

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»

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

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:

доктор ветеринарных наук,
старший научный сотрудник

Агольцов Валерий Александрович

Саратов – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	10
1.1. Основные сведения о возбудителе	10
1.2. Эпизоотологические данные	13
1.3. Стратегии управления	17
1.4. Использование сезонной матричной популяции PVIR в различных условиях окружающей среды для достижения 70% PVIR	20
1.5. Эпизоотологическое картографирование, картографические базы данных	22
1.6. Геоинформационные технологии в эпизоотологическом картографировании	23
1.7. Описание актуальных геоинформационных систем	24
2. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	26
2.1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	26
2.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	34
2.2.1. Результаты проведения ретроспективного анализа вспышек	34
2.2.2. Прогнозирование эпизоотической ситуации	39
2.2.3. Оценка распределения поголовья восприимчивых к инфекции животных на приграничных территориях РФ с Китаем и Монголией	53
2.2.4. Оценка вероятности завоза инфекции в Россию с приграничных территорий	62
2.2.5. Прогнозирование возможного количества вспышек ЧМЖ на территории КНР и Монголии на 2022 – 2024 годы	75
2.2.6. Оценка эффективности вакцинации против ЧМЖ в странах мира в период с 2009 по 2019 год	79

2.2.7. Оценка влияния природных и социально-экономических факторов на распространение возбудителя чумы мелких жвачных и риск его заноса на территорию Российской Федерации	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
ВЫВОДЫ	98
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	100
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	102

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Чума мелких жвачных (ЧМЖ) является высоко контагиозным, трансграничным заболеванием. Эту инфекционную болезнь, наряду с блютангом, регистрируют наиболее часто среди мелких жвачных животных [37, 72]. 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 [7, 20, 37]. 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 % [2, 7].

Российская Федерация обладает наиболее протяженными сухопутными границами, поэтому существует повышенный риск заноса возбудителя ЧМЖ с территорий сопредельных государств [20].

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 [67].

Данные статистики об эпизоотических вспышках, представленные в официальных источниках (OIE, WAHIS) приблизительные, за исключением

даты возникновения вспышки болезни и даты официального ее лабораторного подтверждения. Это не позволяет всецело 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.

В связи с этим, **цель нашего исследования:**

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 [36, 72]. 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 территорию 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 со многих континентов земного шара, 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 статьи из перечня рецензируемых научных изданий, 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 сформированы 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.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Основные сведения о возбудителе

Чума мелких жвачных животных (ЧМЖ), согласно международной классификации, входит в список особо опасных карантинных инфекционных болезней. Возбудитель ЧМЖ – РНК-содержащий вирус семейства парамиксовирусов (*Paramyxoviridae*), рода морбилливирус (*Morbillivirus*). Возбудитель имеет слегка овальную или шарообразную формы, размеры от 150 – 170 до 200 – 400 нм [72, 134]. Вирус по морфологии, антигенному составу и иммунобиологическим свойствам близок к возбудителю чумы крупного рогатого скота. Вызываемая им болезнь входит в список А инфекционных болезней МЭБ [135].

В замороженных мясных продуктах при минусовой температуре вирус сохраняется несколько месяцев, в свежих продуктах убоя при комнатной температуре – 5 – 7 суток, при 0 – 4 °С – несколько недель [66, 69].

ЧМЖ является одним из самых заразных заболеваний с высокой степенью летальности, распространенных в мире. Оно поражает мелких жвачных, особенно овец и коз. Заболевание характеризуется лихорадкой, существенным снижением активности, ухудшением общего состояния животного и эрозивными поражениями слизистых оболочек пищеварительного тракта и дыхательных путей, в течение нескольких дней, сопровождающимися профузной диареей, тошнотой и симптомами вовлечения легких в патологический процесс [2]. Данная патология развивается довольно стремительно, что чаще всего приводит к смерти животных [7]. Высокая заболеваемость (до 100%) и смертность (до 90%), приводят к катастрофическим финансовым потерям для отрасли мелкого скотоводства во всем мире [2]. В настоящее время около 1,7 миллиарда мелких жвачных животных (80% мирового поголовья мелких жвачных животных) находятся в опасности из-за угрозы возникновения чумы [21, 90]. По приблизительным оценкам, чума негативно влияет на экономику

неблагополучных по этой болезни стран, каждый год приводит к убыткам в размере 1,45 – 2,1 миллиардов долларов США [131].

Вирус ЧМЖ (PPRV; семейство *Paramyxoviridae*, род *Morbillivirus*) вызывает острую инфекционную патологию у домашних представителей мелкого рогатого скота и у нескольких видов диких копытных животных [7]. В итоге клиническая форма ЧМЖ, может привести к высоким показателям заболеваемости и смертности. МЭБ ЧМЖ признана экономически опасным трансграничным заболеванием. Болезнь мелкого рогатого скота оказывает влияние и на социально-экономическую составляющую деятельности населения вовлеченных в эпизоотический процесс государств. Для многих людей, проживающих в странах Африканского континента, заболевание наносит колоссальный ущерб, который существенно ударяет по уровню благосостояния граждан в странах, неблагополучных по этой инфекции. Дело всё в том, что в государствах Африканского континента, особенно в той его части, в которой сосредоточено, главным образом, население, исповедующее ислам, очень развита сфера овцеводства и козоводства. По этой причине, основным источником дохода населения в этих регионах является разведение, выращивание мелкого рогатого скота, а также переработка продукции, полученной от них. В связи с этим, для этой категории граждан неблагополучных по ЧМЖ государств, болезнь является серьезным риском, ставящим под угрозу социально-экономическое благополучие населения целых регионов. Высокий уровень заболеваемости и летальности при этой инфекции непременно приведет к стремительному росту уровня бедности и безработицы среди трудоспособного населения стран, вовлечённых в эпизоотию.

Сообщается, что ЧМЖ поражает несколько видов диких жвачных, находящихся на свободном содержании или в неволе [7, 85, 86], но клинически редко встречается в популяциях диких животных, которые, как считается, играют незначительную роль в развитии эпизоотии [67, 86].

Падёж среди нескольких видов диких горных копытных животных, а также восприимчивость многих других видов копытных, которые находятся под угрозой исчезновения, делают этот вирус главной угрозой для сохранения популяционного состава дикой фауны [7, 85, 112, 130, 131].

Осенью 2016 года была подтверждена вспышка ЧМЖ среди домашних овец и коз в западной Монголии, в результате неконтролируемого трансграничного перемещения животных. В общей сложности 83.889 мелких жвачных животных из 1. 081 домашнего хозяйства, пострадали от ЧМЖ в 14 суммах (районах) из 3 аймаков (провинций), из которых 12.976 особей МРС погибло (общий риск летальности 15,5%) [95]. После этой первичной вспышки контрольные меры включали вакцинацию 4.632.200 овец и 5.800.318 коз в районе вспышки и вокруг нее в октябре 2016 года. Хотя кампания вакцинации успешно взяла под контроль эпизоотию среди мелкого рогатого скота, 27 декабря 2016 года зафиксирована гибель монгольской антилопы - сайгака (подвид) *Saiga tatarica mongolica*) от инфекции ЧМЖ, которая была подтверждена лабораторно. Позднее также были подтверждены случаи падежа от ЧМЖ сибирского козерога (*Capra sibirica*) и зубной газели (*Gazella subgutturosa*) [131]. Ареал обитания сайгака не полностью перекрывает горных копытных, в том числе сибирских козлов, архаров, овец (*Ovis ammon*) и других равнинных копытных, таких как змеиная газель и монгольская газель (*Procapra gutturosa*). Здесь также преобладает домашний скот; более 1,5 миллиона овец и коз в 8 районах, перекрывающих ареал сайгака [35], сезонно пасутся как в горных, так и в пустынных степных районах [37]. Чтобы описать эпизоотию, вызванную ЧМЖ в популяции диких копытных животных в Монголии, учёные собрали все имеющиеся данные из полевых экспедиций, гистопатологических исследований, правительственных записей, мониторинга популяций диких животных и лабораторных тестов, (включая молекулярно-генетическую характеристику возбудителя) [37].

Эта болезнь привлекла к себе особое внимание во всем мире, благодаря её устойчивому развитию в новых районах, особенно на Среднем и Дальнем

Востоке. В мире насчитывается 2 миллиарда мелких жвачных животных, и примерно 80% их обитают в странах, затронутых ЧМЖ. Из 70 стран мира, сообщивших о наличии ЧМЖ, большинство классифицируется как развивающиеся, и именно в этих странах граждане, находящиеся на грани экономического упадка, полагаются на своих животных в качестве источника средств к существованию [109].

Следовательно, ЧМЖ может значительно увеличить глобальную бедность [58]. По предварительным подсчетам, более 300 миллионам семей, которые зависят от мелких жвачных животных, угрожают экономические трудности из-за болезни и смерти их животных. Успешное искоренение чумы крупного рогатого скота привело к тому, что мировые власти предложили разработать соответствующую программу по ЧМЖ для её глобального контроля и искоренения, что и было сделано Всемирной организацией защиты здоровья животных (OIE) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) в марте 2015 года [95].

1.2. Эпизоотологические данные

Источником рассматриваемой инфекции являются больные мелкие жвачные животные, которые могут выделять вирус с носовыми и слёзными истечениями, а также с фекалиями, начиная с первого дня лихорадки, но за 2 – 3 дня до их появления клинических признаков и на протяжении всего периода болезни. После перенесенной инфекции у животных формируется длительный иммунитет. Вирусоносительство отсутствует [69].

Заражение происходит при контакте здоровых особей с больными, аэрогенным и алиментарным путями. Наиболее восприимчивы к заражению молодые козы в возрасте от 2-х до 18-ти месяцев. Крупный рогатый скот не болеет, но антителообразование при контакте с возбудителем у представителей этого вида животных происходит [72, 86, 112, 127, 130, 139].

У вируса имеется короткая инфекционная фаза. Он не может сохранять свою жизнеспособность вне организма хозяина продолжительное время, что

является идеальным условием для того, чтобы действовать согласованно на пути к его искоренению.

Вирус имеет ядро, представленное рибонуклеопротеидом и наружной оболочкой с шипиками. Вирионы вируса ЧМЖ существенно отличаются от вирионов вируса чумы КРС. Вирион содержит комплементсвязывающий и преципитирующий антигены. Антигены серологически весьма близкие (если не идентичные) таковым вирусам чумы КРС и кори человека [131].

По состоянию на декабрь 2017 года, по данным МЭБ о природных очагах официально объявили только в 2-х странах: Мальдивы, Таджикистан (всего 4 очага), хотя изучаемый инфекционный агент был обнаружен на более обширных территориях. Географическое расположение этих регионов показывает, что случаи падежа овец и коз связаны с распространением ЧМЖ в Китае, и конечно на Африканском континенте, в таких государствах, как: Нигерия, Кения, Замбия, Тунис, Алжир и т. д. [7, 72].

К вирусу ЧМЖ восприимчивы многие виды мелких жвачных: козы, овцы, сайгаки, газели и некоторые др. животные. [98, 104].

Сообщалось о клинических случаях среди диких мелких жвачных животных в некоторых зоопарках, например, среди муфлонов (*Ovis gmelini*), газелей доркас (*Gazelle dorcas*), ориксов (*Oryx gazelle*). Другие виды, такие как крупный рогатый скот, буйволы, верблюды и свиньи, могут быть инфицированы вирусом ЧМЖ, хотя трудно обнаружить симптомы заболевания (болезнь протекает бессимптомно, хотя серологически диагностируется в РСК и РДП) [98, 104].

У данного вируса низкая устойчивость во внешней среде (период утраты инфекционности около 8 дней при 37 °С. Козы (новорожденные и молодые животные) в возрасте от 2 до 18 месяцев более чувствительны; существует породная предрасположенность к болезни [66].

Эпизоотические очаги продвигаются эпизодическими вспышками на зараженной территории, а распространение болезни часто связано с несанкционированным перемещением потенциально инфицированного скота

и реализацией, как живых животных, так и продуктов убоя от МРС. Уровень заболеваемости значительно ниже в сухой среде с более высокими температурами, чем при более высокой влажной среде со средними температурами воздуха [59].

На протяжении не одного десятка лет гетерологичная вакцина против чумы крупного рогатого скота использовалась в превентивных целях против ЧМЖ с переменным успехом из-за отсутствия гомологичных вакцин против ЧМЖ [67].

Международному сообществу удалось искоренить чуму крупного рогатого скота, главным образом, из-за наличия на рынке эффективных живых ослабленных вакцин. Ввиду того, что такие морбилливирусы как вирус чумы КРС и вирус чумы мелких жвачных – очень похожи, опыт элиминации вируса чумы крупного рогатого скота был успешно внедрён в борьбу с возбудителем чумы мелких жвачных животных [73].

Иммунизированные вакциной против ЧКРС козы, остаются свободными от инфекции ЧМЖ, по меньшей мере, в течение года без передачи вируса, заражения контактных восприимчивых животных [73].

Морбилливирус, такой, как вирус чумы плотоядных (CDV), вызывает заболевания у широкого круга (150) хозяев, включая приматов, крупного рогатого скота, буйволов, коз, овец, собак, хорьков [65].

Характеристики морбилливируса, такие, как его восприимчивость к хозяину, передача и полевая эпизоотология, остаются плохо охарактеризованными. Все животные, подвергшиеся воздействию вируса ЧМЖ, чумы плотоядных, могут индуцировать анти-PPRV-нейтрализующие или перекрестно-нейтрализующие антитела [75].

Сыворотки, индуцированные у инфицированных морбилливирусом животных, перекрестно реагируют с другими вирусами того же рода, хотя перекрестная защита может зависеть от конкретного штамма вируса и природы вовлеченных хозяев и, таким образом, возникают не всегда взаимовыгодные отношения. Например, CDV защищает крупный рогатый

скот от RPV, тогда как RPV обеспечивает только частичную защиту хорьков от CDV [65].

Напротив, RPV защищает собак от инфекции CDV, однако CDV не может защитить крупный рогатый скот от инфекции RPV [65]. В другом примере, хотя PPRV и RPV вызывают сходные клинические фенотипы у их естественных хозяев, PPRV вызывает острое летальное заболевание у овец и коз с легкой инфекцией у крупного рогатого скота, а RPV приводит к летальной инфекции у крупного рогатого скота, но субклиническому течению у овец и коз. Таким образом, предположили, что PPRV мог появиться из RPV естественным путем у овец и коз. Также хорошо известно, что PPRV, циркулирующие у мелких жвачных животных, инфицируют скот и буйволов субклинически, продуцируя при этом антитела против PPRV, что позволяет предположить, что PPRV может появиться от крупного рогатого скота [65].

Следовательно, становится целесообразным включать крупный рогатый скот в кампанию массовой вакцинации против ЧМЖ. В настоящее время проводятся исследования по борьбе с PPRV и другим морбилливирусом. Насколько нам известно, была разработана химерная маркерная вакцина RPV-PPRV на основе белка N для обеспечения защиты от вирулентного RPV у крупного рогатого скота.

Следует отметить, что сопутствующая заболеваемость является частой проблемой в овцеводстве и козоводстве. При проведении лабораторной диагностики ЧМЖ, были идентифицированы и вирус синего языка (блютанга), и вирус оспы овец / коз в одном и том же стаде овец и коз в Турции. Такие как вирусы, как вирус лихорадки Рифт-Валли (RVFV) и вирус болезни Найроби овец (NSDV) могут реплицироваться преимущественно у животных, пораженных ЧМЖ [68].

Следовательно, желательно проверить, вызывает ли PPRV длительную иммунную супрессию и влияют ли вакцинные штаммы на эффективность иммунизации совместно вводимых вакцин. В результате несмотря на то, что значительная выгода и снижение затрат могут быть достигнуты посредством

одновременной вакцинации против нескольких заболеваний мелких жвачных животных, одномоментное введение может вызвать беспокойство по поводу возможного взаимодействия между совместно введенными вакцинами. Для реализации такого подхода в стратегии вакцинации или ликвидации ЧМЖ, безопасность и эффективность различных комбинации этих вакцин должны быть определены прежде всего [68].

