена вероятность присутствия возбудителя ЧМЖ на территориях субъектов Российской Федерации, непосредственно граничащих с Монголией и Китайской Народной Республикой. Согласно использованной на данной карте шкале вероятность присутствия ниже 10%. Тем не менее, при более детальном рассмотрении очевидно, что данный показатель в этом регионе не является однородным (Рисунок 19).

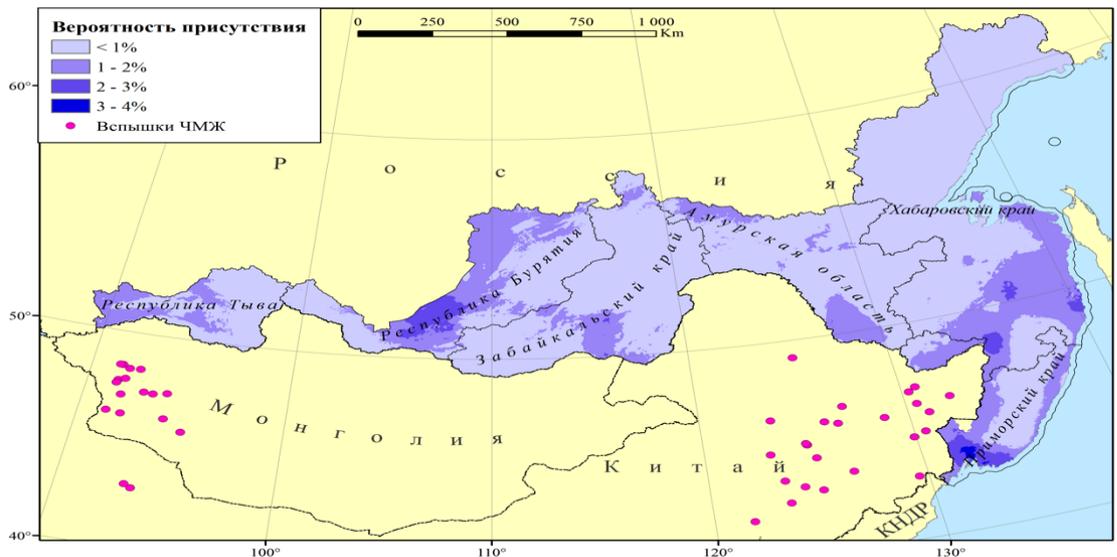


Рисунок 19 – Вероятность присутствия возбудителя ЧМЖ на территории субъектов Российской Федерации, граничащих с КНР и Монголией

Непосредственно с Монголией и Китаем граничат семь субъектов Российской Федерации: Амурская область, Республика Бурятия, Еврейская Автономная область, Хабаровский край, Республика Тува, Приморский край и Забайкальский край.

Климат Тувы, Бурятии, Забайкальского края является резко континентальным, Хабаровского, Приморского краёв и Еврейской автономной области – умеренным муссонным, Амурской области – переходным между континентальным и муссонным. При этом минимальная температура самого холодного месяца года в южных приграничных частях этих субъектов находится в диапазоне от  $-35^{\circ}$  до  $-20^{\circ} \text{C}$ . Это обуславливает крайне низкую вероятность развития эпизоотии ЧМЖ. Наивысшая вероятность присутствия возбудителя ЧМЖ отмечена в самой тёплой части данной совокупности административных образований – на юге Приморского края, она соответствует 3 – 4%. Таким образом, возникновение случаев заболевания ЧМЖ может быть обусловлено только хозяйственной деятельностью человека.

### Заключение

Выполненные исследования по анализу мировой эпизоотической ситуации по ЧМЖ, оценке рисков заноса и распространения инфекционной болезни на

территорию РФ, прогнозирования возможного числа эпизоотических вспышек в Китае и Монголии на трехлетний период (2022-2024гг) и проведенный анализ полученных данных, обосновывают необходимость внесения изменений в структуру и функциональность региональных ветеринарных служб.

### **Выводы**

1. Ретроспективным анализом установлено, что нозоареал возбудителя ЧМЖ имеет чрезвычайно широкое географическое распространение: зона Северной Африки (Марокко, Алжир, Тунис); Болгария; Палестина; Бангладеш, Монголия и Китай.

2. Картографированием зон риска ЧМЖ выявлено, что степень риска возникновения инфекции зависит от удаленности очага вспышки от угрожаемой территории. Вспышки болезни с наибольшим количеством павших животных регистрировались, главным образом, на территории Бангладеш и Китая, где в последние 6 лет вакцинация не проводилась.