1.3. Стратегии управления

Для глобальной ликвидации PPRV необходимо выработать стратегию сотрудничества между государственными органами, научно-исследовательскими центрами, международными организациями и финансирующими фондами. PPRV является эндемическим заболеванием в большинстве стран Африки и Азии. Это приводит к значительным экономическим потерям скота для фермеров, поэтому срочно требуется применение международной программы контроля. Тем не менее, предпочтительно использовать специфичные для региона вакцины, полученные из местных изолятов, поскольку PPRV имеет тенденцию к стремительной мутации. Альтернативно, стратегии комбинирования вакцин являются экономически эффективными и могут применяться по сравнению с индивидуальными стратегиями вакцинации, содержащими один штамм. Эпизоотологическая картина ЧМЖ и чумы крупного рогатого скота (ЧКРС), а также методы, связанные с их диагностикой и контролем, сопоставимы. Обстоятельства, которые позволили искоренение ЧКРС, также в значительной степени могут быть применимы для ЧМЖ. Развивающаяся стратегия по искоренению ЧМЖ, а также опыт, извлеченный из других программ искоренения в области здоровья человека и животных, объединяющие эпидемиологию, эпизоотологию, экономику и социальные науки в качестве инструментов для нацеливания и мотивации на вакцинацию, важно знать для получения стратегических результатов, схожих с предыдущими стратегиями искоренения. У крупного рогатого скота, вакцинированного вакциной против

ЧМЖВ дикого типа, не развивалась RP-инфекция после заражения живой экспериментальной инфекцией RPV. Однако вакцинированный крупный рогатый скот PPRV / Sungri / 96 давал частичную защиту. Между тем, вакцинация PPRV / Nigeria / 75/1 не была эффективной для защиты от случаев заражения инфицированного крупного рогатого скота RPV. В регионах, свободных от ЧМЖ, должны применяться меры контроля профилактики, предусматривающие строгое ограничение ввоза животных, туш от МРС, или продуктов их переработки из эндемичных по ЧМЖ регионов. Профилактику ЧМЖ можно оперативно проводить путем изолирования и санитарного убоя инфицированных животных (стада), правильной утилизации туш, дезинфекции материалов и окружающей среды, строгого карантина и контроля перемещений животных. Иммунизация против ЧМЖ проводится с помощью коммерческих доступных аттенуированных вакцин, которые стимулируют эффективный длительный иммунный ответ в течение по меньшей мере трех лет после вакцинации (PV) [78]. Этот иммунный ответ является результатом прочного клеточного иммунного ответа и играет важную роль в профилактике ЧМЖ после однократной инокуляции без каких-либо побочных эффектов. Защита предоставляется независимо от типа циркуляционной линии. Графики вакцинации в настоящее время требуют иммунизации не реже одного раза в три года [67,83]. Вакцинация животных начинается в возрасте от 4 до 6 месяцев [61-62]. Время вакцинации является важной горячей точкой в программах борьбы с ЧМЖ, так как введение невакцинированных животных в восприимчивую популяцию может привести к появлению вируса, вызывающего новую вспышку заболевания. Нынешние вакцины нуждаются в холодной цепи, чтобы удостовериться в сохранении максимального титра вируса и необходимого серологического ответа на вакцинацию. Другая стратегия (массовая вакцинация) должна быть воспроизведена в странах с похожими условиями выращивания и социально-экономическими проблемами. Кроме того, лагеря беженцев, торговые маршруты, рынки животных и районы скопления животных в результате засух

должны быть сфокусированы на мониторинге, надзоре и вмешательствах в рамках контроля ЧМЖ в регионе. Вакцинация суягных животных против ЧМЖ вызывает защитный колостральный иммунитет у их ягнят, который может длиться до 10-ти недельного возраста [89]. Вакцинация является одним из основных инструментов, используемых в настоящее время для борьбы с болезнями. Это предотвращает передачу болезни, уменьшая количество восприимчивого поголовья. Хотя стратегии массовой вакцинации могут быть очень дорогостоящими, классификация ресурсов по восьми категориям: вакцины, инъекционные материалы, транспортный персонал, обучение, техническое обслуживание и накладные расходы, наблюдение, мониторинг и социальная мобилизация, обеспечит лицу, принимающему решение, стоимость каждого шага. В системах разнообразного скотоводства учитываются следующие компоненты: стоимость вакцин; доставка вакцины от производителя до регионального центра хранения; хранение вакцины на местном объекте; администрация и транспортировка вакцины в поле; альтернативные затраты времени фермера на присутствие во время вакцинации; координация кампании вакцинации; расходы на рекламу и мобилизацию; потеря вакцины из-за пропущенных прививок и выбраковки вакцины в связи с истечением срока годности биопрепаратов [105].

Высокий титр сывороточных антител, распознаваемый у местной аборигенной породы, может быть связан с их большей адаптацией к условиям окружающей среды. Затраты на массовую вакцинацию в хозяйствах с концентрированным содержанием животных ниже, чем в системах с рассеянным содержанием. Полное искоренение болезни запланировано к 2030 году. Для обеспечения контроля распространения ЧМЖ в конкретной эпизоотологической единице требуется 70% уровень поствакцинального иммунитета (PVIR). Несмотря на то, что массовая вакцинация очень важна для борьбы с ЧМЖ, экономически она дорога и трудозатратна в небольших фермерских хозяйствах с рассеянным скотом и ограниченными возможностями. Использование сезонной матричной популяционной модели

PVIR в различных условиях окружающей среды (субгумидные районы или полусухие районы) и различных сценариях вакцинации (общий график, охват их вакцинацией и месяц их доставки) для достижения 70% PVIR [138].

1.4. Использование сезонной матричной популяции PVIR в различных условиях окружающей среды для достижения 70% PVIR

У овец, выращенных в полусухих регионах, месяц вакцинации оказал влияние на снижение PVIR, хотя у коз в дождливых районах этого не произошло. Рекомендуется проводить сероконверсию ежегодно в соответствии с рекомендацией Всемирной организации охраны здоровья животных (OIE) с соответствующими методами отбора проб, чтобы повысить эффективность программы контроля и статуса вакцинации, чтобы она достигла 70% [61, 62, 138]. Более высокий охват вакцинацией внутри деревень и ежегодные кампании вакцинации с необходимостью адаптации тактики вакцинации к конкретным аспектам поголовья мелких жвачных животных и региональному эпизоотологическому контексту приведут к более активному распределению ограниченных ресурсов и повысят вероятность устранения PPR [84]. Все эти тактики необходимы для удержания фракции иммунных животных на пороге более 70%. Рекомбинантный HF обеспечивает более раннюю и более надежную защиту как от PPR, так и от оспы овец и коз (SGP), защищая подвергшихся и не подвергшихся воздействию иммунизации овец против заболевания с возможностью DIVA [85].

Сокращение времени от момента начала идентификации ЧМЖ в стаде до вакцинации радикально уменьшит процент смертей в стаде от ЧМЖ. Эта информация поможет в разработке эффективных стратегий сдерживания для борьбы со вспышками болезни. Модель, использующая переходы состояний без памяти, позволяющие проводить анализ чувствительности (SA) для изучения того, как вирус распространяется через стадо, и для определения эффективных стратегий управления для разнородных конфигураций и условий в стаде [101]. Кроме того, позволит лучше разработать эффективную

модель на животных для стратегий контроля, которая отражает клинические признаки, характерные для каждого полевого штамма [90]. Способ инокуляции также имеет решающее значение в степени и серьезности проявления клинических признаков [90].

Недавний экономический анализ подтвердил полезность глобальной ликвидации, сославшись на чистую прибыль в размере 74,2 млрд. долл. США, что соответствует соотношению выгод и затрат в 33,8 % [101]. Сообщается также о большом количестве животных, которые являются частью неформальной (или нелегальной) торговли через границы, но невозможно рассчитать точные цифры. Контроль и профилактика заболеваний, связанных с ЧМЖ, имеют первостепенное значение для стабилизации аграрной экономики и предоставления экономических возможностей.

ЧМЖ часто возникала в странах с интенсивной торговлей, в частности, при проведении животноводческих фестивалей Eid Al-Ethah, незаконной торговле и перемещениях животных. В странах Ближнего Востока серологические данные свидетельствуют о том, что заболевание было обнаружено в Ливане, Иордании, Саудовской Аравии и в Египте.

Уровень серопревалентности в стадах Иордании составлял 60% и 74% у коз и овец соответственно. Смертность среди молодых не вакцинированных овец и коз составила около 25% в Ливане [81] и 25% у ягнят в возрасте до 4 месяцев и 5% у более старших ягнят на крупной ферме с 3.000 овец в Иордании [88]. В Египте с 2012 по 2016 год было около 168 вспышек PPR в 168 различных деревнях [89]. В некоторых странах, таких как Иордания, Ливан и Марокко, проводится массовая вакцинация живой вакциной, в то время как в таких странах, как Египет и Алжир, применяется кольцевая вакцинация. Хотя вакцина против ЧМЖ сохраняет иммунитет в течение трех лет, в некоторых странах, например в Иордании, вакцинация повторяется ежегодно [59].

Подбирая модель метапопуляции, имитирующую распространение ВЧМЖ, по результатам общенационального серологического обследования в Эфиопии, оценён уровень передачи вируса в эндемических условиях и охват

вакцинацией, необходимый для элиминации. Результаты показывают, что существующая система разведения скота в целом действует как вирусный резервуар, из которого возбудитель ЧМЖ перетекает в интенсивное скотоводство, где вирусная устойчивость является неопределенной. Предполагаемые уровни передачи ВЧМЖ указывают на то, что распространение вируса можно предотвратить, если пропорция иммунных мелких жвачных животных будет постоянно превышать 37%, по крайней мере, в 71% населённых пунктов (пастбищных деревень). Однако из-за высокой текучести этих популяций поддержание доли иммунных животных выше этого порога потребовало бы высокого охвата вакцинацией в деревнях, а кампании по вакцинации должны проводиться ежегодно. Адаптация стратегий вакцинации к конкретным характеристикам местного эпизоотического контекста и динамики численности мелких жвачных животных приведет к оптимизированному распределению ограниченных ресурсов и увеличит вероятность ликвидации ЧМЖ [91].

1.5. Эпизоотологическое картографирование, картографические базы данных

Цифровая карта – это компьютеризированный аналог традиционной карты, находящийся в электронном виде и содержащий в себе данные, необходимые для автоматической визуализации карты. Электронные карты по содержанию, структуре и точности соответствуют бумажным картам того же масштаба и назначения [33]. Цифровые технологии основаны на составлении картографических баз данных, как комплекса связанных между собой параметровых данных, относящихся к какой-либо предметной области. Информация в базах данных существует в консолидированных цифровых форматах, то есть, указаны их координаты, количественные и качественные атрибуты. Картографические базы, в соответствии с принятой схемой построения, могут быть основаны на системе классификации какого-либо явления или отражать связи и отношения объектов [60]. Тематика карт очень

различается, в зависимости от конкретной сферы их применения, а также характера данных, которые необходимо визуализировать. Поэтому базы данных по своему содержанию весьма различны. Существуют электронные базы медицинских, ветеринарных геологических, экологических, метеорологических, кадастровых, экономических, и других данных [19]. Они просты в хранении, передачи по сетевым каналам, редактировании, преобразовании [9, 53]. Человек, работающий над созданием такого вида карт вправе регулировать масштаб, варьировать проекции и комбинации условных обозначений, цветовых градиентов по своему усмотрению. Конструирование цифровой карты, предполагает широкое разнообразие вариантов построения картографических эскизов [61]. На сегодняшний день существенно упрощается процесс обновления карт, поддержания их информативности и самодостаточности на современном уровне [42].

При применении цифровой картографии в области эпизоотологического мониторинга, все документы ветеринарной отчетности о заразных болезнях животных: эпизоотические журналы, архивированные в районных СББЖ, микробиологические, бактериологические журналы в ветеринарных лабораториях – являются основой для создания базы данных [21, 27, 29, 30].

1.6. Геоинформационные технологии в эпизоотологическом картографировании

Геоинформационная система (ГИС) – это автоматизированная система для визуального анализа, целью которой является сбор, обработка и графическое отображение геопространственных данных и связанной с ними информации. Термин ГИС применяется также в более узком понятии, как ПО, функционал которого основан на том, чтобы дать возможность для поиска, анализа, редактирования, обновления цифровых карт и получения дополнительной информации об объектах, в соответствии с персональными требованиями пользователей [16]. Выбор необходимых информационных

технологий определяется как структурой программы, так и свойствами используемых данных.

Известные российские исследователи использовали ГИС, позволяющие описать динамику развития эпизоотического процесса отдельных инфекционных болезней животных, автоматически зафиксировать карты, а при необходимости и комплекс карт за различные временные периоды, отражать эпизоотологические особенности возбудителя на географических территориях и внести заданную географически значимую информацию [16,17,18].

Параметры цифровой картографии на основе геоинформационных систем содержат новые инструменты для использования в процессе исследования географического метода, который позволяет подвергать анализу динамику распространения очагов заразных болезней, индикации закономерностей сохранения и циркуляции возбудителей. Методика позволяет использовать самые производительные современные средства высоких технологий для пространственно-временного анализа, прогнозирования и построения математических моделей [46, 47]. Описываемые свойства оперируют растровыми данными [3, 21].

1.7. Описание актуальных геоинформационных систем

Специализированное ПО (QGIS) – свободная кроссплатформенная геоинформационная система, которая функционирует на базе большинства распространенных оперативных системах: Windows, Linux, MacOS X, BSD, Android. QGIS способна редактировать и обрабатывать растровые изображения [16].

Программа может создавать новые векторные документы, конвертировать их в другие графические форматы.

В ядро QGIS внедрен широкий спектр функциональных модулей, содержащих инструменты управления данными и их анализа. QGIS был сконструирован по модульной структуре. Такой подход позволил расширить

программный функционал. Основная часть опций в QGIS реализованы, как базовые и опциональные модули, которые содержатся в репозиториях (хранилищах) и обновляются создателями [6, 13].

Таким образом, в эпизоотологическом картографировании прикладное применение ГИС связано с визуализацией на цифровых картах необходимой информации для ветеринарии в динамике [20].

ArcGIS — комплекс геоинформационных программных продуктов американской корпорации ESRI. Успешно используется в ветеринарной и гуманной медицине, например в эпизоотологии и эпидемиологии, чаще всего для визуализации и обработки картографических данных при проведении мониторинга динамики заноса и распространения заразных болезней животных и человека. Кроме того, данное ПО может использоваться в сфере геологии, земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, и геодезии [16].

Этот комплекс программ, может быть, использован для мультипользовательских ГИС проектов с централизованным хранилищем и множеством рабочих мест. Также он позволяет публиковать созданные интерактивные карты, под любые задачи пользователя, в сети интернет. Кроме того, способен осуществить публикации растровых данных больших объёмов [18].

2. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящей работе представлены результаты научных исследований, выполненных на кафедре «Болезни животных и ветеринарно-санитарная экспертиза» и в лаборатории «Эпизоотологический мониторинг» ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова в период с 2017 по 2020 год.

В исследованиях, которые были определены целью и задачами диссертационной работы, мы использовали упорядоченные статистические данные международных организаций МЭБ (Handistatus II и WANID 2007 – 2019 гг.), ФАО-ВОЗЖ-МЭБ при ООН, профильных организаций (AFSSA, ASFA, CIRAD, RECOMSA, ECDC), предоставляющих информацию, касающуюся территориального распределения ЧМЖ в странах и районах мира, проводимых противоэпизоотических мероприятий, численности популяции и размещении восприимчивых к болезни животных.

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

Для анализа динамики и длительности распространения ЧМЖ мы использовали данные о местонахождении и ежегодной частоте инцидентов во всех неблагополучных мировых регионах. Сведения о распространении и эпизоотической географической локализации вспышек ЧМЖ среди сельскохозяйственных и диких животных с 2007 г получили из МЭБ.

Основными материалами для учета и анализа эпизоотической обстановки в зарубежных странах служили статистические данные ежегодных отчетов МЭБ за 2007 – 2019 гг., включающие информацию электронной базы данных Всемирной организации здоровья животных (МЭБ) Handistatus II за 1996 – 2004 гг. и WANID за 2007 – 2019 гг. [135]. Статистические данные МЭБ

за данный период включали информацию о регистрации новых эпизоотических вспышек, число заболевших и павших от ЧМЖ животных. Информация ежегодников ФАО-ВОЗ-МЭБ за тот же период, которая включала данные о частоте регистрации и характере распространения болезни, а также о противоэпизоотических мероприятиях в странах мира [131].

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 ежегодников ФАО, статистических ежегодников 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: индекс энзоотичности, заболеваемость, смертность, летальность, индекс инцидентности.

Количественная характеристика эпизоотической ситуации по ЧМЖ проводилась по общим эпизоометрическим 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.

В реальных условиях непосредственный риск (атрибутивный или добавочный) – это разность абсолютных показателей (заболеваемости) между контрольной и опытной группами, а относительный риск – их соотношение (наиболее информативная мера значения фактора риска):

$$i = ZP - Z$$

$$x = ZP/Z,$$

где:

i – непосредственный риск,

x – относительный риск,

ZP – заболеваемость среди подверженных действию фактора риска,

Z – заболеваемость среди неподверженных действию фактора риска.

В ряде случаев, прежде всего при количественной оценке эпизоотологических инцидентов (эпизоометрических показателей, факторов эпизоотологического риска), проводился расчёт шансов.

Шансы (англ. odds) – одна из количественных характеристик вероятности события, выраженная отношением показателя того, что данное событие произойдет (P), к показателю того, что оно не произойдет ($1-P$ или Q), по следующей формуле:

$$x = P/Q$$

При сравнительном анализе выборок как количественных совокупностей, имеющих вероятностный характер распределения значений

признака, в том числе данных эпизоотологического исследования, обычным приемом служит их сопоставление по *центральным тенденциям* (средним, моде (M_0), медиане). В связи с вероятностным характером результаты сравнения выражаются гипотезами. В положительном случае, т.е. при отсутствии различий между двумя выборками и их равенстве по средним значениям, такой результат называется нулевой гипотезой.

Гипотеза нормальности. Другим обычным приложением процедуры подгонки распределения является проверка гипотезы нормальности до того, как использовать какой-либо параметрический тест (критерий χ^2 для многозначных совокупностей), позволяющая выявить значимые предпосылки болезни и информационный показатель влияния, с помощью которого была рассчитана степень влияния отдельных групп факторов, организованных в исследовании, на стационарность и уровень напряженности эпизоотической обстановки.

Прогноз динамики эпизоотической ситуации проводили путем расчета уравнений регрессии – трендов, периодических функций, с последующей экстраполяцией их значений на определенный период упреждения. Зоны эпизоотического риска определяли путем расчета уравнений регрессии, отражающих зависимость значений показателей напряженности эпизоотической ситуации от значений факторов природного и социально-экономического фона.

Прогнозирование возможного ожидаемого количества вспышек проводили, используя расчёт по распределению Пуассона в программе Vose software ModelRisk.

Основные термины и их интерпретация использованы в редакции МЭБ [131]. Картографический анализ данных проводили с помощью известных на рынке ПО геоинформационных систем QGIS, ESRI ArcGIS Desktop 10.4.

У каждой из этих геоинформационных систем есть свои положительные и отрицательные моменты. QGIS является бесплатной свободной геоплатформой. Которая может полноценно функционировать на базе самых

известных компьютерных операционных системах. Даёт возможность визуализировать данные в картографическом виде. Минусом этой программы является то, что спектр задач, которые с её помощью можно решать именно в сфере эпизоотологии, и в общем, в ветеринарной медицине довольно скудный. Это обусловлено тем, что данное ПО имеет в своём арсенале ограниченный набор инструментов, которые можно применить для анализа пространственно-временных данных об эпизоотиях. Кроме того, в составе QGIS не представлен полный набор необходимых атрибутов для статистического анализа данных, с применением математических элементов.

Помимо вышеописанной QGIS мы использовали в ходе работы ArcGIS Desktop 10.4, которая является закрытым коммерческим ПО. Лицензионная версия этой программы стоит дорого, что в свою очередь, затрудняет использование этой программе для широких масс. Из-за относительной дороговизны далеко не все специалисты, которые по роду своей деятельности связаны с обработкой различного рода данных могут позволить себе работать с этим современным ПО. Даже базовая версия лицензионного софта не позволяет в полной мере провести анализ данных. В связи с этим, необходимо приобретать дополнительные модули и опции, которые будут незаменимы в той или иной сфере и с конкретным видом данных. Но это значительно увеличит объём финансовых вливаний для обеспечения работы специалистов на цифровой платформе.

Плюсом ArcGIS Desktop 10.4 является то, что в его составе имеется широкий спектр инструментов как для картографического анализа данных, так и обработки материала с элементами математической статистики, применяемых на изучаемой географической территории или объекте.

Для балльной оценки риска заноса ЧМЖ на территорию России из Китая и Монголии использовали потенциальные факторы заноса ЧМЖ (международные транспортные узлы) [1].

Для проведения оценки риска распространения чумы мелких жвачных использовали регрессионный метод моделирования экологических ниш с оптимизацией по методу максимальной энтропии.

Данный метод позволяет на основе имеющейся информации о количестве и локализации уже зарегистрированных вспышек болезни («зависимая переменная») установить, насколько благоприятно существующее на конкретной территории сочетание социально-экономических и природных факторов для распространения возбудителя ЧМЖ. При этом оценивается значимость каждого из рассматриваемых факторов и создаётся модель экологической ниши возбудителя, которую можно экстраполировать на благополучные в настоящее время территории. 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. [122].

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 [70].

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 морских и аэропортов.

Информация о поголовье восприимчивого к ЧМЖ скота взята в виде комплекса данных о глобальном распределении овец и коз в 2010 году [101].

Количество железных дорог на единицу площади вычислялось на основе информации из Vector Map Level 0, FAO/GIS [127].

Количество автодорог всех категорий на единицу площади взято в виде комплекса растровых данных с пространственным разрешением $\approx 8 \times 8$ км [123].

Все объясняющие переменные, представленные в растровом формате, были приведены к пространственному разрешению 1×1 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 [119].

Информация о численности поголовья восприимчивых животных в рассматриваемых субъектах РФ получена из официальной общедоступной базы данных Федеральной службы статистики.

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 ArcGIS Desktop (ESRI, USA).

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. Для построения итоговой модели таким образом были отобраны пять природных и четыре социально-экономических фактора (Таблица 1).

Таблица 1 – Природные и социально-экономические факторы, использованные как объясняющие переменные при моделировании экологической ниши 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

2.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

2.2.1. Результаты проведения ретроспективного анализа вспышек

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

Эпизоотические очаги продвигаются эпизодическими вспышками на зараженной 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 (от общих павших животных) (Рисунок 1).

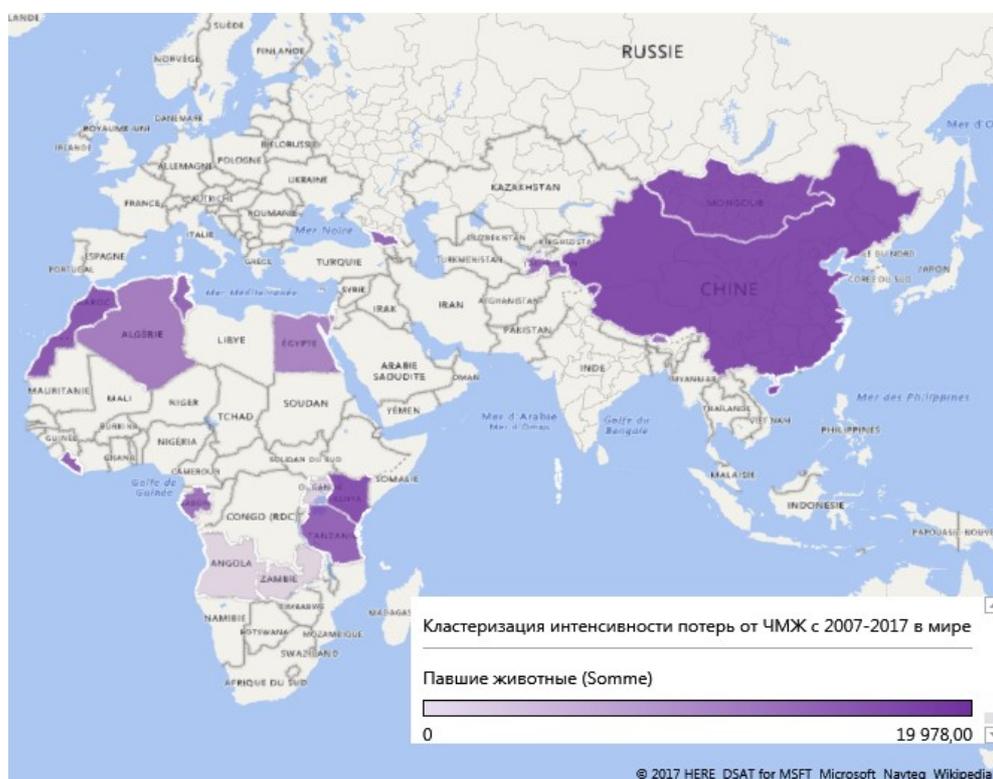


Рисунок 1 – Кластеризация потерь от ЧМЖ за 2007 – 2017 гг. в мире

Интенсивность возникновения болезни оценивали путем расчёта инцидентности (случаев и вспышек). Картографический анализ кластера этих показателей (Рисунок 2 – 3) свидетельствует о циркуляции вируса ЧМЖ в 3-х зонах: Китай и окружающие его страны, Алжир и окружающие его страны и Замбия и окружающие ее территории.

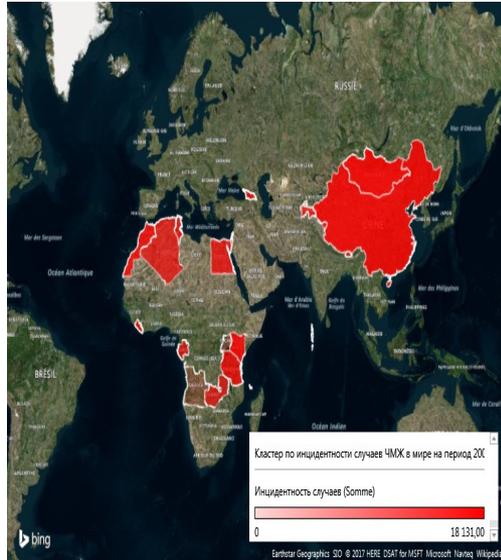


Рисунок 2 – Кластер инцидентности случаев ЧМЖ за 2007 – 2017 гг. в мире

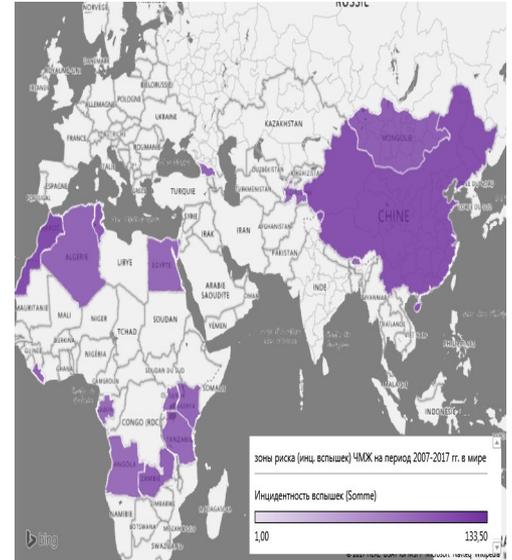


Рисунок 3 – Уровень инцидентности вспышек ЧМЖ в мире в 2007 – 2017 гг.

На интенсивность процесса влияют и другие параметры:

Сезонность (би-сезонность)

Распределение неблагоприятных пунктов по месяцам показало, что хорошо заметен первый пик на 4-й месяц и второй на 8-й месяц. Это время приходится на пастбищный период, когда возрастает количество прямых контактов между восприимчивыми животными. (Рисунок 4).

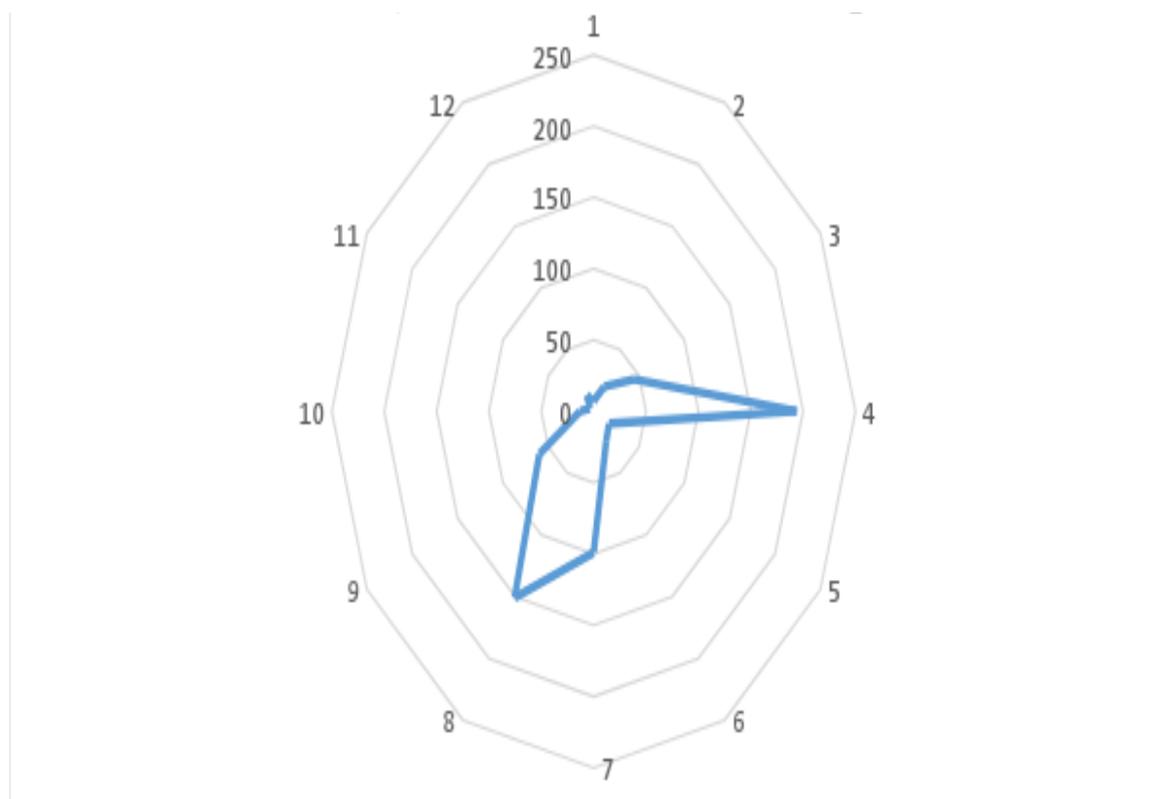


Рисунок 4 – Распределение эпизоотических вспышек ЧМЖ по месяцам с 2007 по 2017 г. в мире

Социально-экономические условия

Анализ структуры нозоареала ЧМЖ предусматривал оценку степени влияния фактора социально-экономического фона на частоту возникновения и характер распространения болезни, а также на напряженность эпизоотической ситуации. Все статистические результаты расчетов, взятые в разрезе предлагаемого нами районирования (согласно данным, опубликованным ФАО) за период с 2007 по 2017 гг. и представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние социально-экономических условий на напряженность эпизоотической ситуации ЧМЖ (на уровень стационарности)

Зоны	Значение стационарности				Σf	P_1	$\Sigma \Theta$	$\Sigma \Theta * \Sigma f$
	[0,1-0,2]	[0,2-0,3]	[0,3-0,4]	[0,4-0,5]				
Восточная Европа (Грузия)	1				1	0,052	0	0
	1							
	0							
Средняя Азия (Монголия и Таджикистан)	1	1			2	0,105	1	2
	0,5	0,5						
	0,5	0,5						
Восточная Азия (Китай, Бутан, Молдавия)	1	1		1	3	0,157	1,583	4,749
	0,33	0,33		0,34				
	0,527	0,527		0,529				
Средиземноморье (Алжир, Израиль, Египет, Тунис, Марокко)		2	1	2	5	0,263	1,52	7,6
		0,4	0,2	0,4				
		0,528	0,464	0,528				
Центральная Африка (Замбия, Уганда, Танзания, Либерия, Кения, Комор, Ангола, Габон)	7	1			8	0,421	0,543	4,344
	0,875	0,125						
	0,168	0,375						
Σf	10	5	1	3	19			
P_2	0,526	0,263	0,052	0,157				
$H(A)$	0,487	0,506	0,222	0,419				

f – частоты, число объектов в каждом классе, $P = \frac{f}{N}$ – доли частот, $\Theta = H = -p \log_2 p$ – частные энтропии по классам, находятся для каждой доли (с вероятностью ошибки = 0,05).

$$n = \Sigma f = 19$$

$$\Sigma (n_k \cdot \Sigma H(A / b_k)) = \Sigma (\Sigma f \cdot \Sigma \Theta) = 18,693$$

$$\Theta_y = \Sigma H(A) = 1,634,$$

$$\Theta_z = 0,998, \Theta_x = \Theta_y - \Theta_z = 0,636$$

$$\text{ИПВ} = 0,631$$

Информационный показатель влияния может принимать значения от 0 до 1. Чем ближе к единице, тем сильнее влияние.

Социально-экономические условия, наряду с природными особенностями, оказывают значительное влияние на формирование географической картины эпизоотической ситуации ЧМЖ в мире. Их изучение

имеет важнейшее значение для выявления особенностей обстановки в различных регионах, так как они имеют тенденцию к постоянному изменению.

Для анализа структуры ареала ЧМЖ нами использовались приемы проверки гипотез, критерий χ^2 для многозначных совокупностей, позволяющие выявить значимые предпосылки болезни и информационный показатель степени влияния фактора социально-экономические условия на уровень напряженности эпизоотической обстановки по формуле:

$$\text{ИПВ} = \sqrt{\frac{\Sigma H(A) - \frac{\Sigma (n_k \cdot \Sigma H(A/b_k))}{n}}{\Sigma H(A)}},$$

где: $\Sigma (n_k \cdot \Sigma H(A/b_k)) / n$ – энтропия случайного разнообразия,
 $\Sigma H(A)$ – общая энтропия комплекса.

Оценка эпизоотического риска была проведена с помощью качественных приемов и количественных методов исследования. В последнем случае требуется количественный учет и анализ фактора, социально-экономического фона, включая районирование территорий по уровню эпизоотологического риска и вероятным последствиям эпизоотии.

Таким образом, установлено статистически значимое влияние системы социально-экономических параметров мировой эпизоотической ситуации на индекс стационарности равен 0,63 (прямая и сильная связь).

Эти данные также убедительно подтверждают основную роль социально-экономических условий в поддержании и развитии ЧМЖ во всех неблагополучных регионах мира. Главной особенностью развития этой болезни (доли частот) были эпизоотии в Восточной Азии, в частности Китае. Так, в данном регионе показатель общей энтропии комплекса равен 1,58, и не менее важное значение в Средиземноморье -1,52. Отметим также, что в классе, где стационарность 0,4 и больше, находим лишь 2 субъекта.

Аналогично находим, что ИПВ географических (климатических) условий равен 0,62. И это говорит о влиянии этих параметров на

распространение поголовья (сельскохозяйственная деятельность) МРС и в свою очередь, возникновение болезни.

Недавнее исследование на территории Китая показало, что метеорологические условия оказывают значительное влияние на возникновение ЧМЖ.

2.2.2. Прогнозирование эпизоотической 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 подход отбора проб, что имитирует эффект случайности, а затем использует эти числа 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 5 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 6).

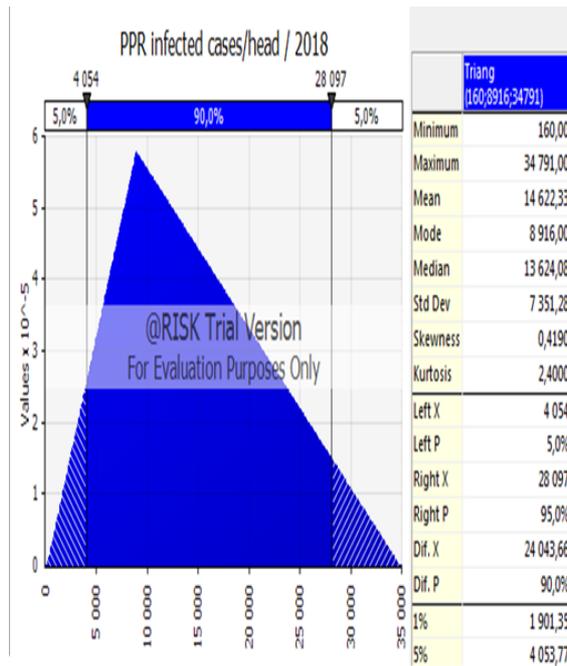


Рисунок 5 – Общая среднегодовая оценка риска по ЧМЖ в мире (количество случаев) на 2018 г. (по Монте-Карло)

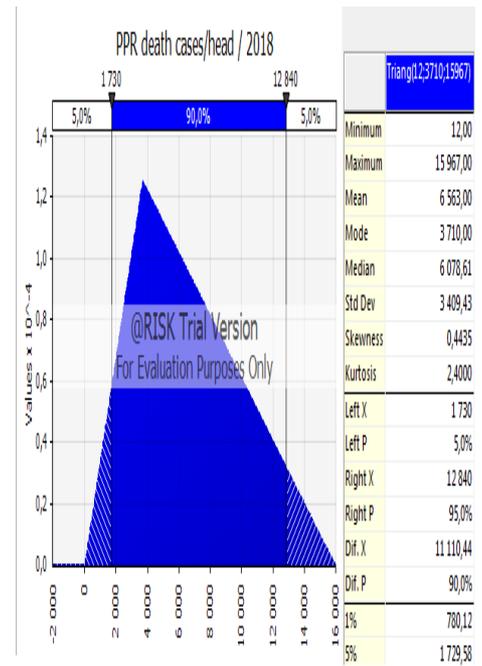


Рисунок 6 – Общее прогнозируемое среднегодовое значение погибающих животных от ЧМЖ в мире на 2018 г. (по Монте-Карло)

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*), используя учетные ставки количества случаев и павших при ЧМЖ за последние 10 лет в мире, результаты чего являются индикатором здоровых животных (в т. ч. реконвалесцентов) (Рисунок 7).