3. Корреляция между показателем инцидентности ЧМЖ и количеством иммунизированных животных на территории государств с наибольшим неблагополучием выявила лишь незначительное снижение инцидентности в результате кампаний по вакцинации. Коэффициент корреляции Пирсона составил -0,13 для Алжира, -0,19 для Бангладеш и -0,33 для Израиля, что, связано с незначительными масштабами кампаний по вакцинации.

4. Причинами первичного появления и распространения ЧМЖ является неконтролируемый ввоз инфицированного поголовья мелкого рогатого скота. Причинами повторного возникновения болезни является неполное проведение оздоровительных мероприятий на неблагополучных по ЧМЖ территориях.

5. Риск заноса вируса и распространения болезни на территории РФ, напрямую связан с численностью поголовья восприимчивых животных и транспортными коммуникациями регионов (зон), граничащих с Монголией и Китаем: зоной очень высокого риска являются Республика Тува, Забайкальский край; зоной среднего риска - Республика Бурятия, зоной низкого риска - Амурская область, Хабаровский край.

6. Оценка влияния природных факторов на распространение возбудителя ЧМЖ показала, что наиболее подвержен риску возникновения вспышек ЧМЖ Бангладеш. Вероятность присутствия возбудителя благодаря тропическому муссонному климату практически на всей территории этой страны составляет 50% – 70%. В Китайской Народной Республике – территории с наибольшей вероятностью присутствия возбудителя ЧМЖ, составляющей 40 – 50%, располагаются в Юго-Восточной части страны в областях субтропического муссонного климата.

7. Прогнозирование развития эпизоотической ситуации на ближайшие 3 года (2022-2024 гг.) показало, что ожидаемое количество вспышек ЧМЖ на территории Китая составит  $57,95 \pm 7.66$  вспышек; на территории Монголии  $37,46 \pm 6.14$  вспышек.

### **Практические предложения**

Предлагается создать подразделения по работе с геоинформационными системами на базе региональных ветеринарных служб: Управлений Россельхознадзора и Управлений ветеринарии. Функционирование данных подразделений, позволит проводить постоянный мониторинг эпизоотической ситуации по эмерджентным болезням, а в случае возникновения очага инфекции на приграничной территории

своевременно принять необходимый комплекс мер по недопущению заноса и / или распространения инфекционной болезни.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

В перспективе исследования будут направлены на совершенствование профилактических и оздоровительных мероприятий при чуме мелких жвачных животных, с учётом эпизоотической обстановки и оценки риска заноса и распространения болезни на новые территории.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### *Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных*

#### *Минобрнауки России*

1. **Падило, Л.П.** Мировая эпизоотическая ситуация по чуме мелких жвачных / Л.П. Падило, О.П. Бирюкова, В.А. Агольцов // Научная жизнь. – 2020. – Т.15, № 7. – С. 1007-1017.
2. Оценка влияния вакцинации на эпизоотическую ситуацию по чуме мелких жвачных на различных географических территориях / **Л.П. Падило**, Д.В. Подшибякин, О.П. Бирюкова, В.А. Агольцов // Научная жизнь. – 2020. – Т. 15., Вып. 10. – С. 1407-1416.
3. **Падило, Л.П.** Анализ изученности, положительный опыт и рекомендации по диагностике и мерам борьбы с чумой мелких жвачных / Л.П. Падило // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14, Вып. 5 (93). – С.706-713.
4. **Падило, Л.П.** Совершенствование работы Российских региональных ветеринарных служб по недопущению возникновения и распространения чумы мелких жвачных животных с применением ГИС-технологий / **Л.П. Падило**, В.А. Агольцов, Р. В. Абрамов // Научная жизнь. –2021. – Т. 16, Вып. 5. – С. 628-637.

#### *В издании из международной базы данных*

5. Bouchemla, F. Assessment of the peste des petits ruminant's world epizootic situation and estimate its spreading to Russia / F. Bouchemla, V.A. Agoltsov, O.M. Popova, **L.P. Padilo**. // Veterinary World. – 2018. –V. 11. – P. 612-619.

#### *Работы, опубликованные в прочих изданиях*

6. Агольцов, В.А. Анализ мировой эпизоотической ситуации по чуме коз и овец и научно-обоснованная оценка факторов риска её появления в России / В.А. Агольцов., **Л.П. Падило** // Вклад ученых в повышение эффективности агропромышленного комплекса России: материалы Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2018. – С. 189-191.
7. **Падило, Л.П.** Эпизоотическая ситуация по чуме мелких жвачных в мире и оценка риска заноса эмерджентной инфекции на территорию Российской Федерации / Л.П. Падило // Современные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2018. – С. 84-87.