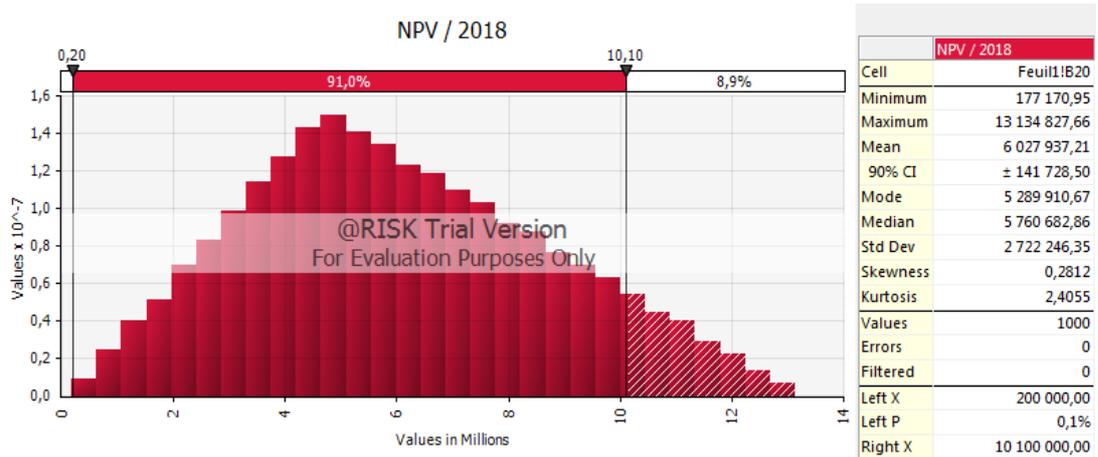


Рисунок 7 – Оценка чувствительности анализа предусмотренной модели – чистая приведенная величина – NPV (по Монте-Карло)

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 счёт 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. (Рисунок 8 – 10)

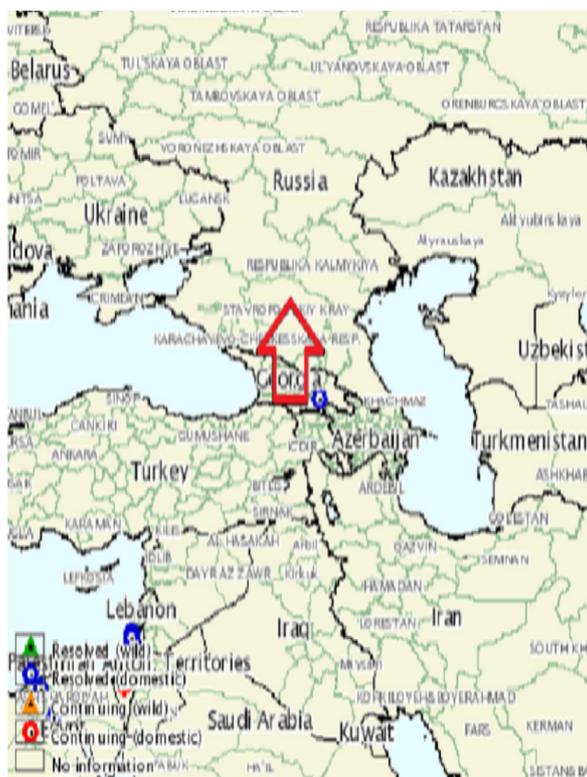


Рисунок 8 – Кавказские ворота заноса ЧМЖ на территорию РФ (Грузия)

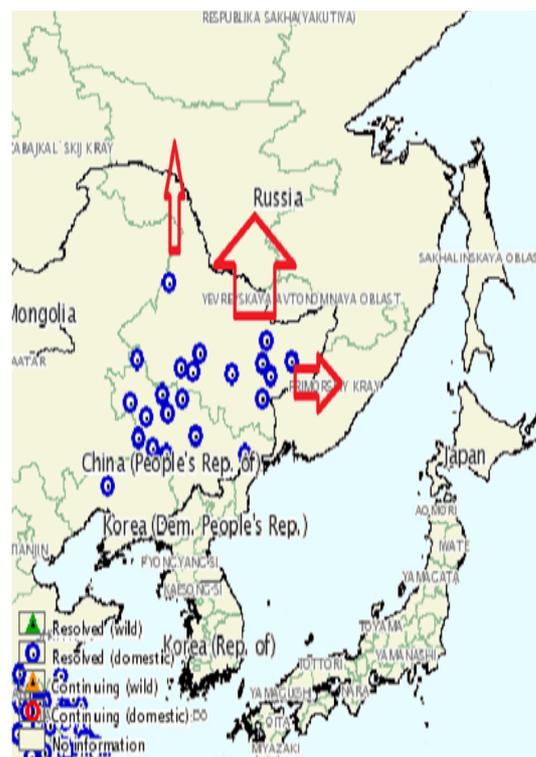


Рисунок 9 – Кавказские ворота заноса ЧМЖ на территорию РФ (Грузия)



Рисунок 10 – Южносибирские 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).

Распределение овец и коз на территории РФ на 2016 г. представлено на рисунке 11.

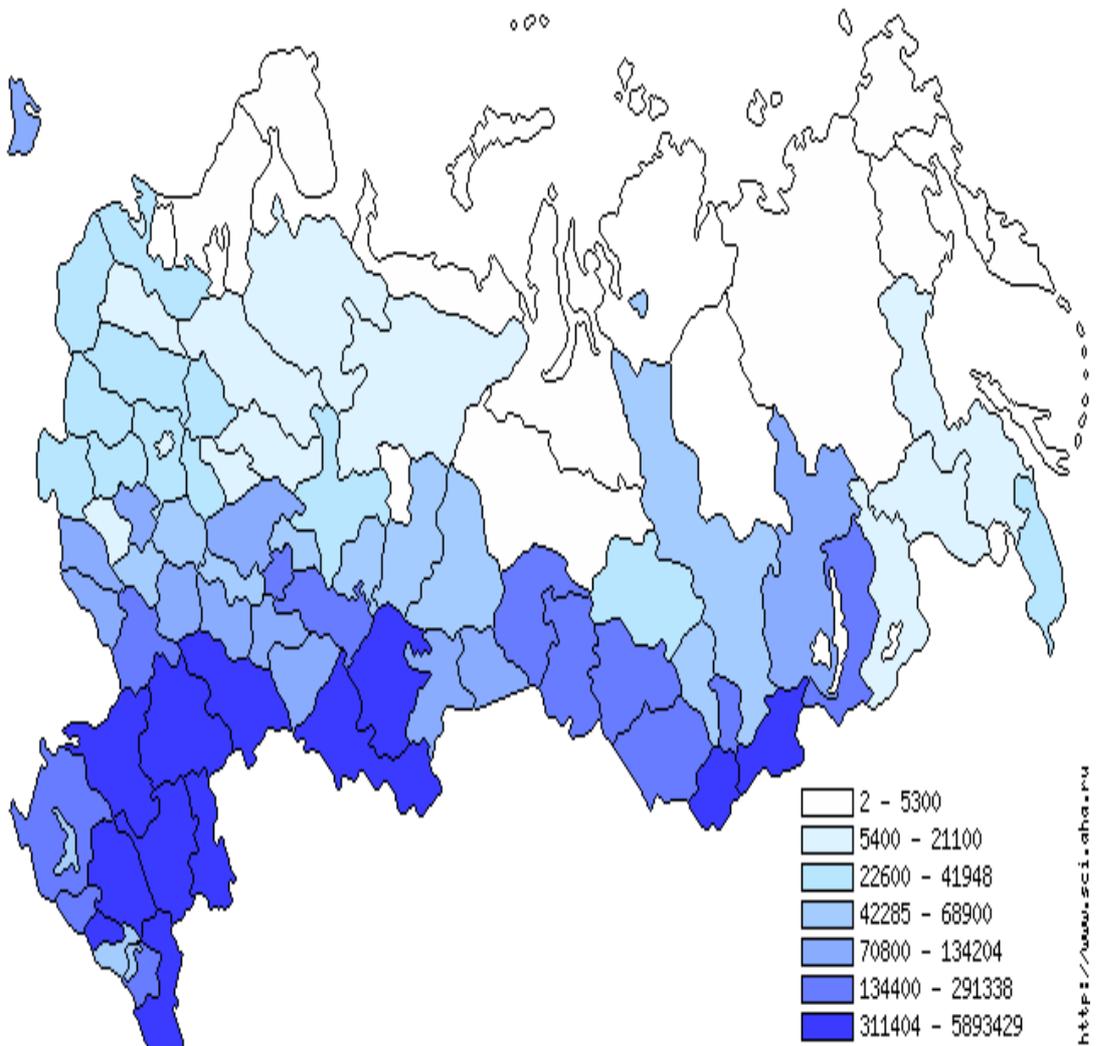


Рисунок 11 – Распределение овец и коз на территории РФ – 2016 г.

По данной карте заметим, что концентрация МРС (более восприимчивый вид животных к ЧМЖ) больше вдоль Южной границы РФ, что повышает риск распространения вируса ЧМЖ через вышеуказанные ворота.

ЧМЖ в 2017 году в Монголии охватила около 36 тысяч гол. восприимчивых животных, в том числе 3999 голов дикого поголовья. При этом, смертность среди диких животных составила 100%. Это подтверждает интенсивную циркуляцию вируса среди данного поголовья, и создает риск при трансграничной миграции этих животных.

Относительный риск (индекс опасности) частоты неблагополучных пунктов по ЧМЖ у коз по сравнению с овцами был больше единицы и варьировал до 3,66, что можно считать высоким уровнем опасности для распространения инфекции среди данного поголовья, с избытком риска возникновения 0,59 больше при выращивании животных каждого вида.

Карта пограничных регионов РФ, находящихся в зоне риска заноса ЧМЖ (по состоянию на 2017 год) показана на рисунке 12.



Рисунок 12 – Карта пограничных регионов России с неблагополучными странами по ЧМЖ (по состоянию на 2017 год)

Как видно из рисунка 12, 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. Карта эпизоотической ситуации по ЧМЖ в мире в 2017 г. показана на рисунке 13.

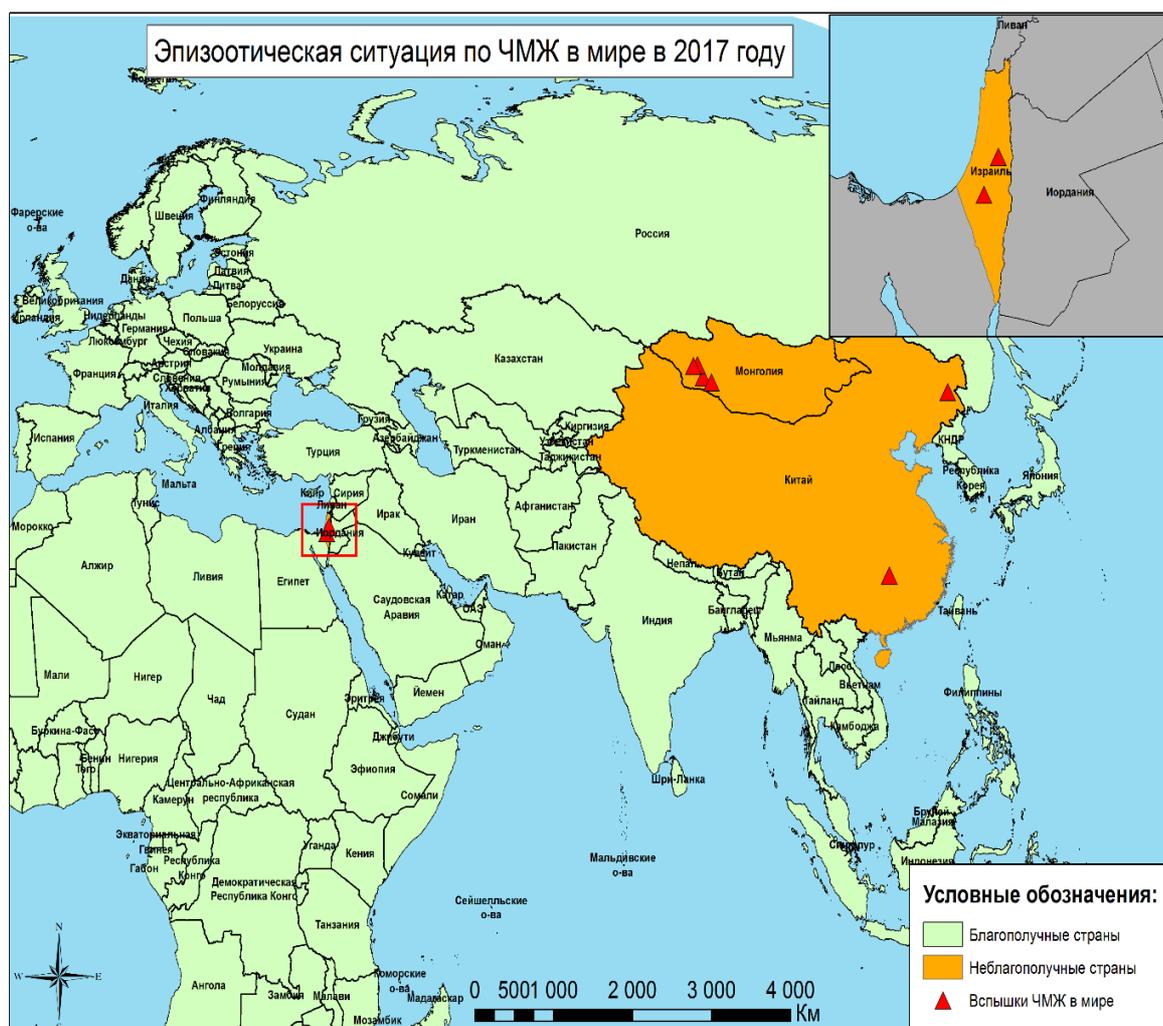


Рисунок 13 – Эпизоотическая ситуация по ЧМЖ в мире в 2017 г.

Количество вспышек и случаев болезни за 2017 год в мире отражено на рисунке 14.

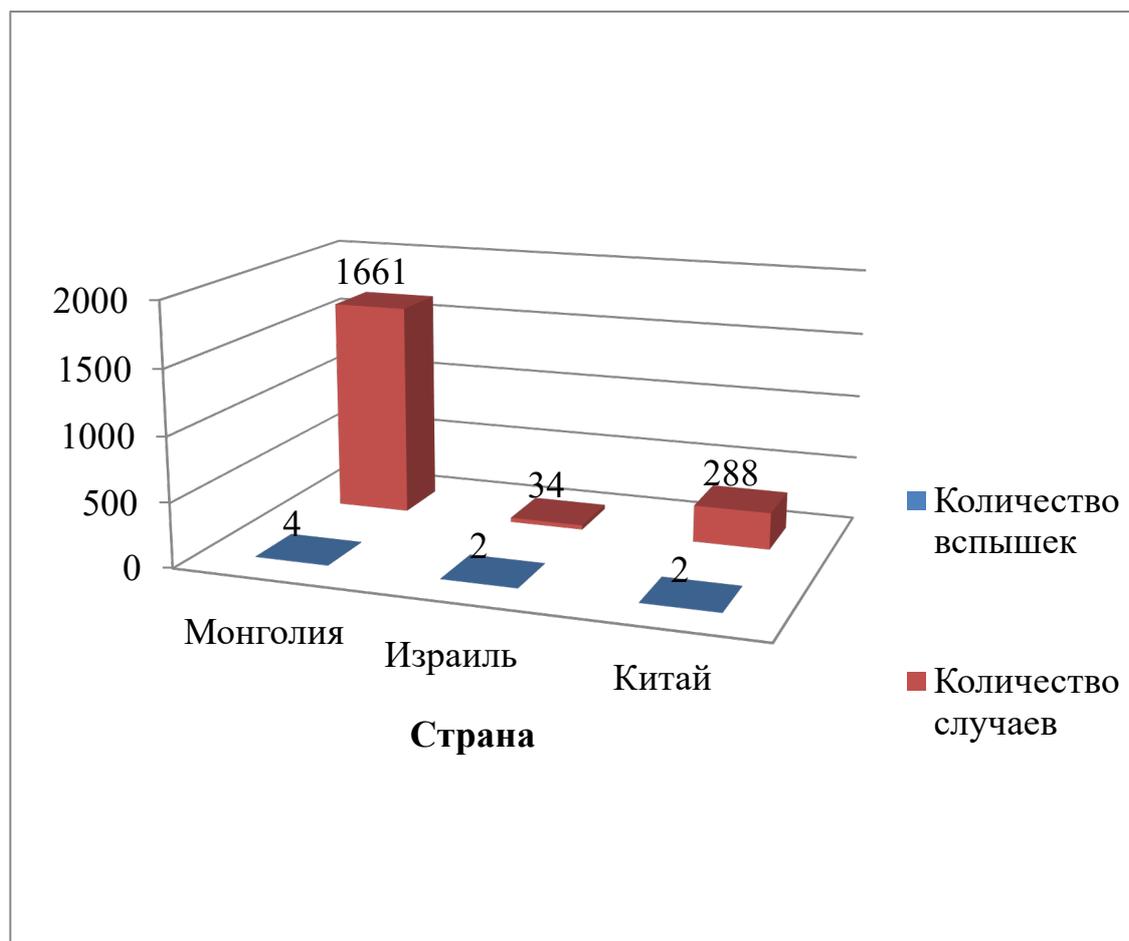


Рисунок 14 – Количество вспышек и случаев болезни за 2017 год в мире

Проведен сбор и анализ данных по случаям чумы мелких жвачных в мире за 2018 год в целом, а также на 2019 год. Данные представлены в картографическом формате, а также в виде диаграмм (Рисунок 15-19).

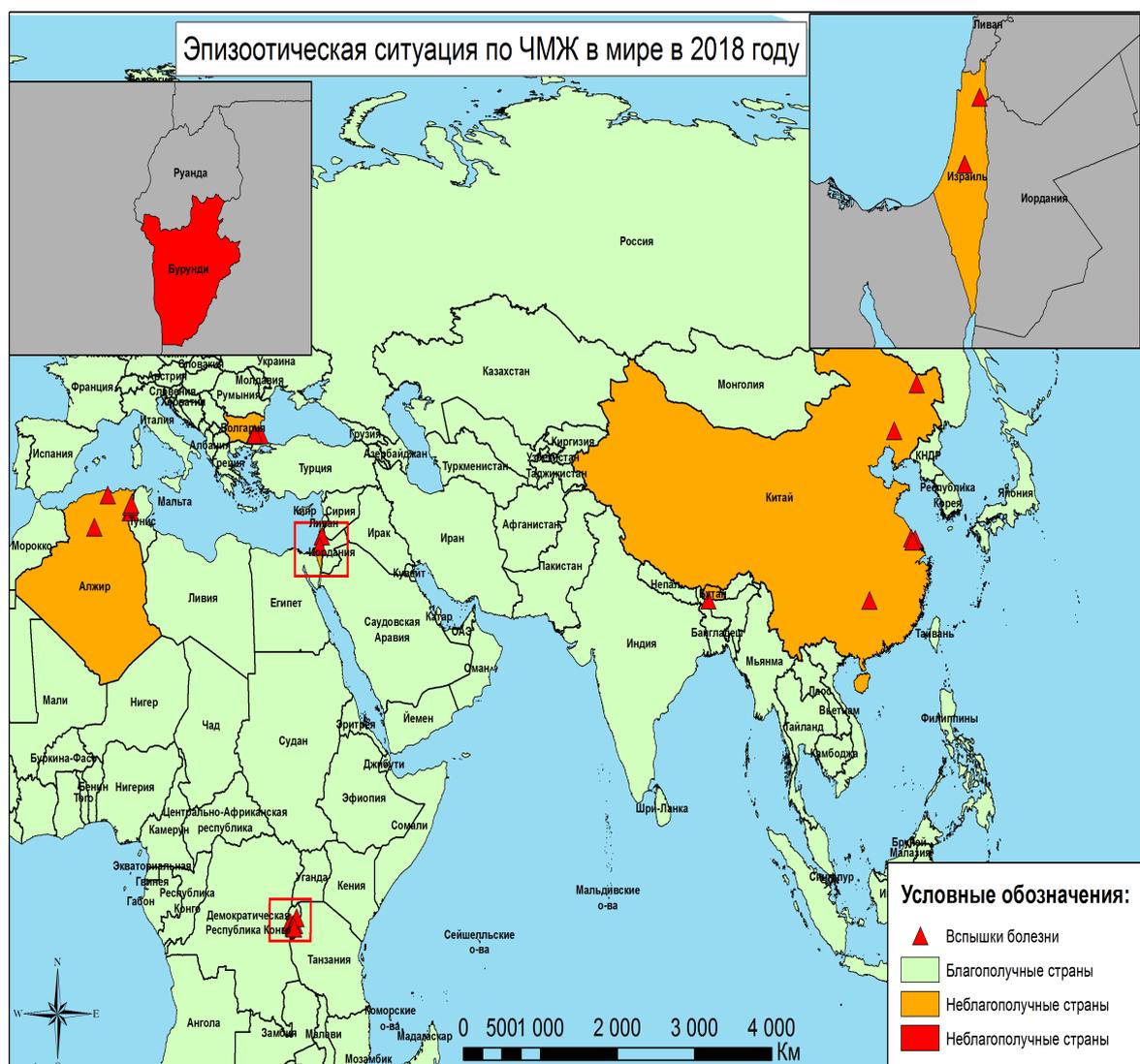


Рисунок 15 – Эпизоотическая ситуация по ЧМЖ в мире в 2018 г.

Из данной карты видно, что в 2018 году случаи чумы мелких жвачных регистрировались на трех континентах: Африке, Азии, Европе.

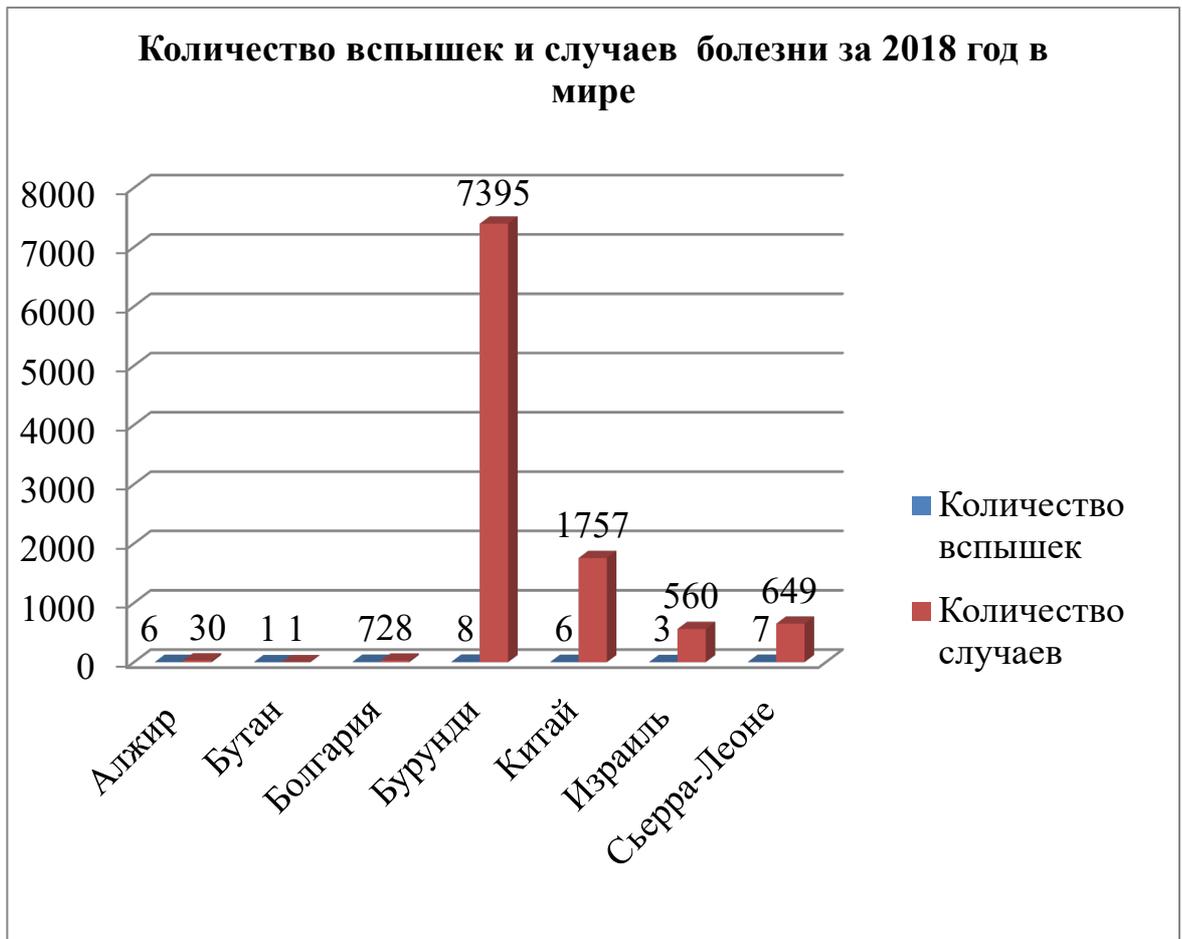


Рисунок 16 – Количество вспышек и случаев болезни за 2018 год в мире

Из данного рисунка следует, что 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, Бутане – 1 вспышка и 1 случай, в Болгарии – 7 вспышек, 28 случаев, Бурунди – 8 вспышек, 7395 случаев, Китае – 6 вспышек, 1757 случаев, Израиле 3 вспышки, 560 случаев, Сьерра-Леоне – 7 вспышек, 649 случаев.

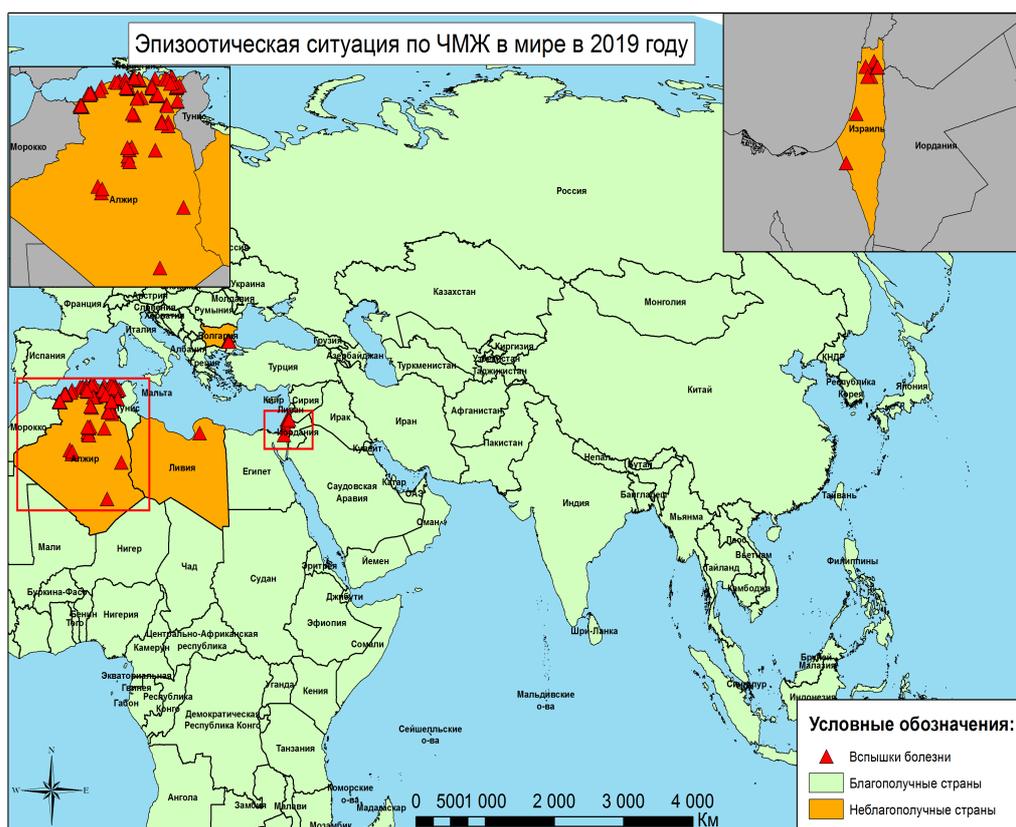


Рисунок 17 – Эпизоотическая ситуация по ЧМЖ в 2019 г.



Рисунок 18 – Количество вспышек и случаев болезни за 2019 год в мире

Из данных карты видно, что по состоянию на конец 2019 года были зарегистрированы 10 случаев 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.

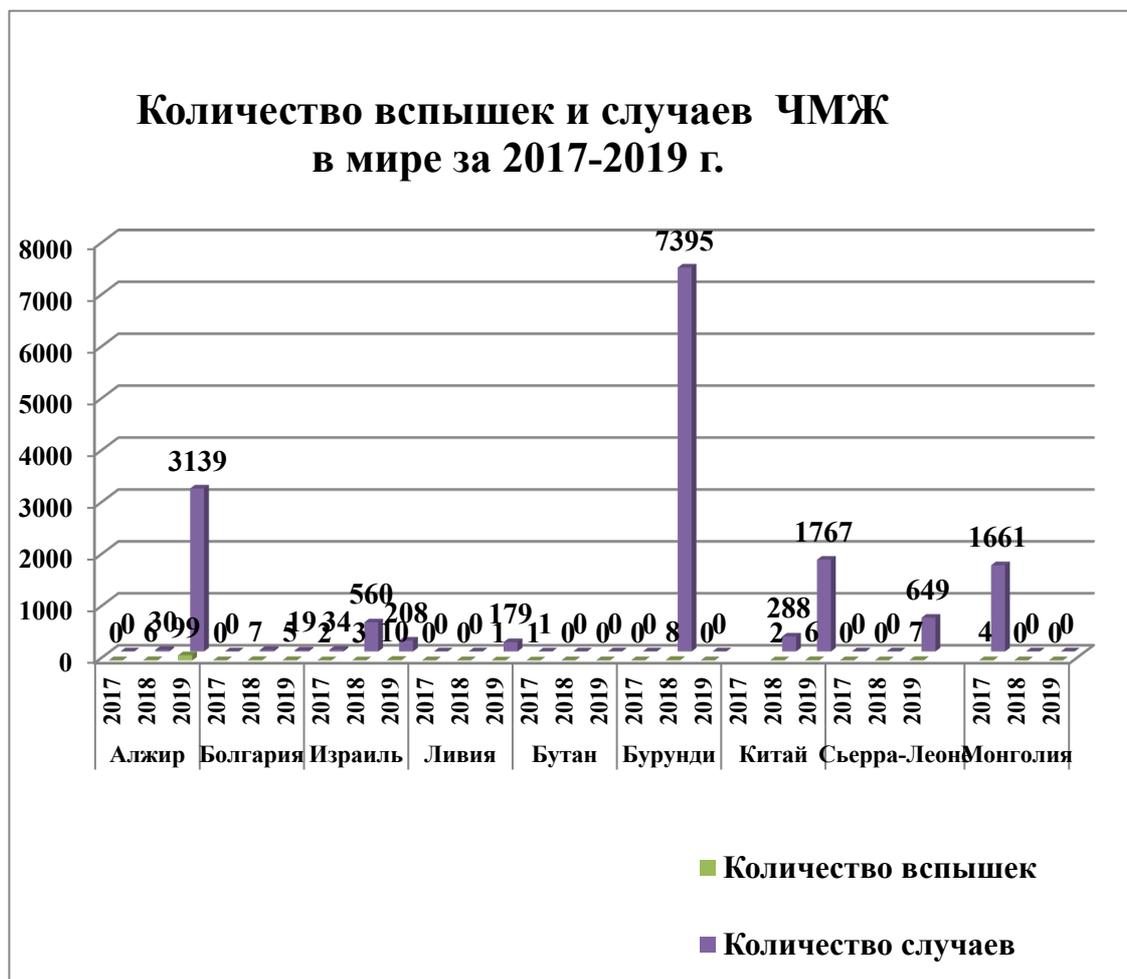


Рисунок 19 – Количество вспышек и случаев ЧМЖ в мире за 2017 – 2019 г.

Согласно данным OIE и FAO 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 20):

- 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.

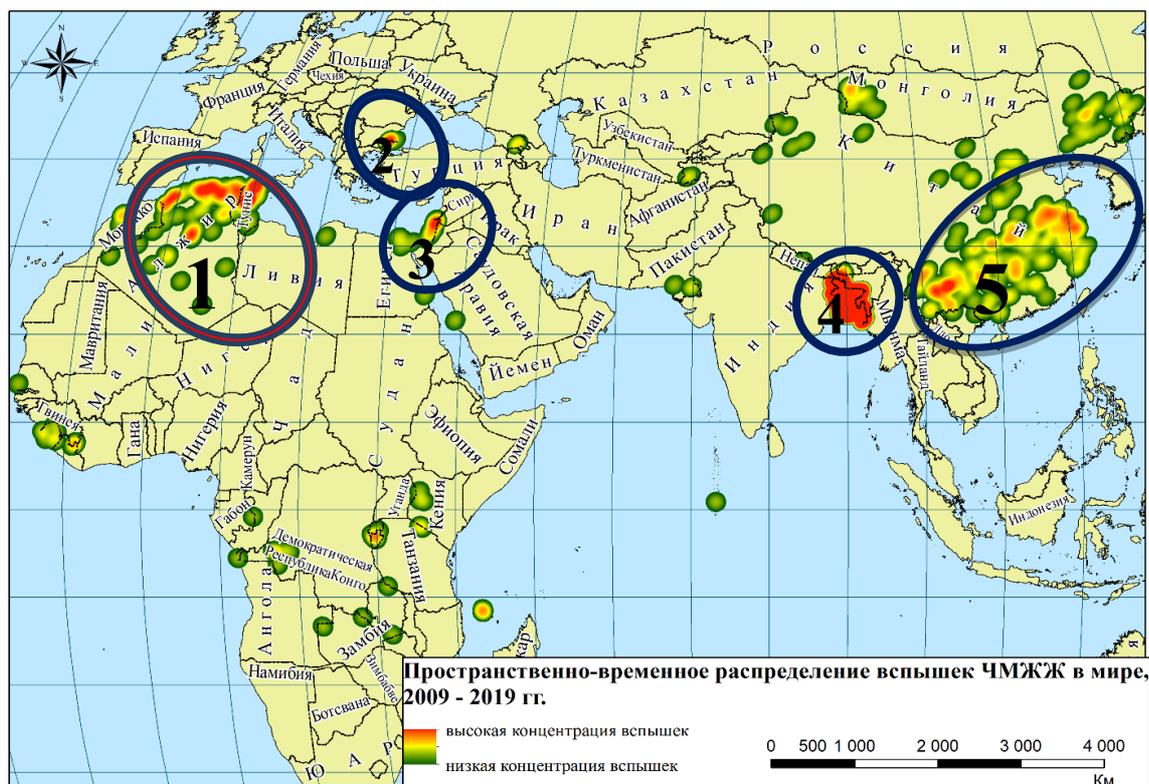


Рисунок 20 – Пространственно-временное распределение вспышек ЧМЖЖ в мире, 2009-2019 гг. Кластеры: 1 – зона Северной Африки (Марокко, Алжир, Тунис); 2 – Болгария; 3 – Палестина; 4 – Бангладеш, 5 – Китай

Расчёт индекса стационарности показал, что наиболее длительным неблагополучие по ЧМЖЖ было на территории Китая, Алжира, Израиля, Туниса и Бангладеш (Рисунок 21). В этих же странах было зарегистрировано и наибольшее количество вспышек болезни на протяжении указанного периода (Рисунок 22).

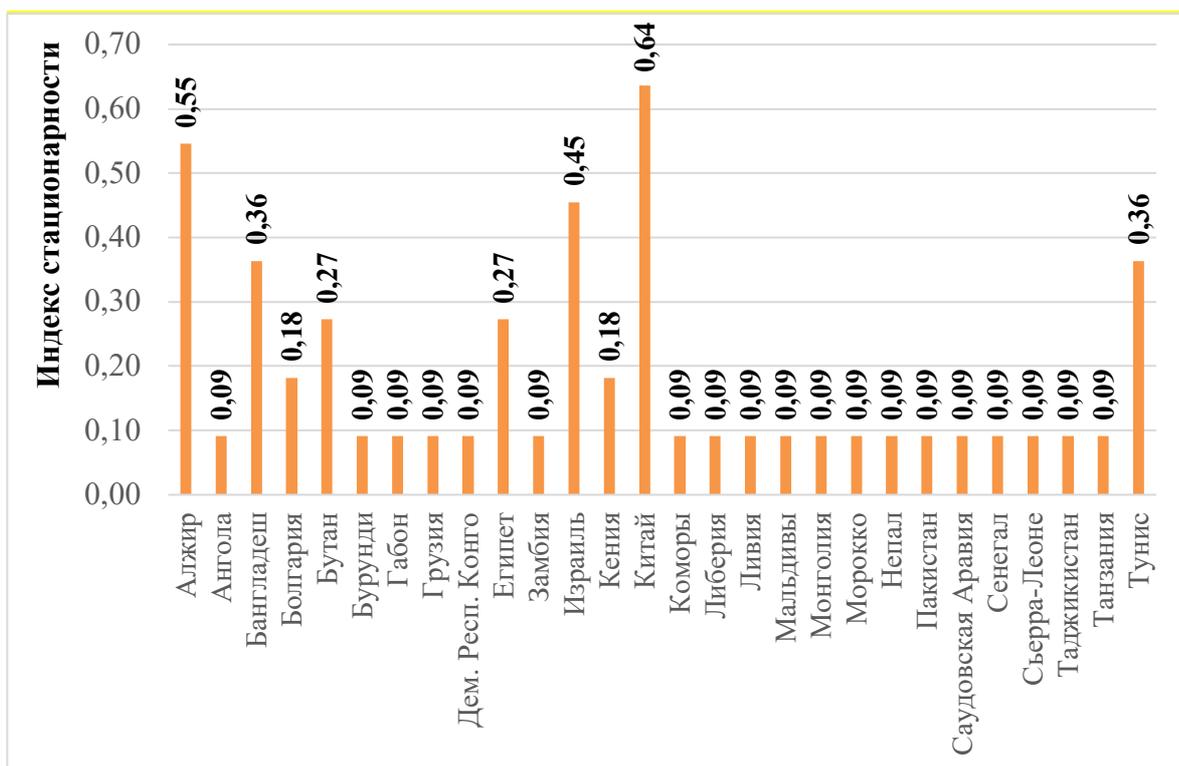


Рисунок 21 – Индекс стационарности ЧМЖ в мире, 2009 – 2019 гг.

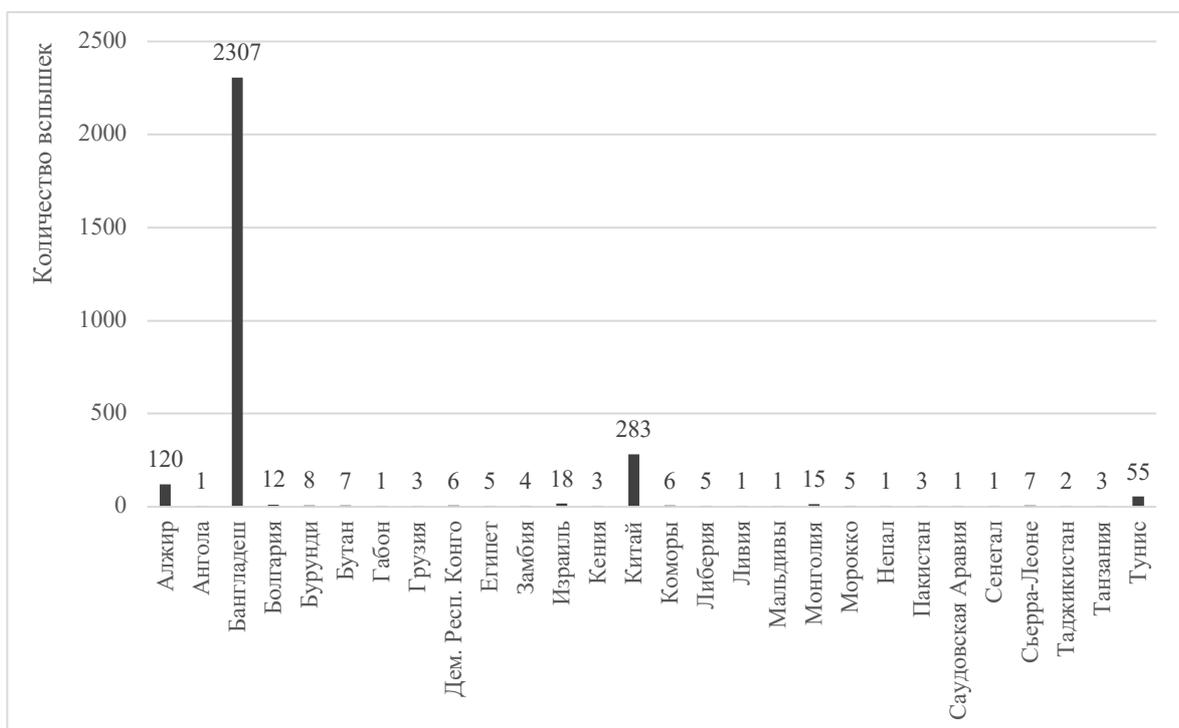


Рисунок 22 – Количество вспышек ЧМЖ в различных государствах, 2009 – 2019 гг.

При этом вспышки с наибольшим количеством павших животных концентрировались, главным образом, на территории Бангладеш и Китая (Рисунок 23).

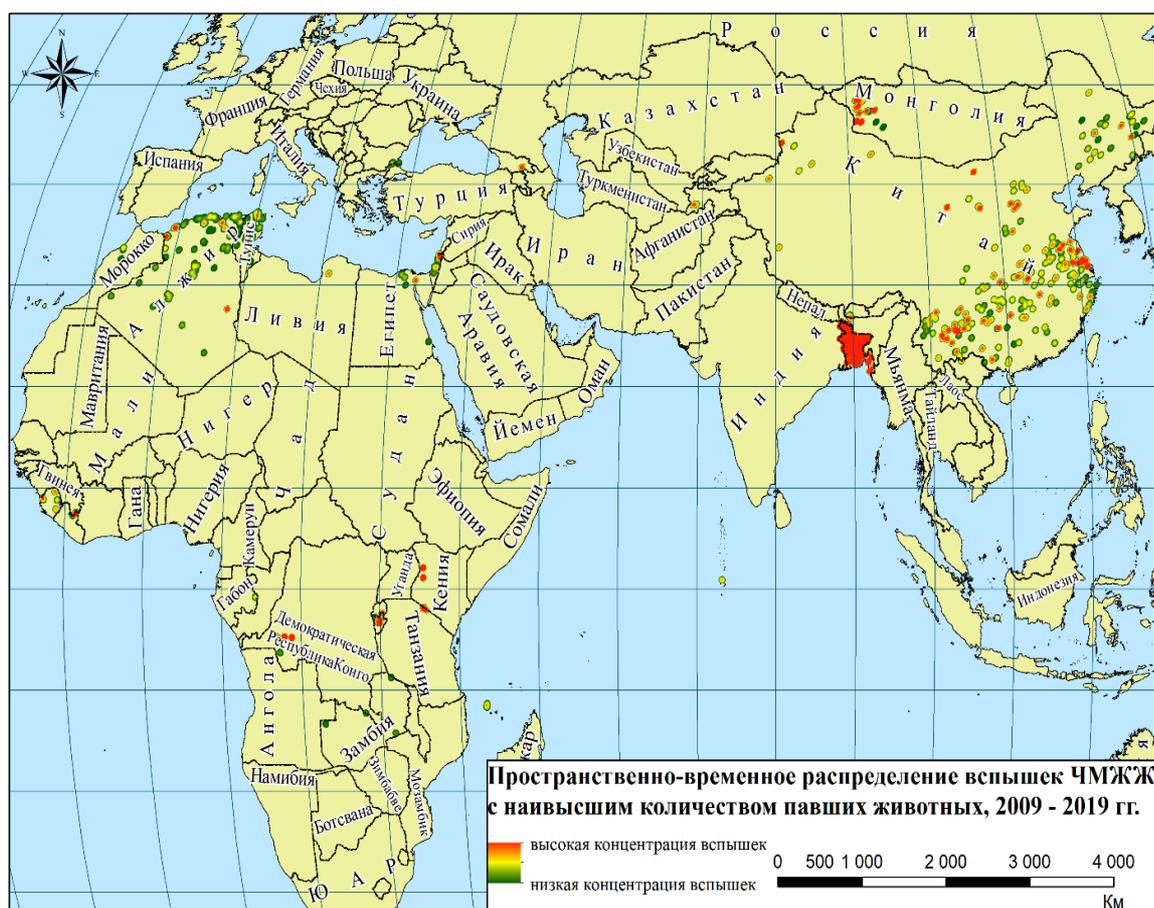


Рисунок 23 – Пространственно-временное распределение вспышек ЧМЖ с наивысшим количеством павших животных в мире, 2009 – 2019 гг.

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

2.2.3. 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 и представлены в картографическом виде (Рисунок 24 – 30).

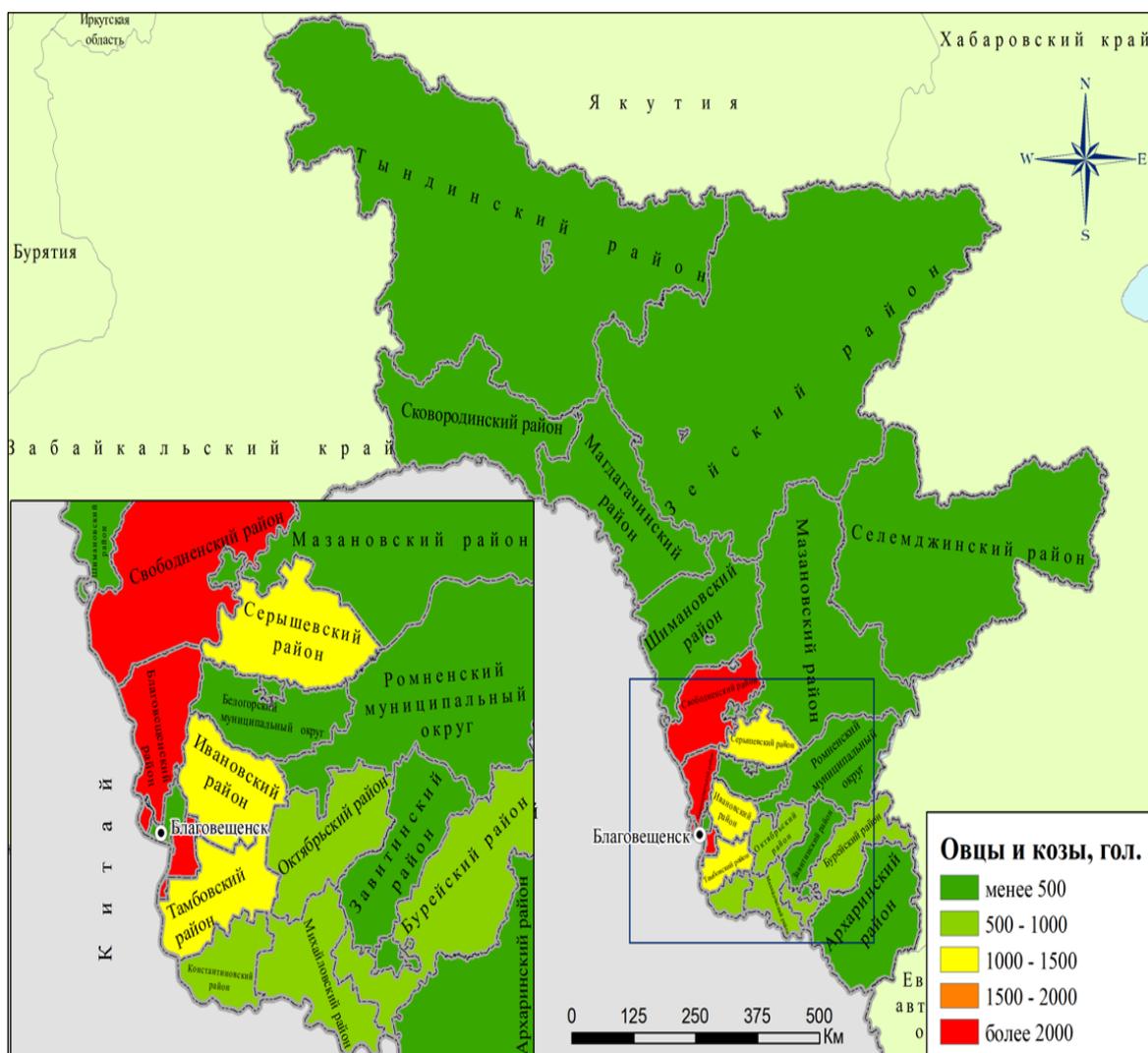


Рисунок 24 – Распределение поголовья овец и коз на территории Амурской области

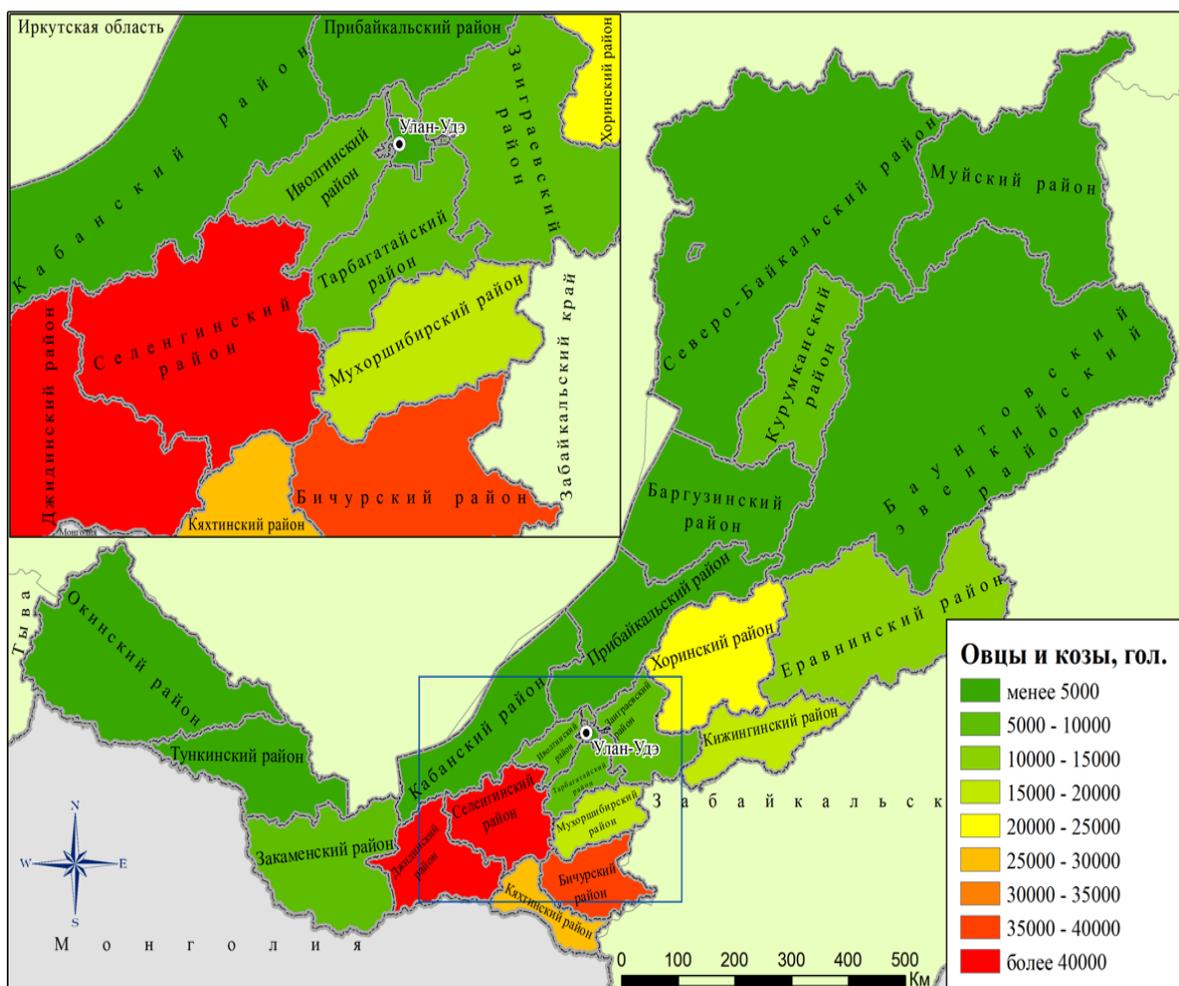


Рисунок 25 – Распределение поголовья овец и коз на территории республики Бурятия

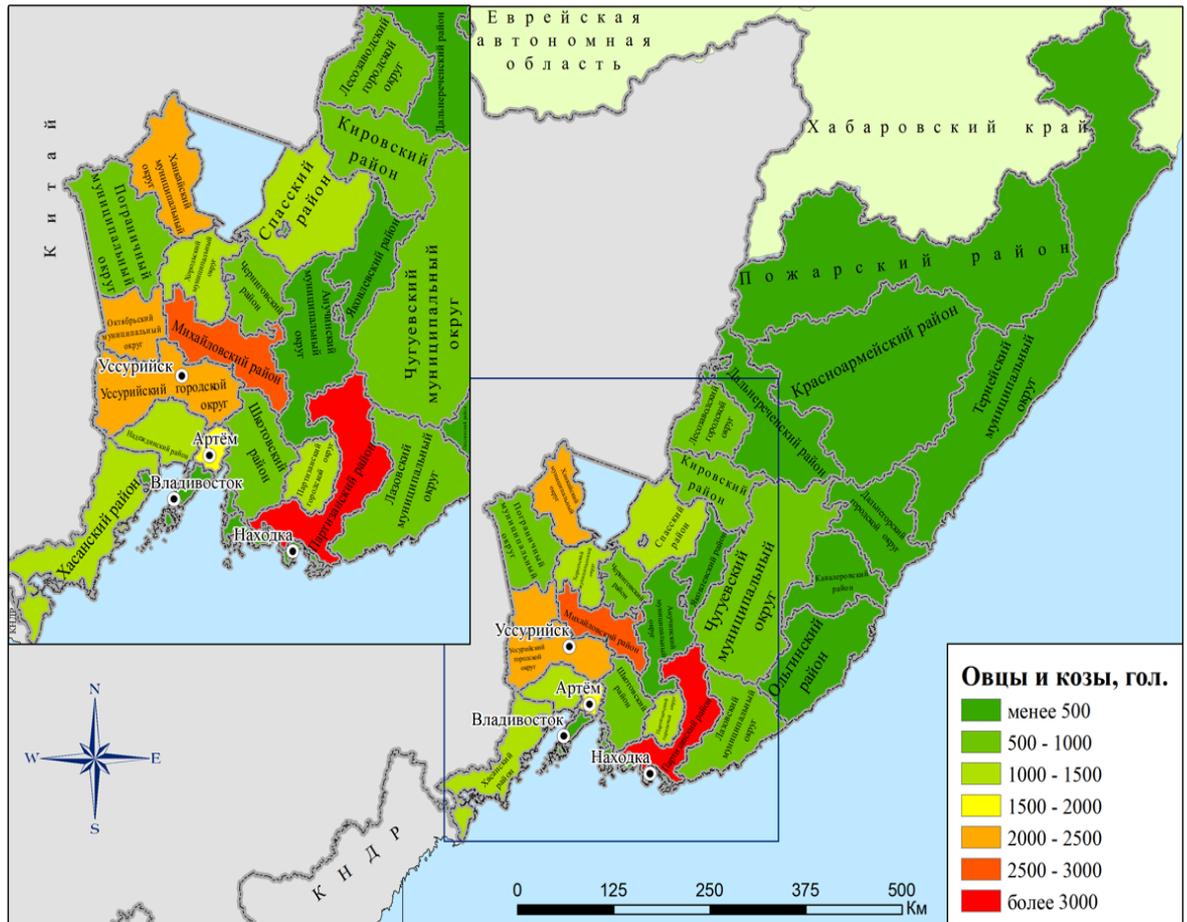


Рисунок 26 – Распределение поголовья овец и коз на территории Приморского края

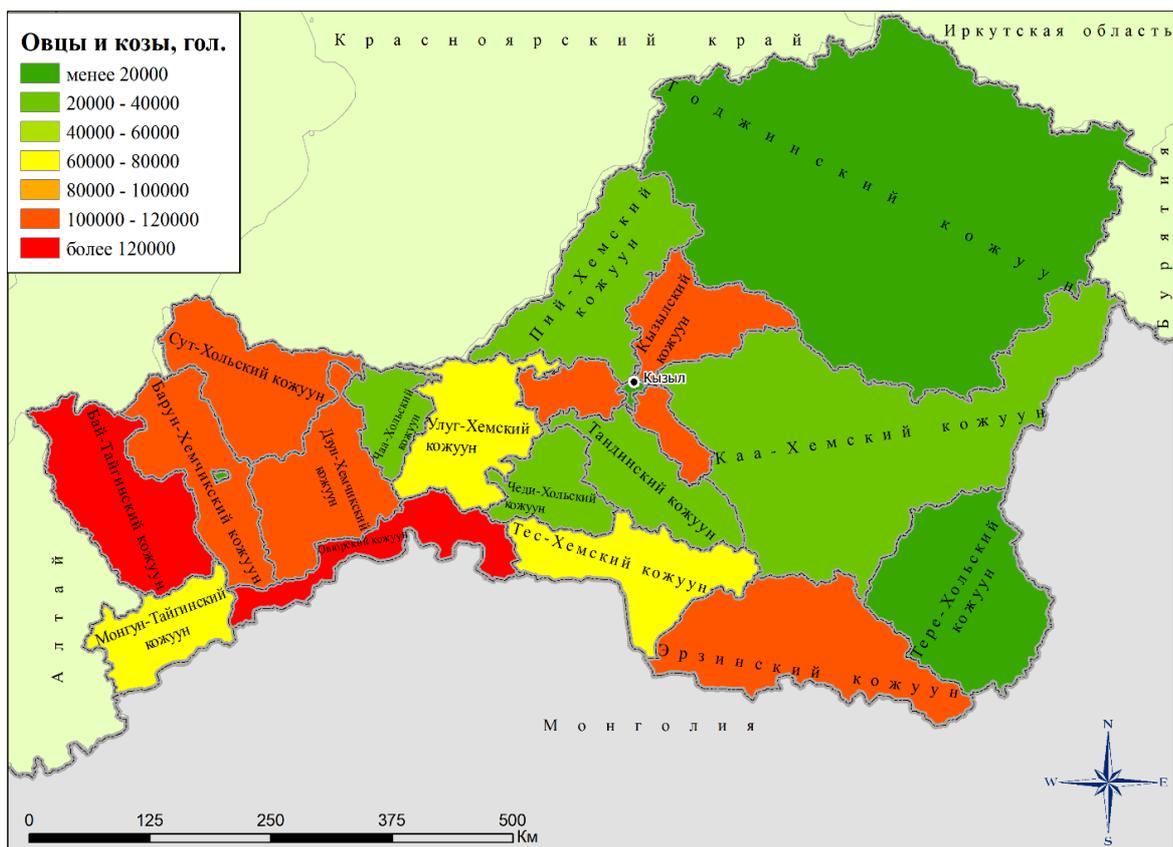


Рисунок 27 – Распределение поголовья овец и коз на территории республики Тува

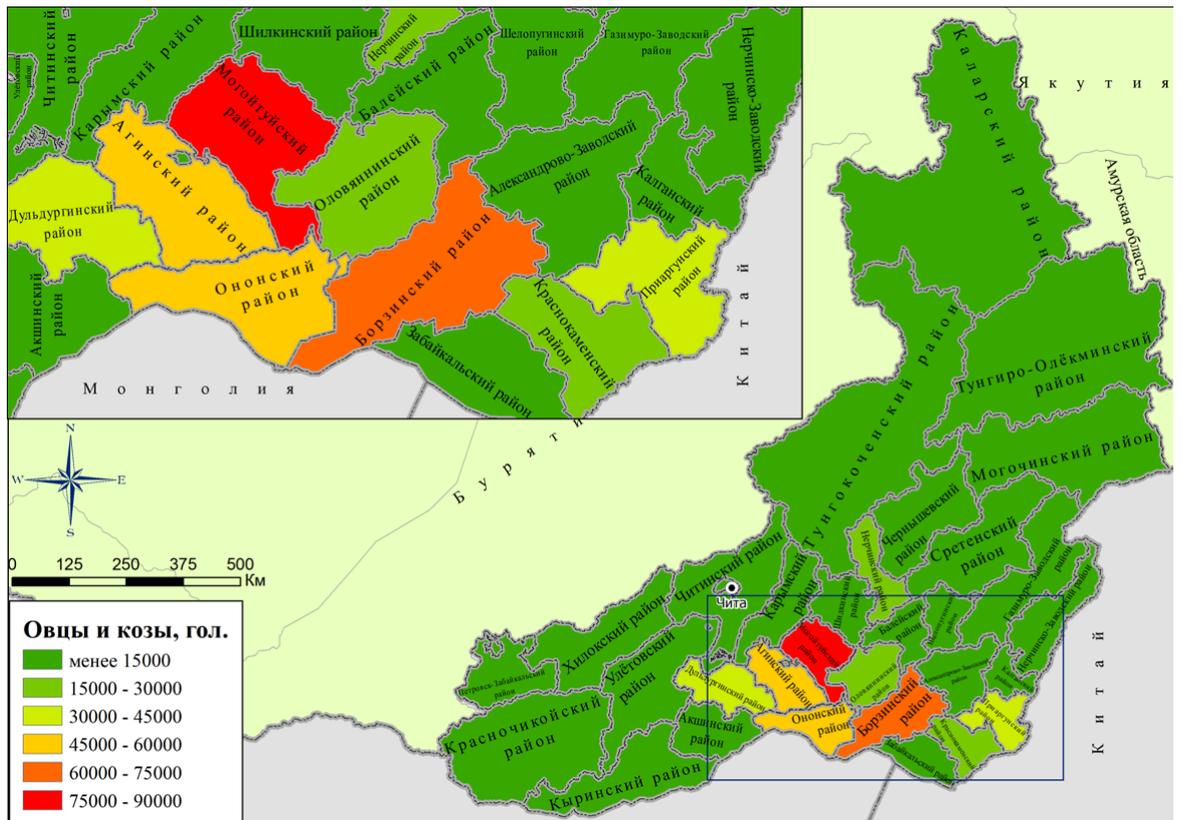


Рисунок 28 – Распределение поголовья овец и коз на территории Забайкальского края

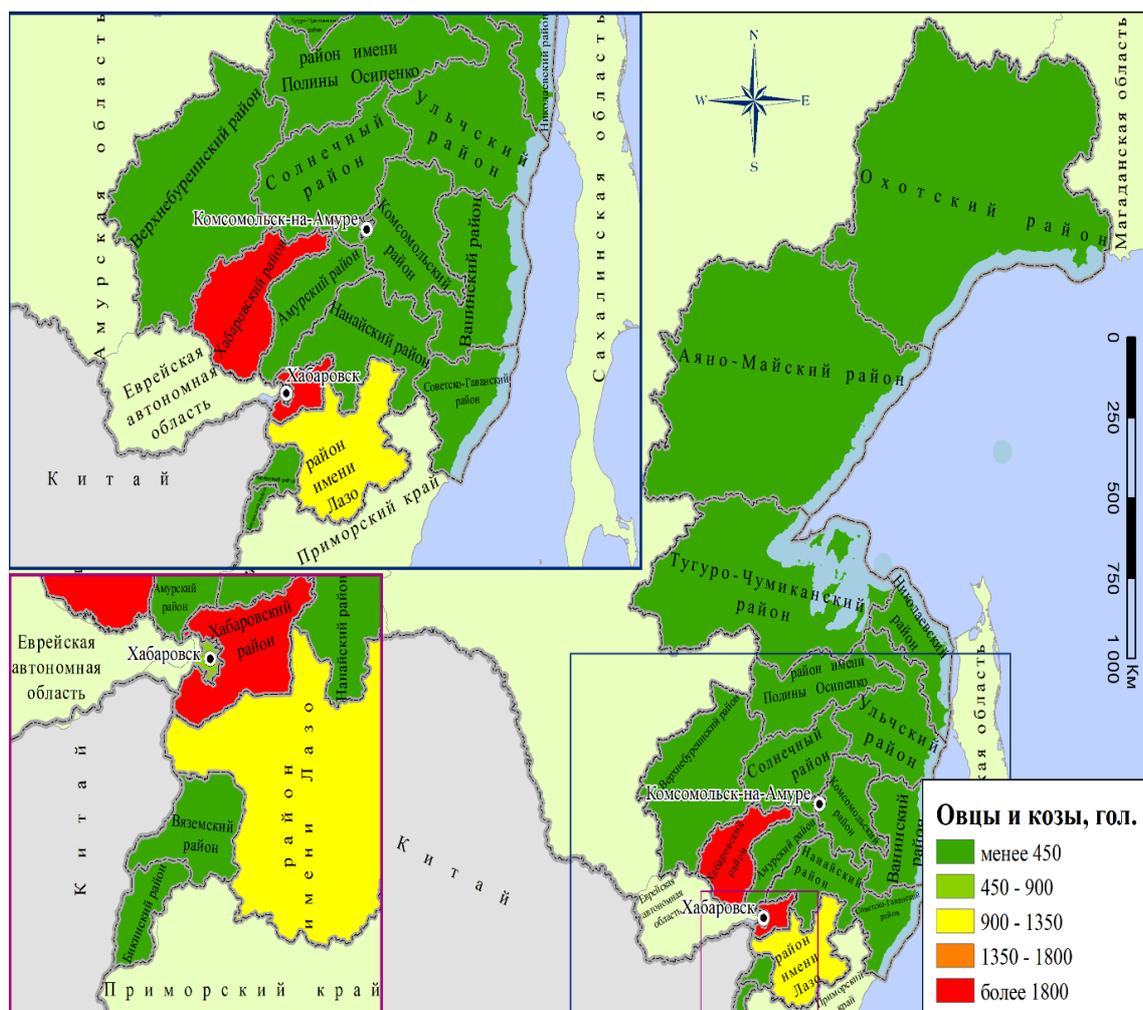


Рисунок 29 – Распределение поголовья овец и коз на территории Хабаровского края

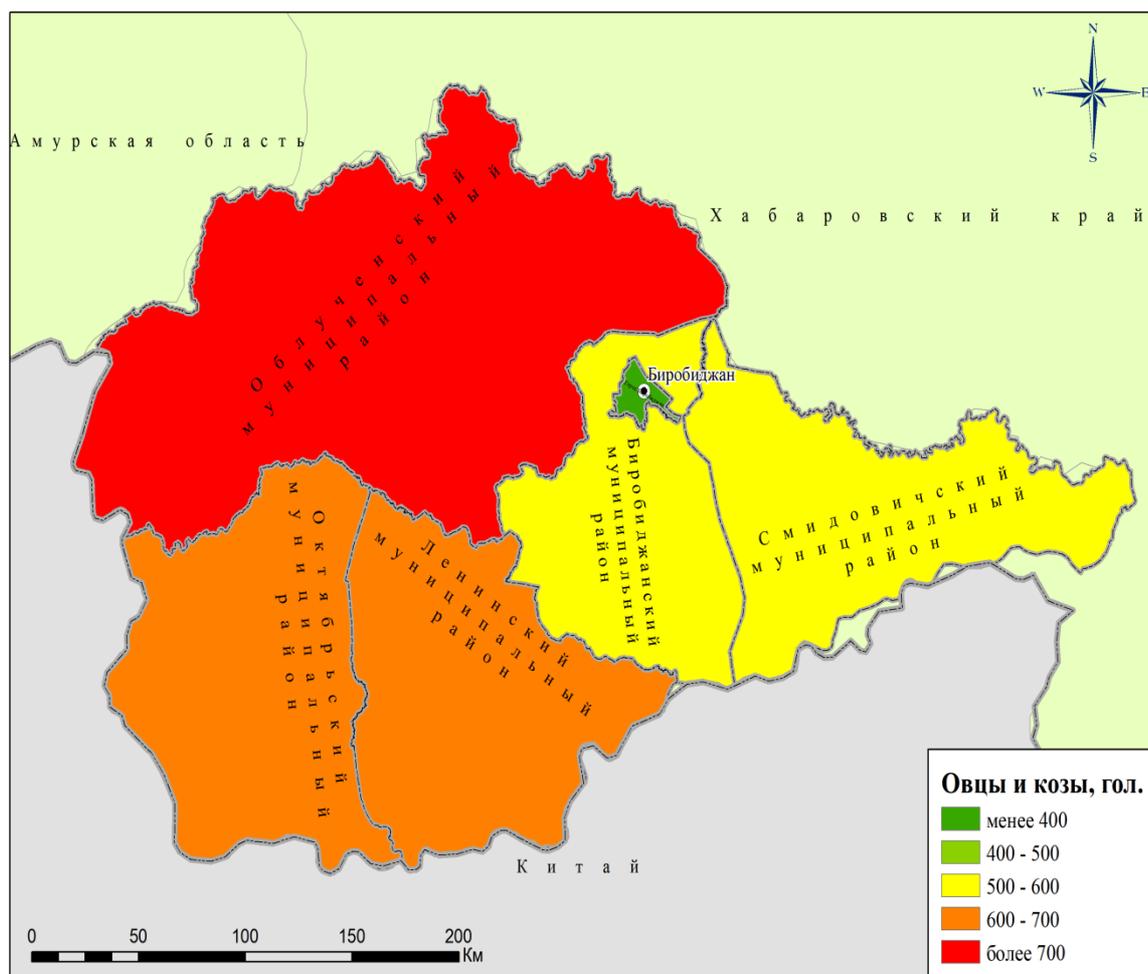


Рисунок 30 – Распределение поголовья овец и коз на территории Еврейской Автономной области

Из рисунков видно, что численность поголовья мелкого рогатого скота в приграничных регионах России с Монголией и Китаем составляет:

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)

Еврейская Автономная область (более 700 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.

2.2.4. Оценка вероятности завоза инфекции в Россию с приграничных территорий

Таблица 3 – Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ [1].

Пункты пропуска через государственную границу РФ	Балльная оценка
Международный воздушный пункт	0 баллов – отсутствует; 1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный автомобильный пункт	0 баллов – отсутствует; 1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный железнодорожный пункт	0 баллов – отсутствует; 1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный морской пункт пропуска через государственную границу РФ	0 баллов – отсутствует; 1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный речной пункт пропуска через государственную границу РФ	0 баллов – отсутствует; 1 балл – перемещение товаров и грузов;
Железнодорожные сообщения дальнего следования	0 баллов – отсутствуют; 1 балл – перевозка пассажиров и грузов по территории РФ.

Амурская область

В данном регионе имеются следующие пункты пропуска:

Аэропорт «Благовещенск». Находится менее чем в 3,5 км от государственной границы между РФ и КНР. Обеспечивает регулярное авиасообщение Амурской области с городами Восточной Сибири и Дальнего Востока России, а также с Москвой.

Имеется крупнейший автомобильный транспортный узел «Торговый порт Благовещенск».

Со стороны Китайской Народной Республики непосредственно с Амурской областью граничит провинция Хэйлуцзян. Протяженность российско-китайской государственной границы в Амурской области – 1247,0 км (полностью речной участок). Характер прохождения границы обуславливает особенности размещения пунктов пропуска. На территории

Амурской области установлено 8 пунктов пропуска: автомобильный «Кани-Курган», смешанные «Благовещенск», «Поярково», «Сковородино», «Джалинда», «Ушаково», «Константиновка», воздушный «Благовещенск».

Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Амурской области представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Амурской области

Пункты пропуска через государственную границу РФ	Балльная оценка
Международный воздушный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный автомобильный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный железнодорожный пункт	1 баллов – отсутствует; 1балл – перемещение товаров и грузов;
Международный морской пункт	0 балл – отсутствует
Международный речной пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов.

Итого: 4 балла из 5

Приморский край

В данном регионе имеются следующие пункты пропуска:

Международный аэропорт «Владивосток»

Морской порт Владивосток г. Владивосток.

Морской порт Славянка Хасанский район, бухта Славянка,

Хасанский р-н, п. Славянка

Морской порт Зарубино, Хасанский район, Бухта Троицы, г. Владивосток.

Морской порт Посъет, Хасанский район, Залив Петра Великого.

Морской порт Находка в г. Находка

Морской порт Восточный в п. Врангель

Морской порт Ольга Ольгинский район, п. Ольга.

Морской порт Пластун Тернейский район, п. Пластун.

Автомобильный пункт "Краскино" Хасанский район. п. Краскино

Автомобильный пункт "Полтавка" Октябрьский район 6 км автотрассы
Полтавка – Застава российско-китайский участок государственной границы.

Автомобильный МАПП "Пограничный" – КНР Приморский край,
российско-китайский участок гос. границы.

Автомобильный АПП "Марково" Лесозаводский округ 3 км с. Марково
российско-китайский участок гос. границы г. Лесозаводск, с. Марково

Автомобильный АПП "Турий Рог" Ханкайский район 2км. от с. Турий
Рог российско-китайский участок гос. границы Ханкайский р-н, 150км
автотрассы Михайловка-Турий Рог

Пограничный (Китай), ст. Гродеково, Пограничный р-н, пос.
Пограничный.

Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты
пропуска государственной границы РФ в Приморском крае представлена в
таблице 5.

Таблица 5 – Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через
пункты пропуска государственной границы РФ в Приморском крае

Пункты пропуска через государственную границу РФ	Балльная оценка
Международный воздушный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный автомобильный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный железнодорожный пункт	0 баллов – отсутствует; 1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный морской пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный речной пункт	0 баллов – отсутствует.

Итого: 3 балла из 5. Но в связи с тем, что морских и автомобильных пунктов пропуска больше 1, потенциальный риск заноса инфекции выше.

Хабаровский край

В данном регионе имеются следующие пункты пропуска:

Смешанный автомобильный-речной «Покровка», Бикинского района
«Хабаровск – аэропорт (Новый)», г. Хабаровск.

«Морской торговый порт Де-Кастри», Режимной территорией являются причалы № 1, 2 и рейд порта п. Де-Кастринский.

«Николаевск на Амуре морской порт»

Карантинная стоянка, режимная территория грузового района, причалы №7, 8, г. Николаевск-на-Амуре, в 1 км от города.

Хабаровский речной порт (пассажирское направление): Граница берегового участка. Хабаровский речной порт Грузовое направление: границы акватории - Амурская протока от 12 км до устья, среднего Амура, от 5 км до 0 км.

Морской торговый порт «Ванино»

Морской торговый порт «Советская Гавань»

Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Хабаровском крае представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Хабаровском крае

Пункты пропуска через государственную границу РФ	Балльная оценка
Международный воздушный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный автомобильный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный железнодорожный пункт	0 баллов – отсутствует;
Международный морской пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный речной пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов.

Итого: 4 балла из 5

Но в связи с тем, что морских и автомобильных пунктов пропуска больше 1, потенциальный риск заноса инфекции выше.

Еврейская Автономная область

В данном регионе имеются следующие пункты пропуска:

«АМУРЗЕТ» российско-китайский участок гос. границы.

«Пашково» российско- китайский участок гос. границы.

ПП «Нижнее Ленинский» российско- китайский участок гос. границы.

Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в ЕАО представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в ЕАО

Пункты пропуска через государственную границу РФ	Балльная оценка
Международный воздушный пункт	0 баллов –отсутствует;
Международный автомобильный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный железнодорожный пункт	0 баллов – отсутствует;
Международный морской пункт	0 баллов- отсутствует
Международный речной пункт	0 баллов – отсутствует.

Итого: 1 балл из 5.

Забайкальский край

В данном регионе имеются следующие пункты пропуска:

МАПП Забайкальск (Российско-китайский участок государственной границы).

ДАПП Староцурухайтуйский (Российско-китайский участок государственной границы)

ДАПП Верхний Ульхун (Российско-монгольский участок государственной границы).

АПП Соловьевск (Российско-монгольский участок государственной границы)

АПП Олочи (Российско-китайский участок государственной границы)

Сезонный «Покровка – Логухэ» (Российско-китайский участок государственной границы).

Воздушный пункт пропуска «Аэропорт Чита» (Российско-китайский участок государственной границы).

Соловьевск (Монголия)

Забайкальск (Китай), ст. Забайкальск.

Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Забайкальском крае представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Забайкальском крае

Пункты пропуска через государственную границу РФ	Балльная оценка
Международный воздушный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный автомобильный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный железнодорожный пункт	0 баллов – отсутствует;
Международный морской пункт	0 баллов – отсутствует
Международный речной пункт	1 баллов – перемещение товаров и грузов.

Итого: 3 балла из 5

Республика Бурятия

В данном регионе имеются следующие пункты пропуска:

МАПП «Кяхта» российско-монгольский участок гос. границы, г. Кяхта,
п. Слобода

ДАПП «Монды», Тункинский р-н, с. Монды

Воздушный пункт пропуска «Улан-Удэ (Мухино)», г. Улан- Удэ,
аэропорт Наушки (Монголия), пос. Наушки, ул. Вокзальная 37

Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Республике Бурятия представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Республике Бурятия

Пункты пропуска через государственную границу РФ	Балльная оценка
Международный воздушный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный автомобильный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный железнодорожный пункт	0 баллов – отсутствует;
Международный морской пункт	0 баллов- отсутствует
Международный речной пункт	0 баллов - отсутствует

Итого: 2 балла из 5

Республика Тыва

В данном регионе имеются следующие пункты пропуска:

Двусторонний автомобильный пункт пропуска «Цагаан-Тологой» Эрзинский участок Российско-Монгольской границы, Эрзинский кожуун, с. Эрзин.

Двусторонний автомобильный пункт пропуска «Шара-Суур» Тес-Хемский участок Российско-Монгольской границы.

Двусторонний автомобильный пункт пропуска «Хандагайты» Овюрский участок Российско-Монгольской границы.

Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Республике Тыва представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Балльная оценка рисков заноса возбудителя ЧМЖ через пункты пропуска государственной границы РФ в Республике Тыва

Пункты пропуска через государственную границу РФ	Балльная оценка
Международный воздушный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный автомобильный пункт	1 балл – перемещение товаров и грузов;
Международный железнодорожный пункт	0 баллов – отсутствует;
Международный морской пункт	0 баллов – отсутствует
Международный речной пункт	0 баллов – отсутствует

Итого: 2 балла из 5

Но в связи с тем, что морских и автомобильных пунктов пропуска больше 1, потенциальный риск заноса инфекции выше.

На основании проведённой балльной оценки риска можно сделать следующие предположения:

Наиболее вероятными воротами для заноса инфекции с приграничных государств являются следующие регионы РФ: Амурская область, Хабаровский край, Приморский край, Забайкальский край и Республика Тыва.

Балльная оценка риска заноса инфекции основана на степени развития международных транспортных сообщений между приграничными регионами России и Китаем и Монголией.

Для большей наглядности в картографическом виде отражена плотность автомобильного и железнодорожного сообщения на территории рассматриваемых приграничных регионов (Рисунок 31 – 37).

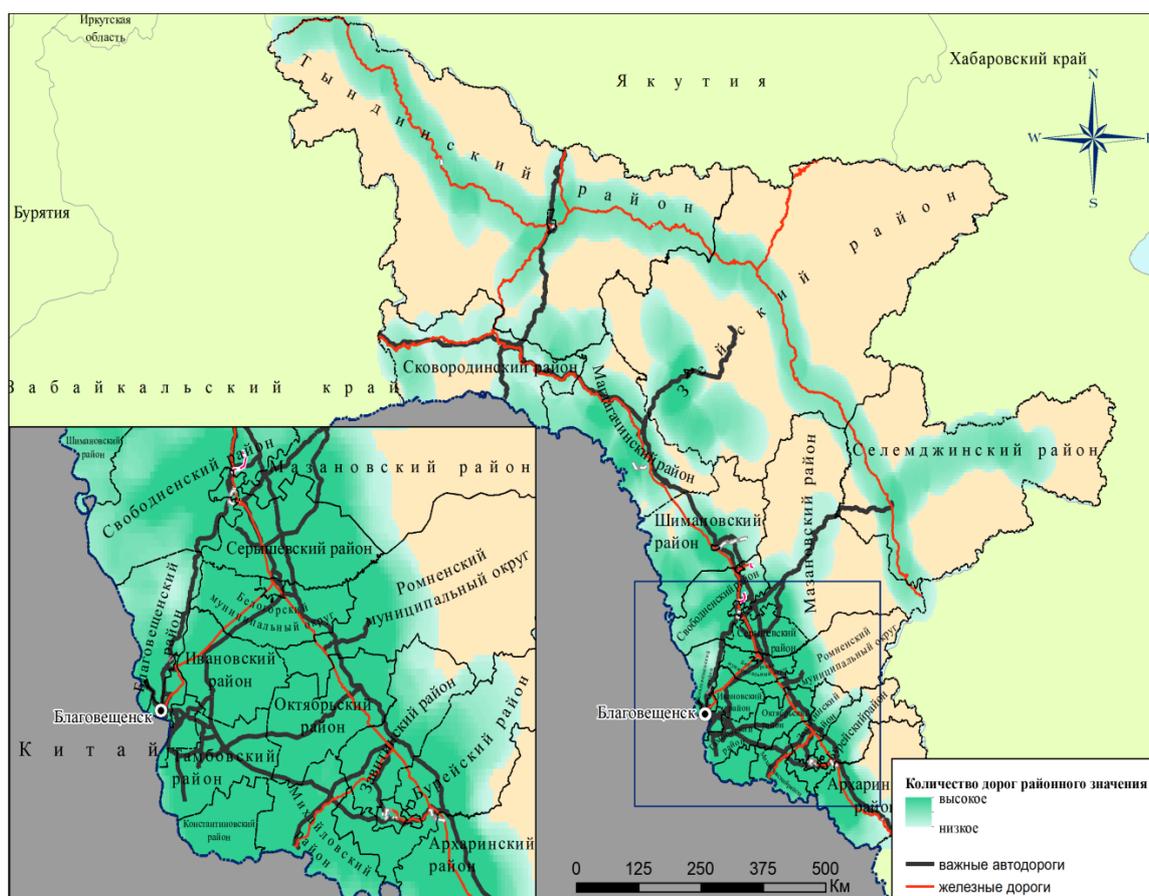


Рисунок 31 – Плотность дорог в Амурской области

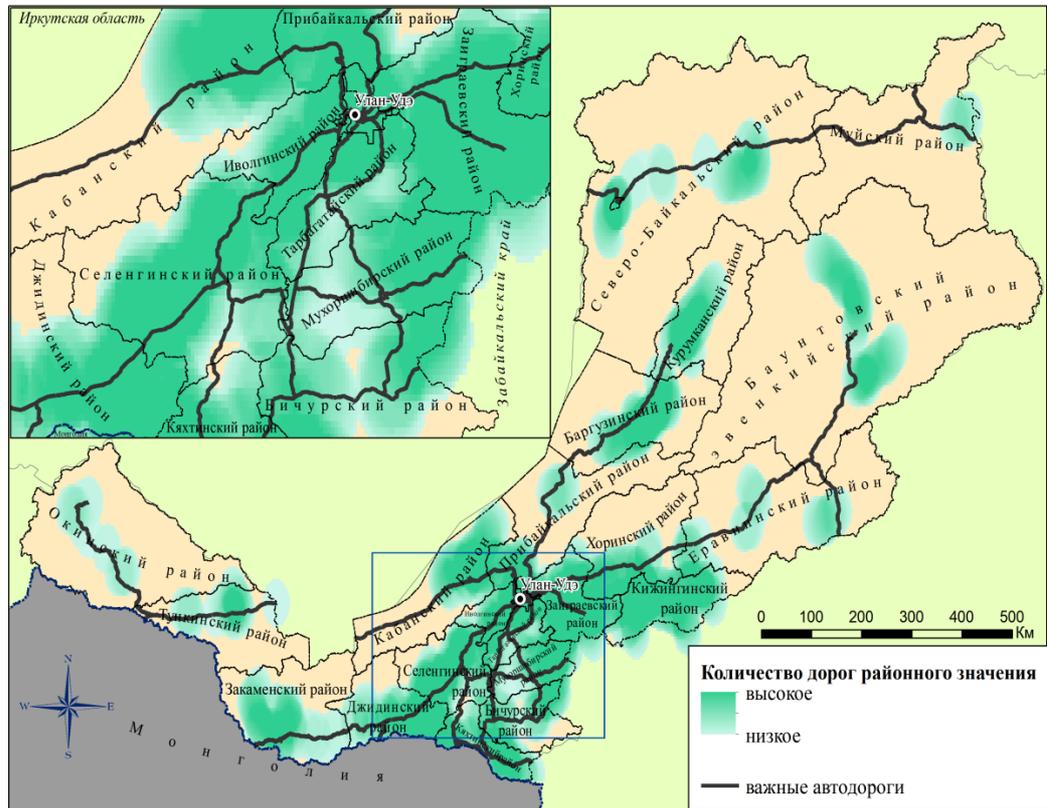


Рисунок 32 – Плотность дорог в Республике Бурятия

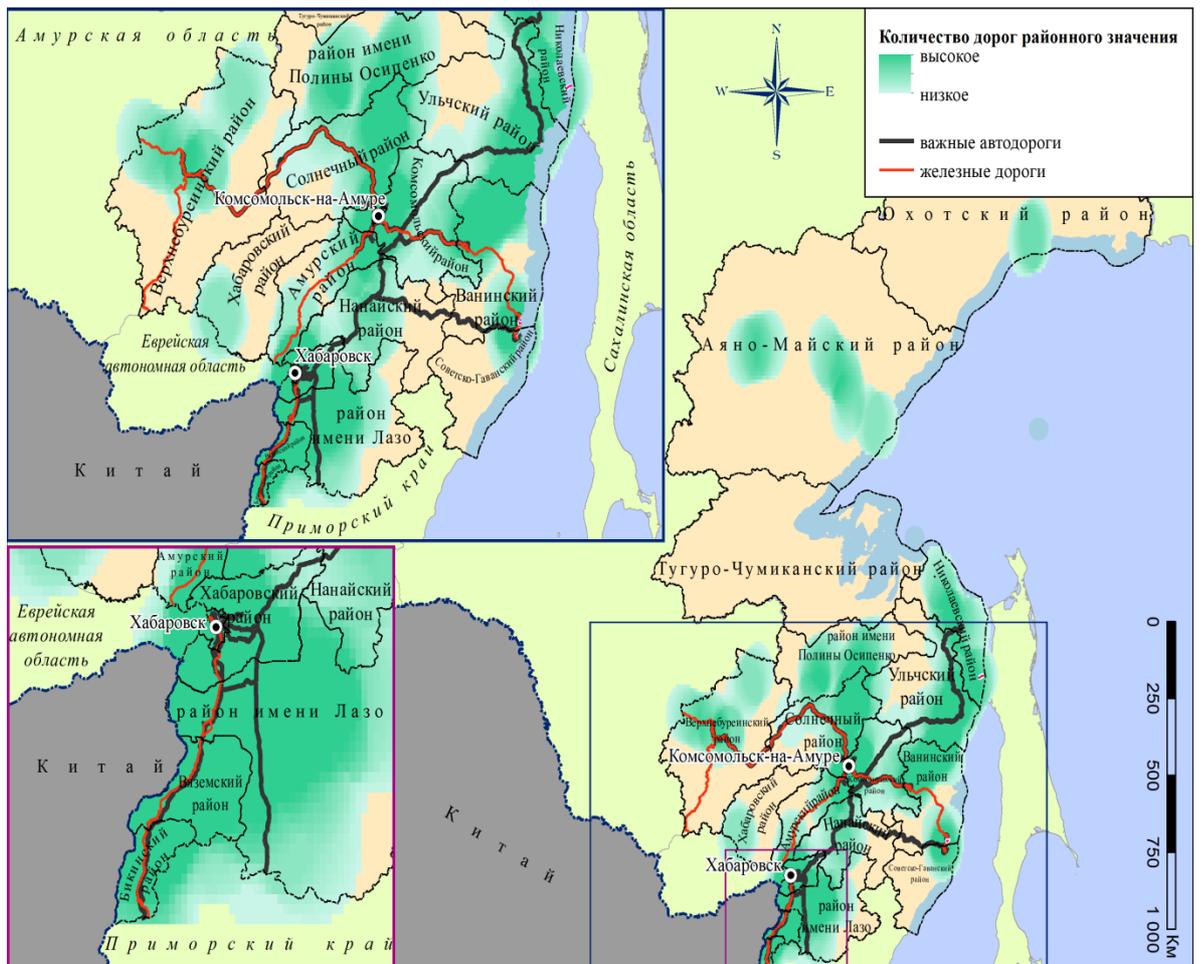


Рисунок 33 – Плотность дорог в Хабаровском крае

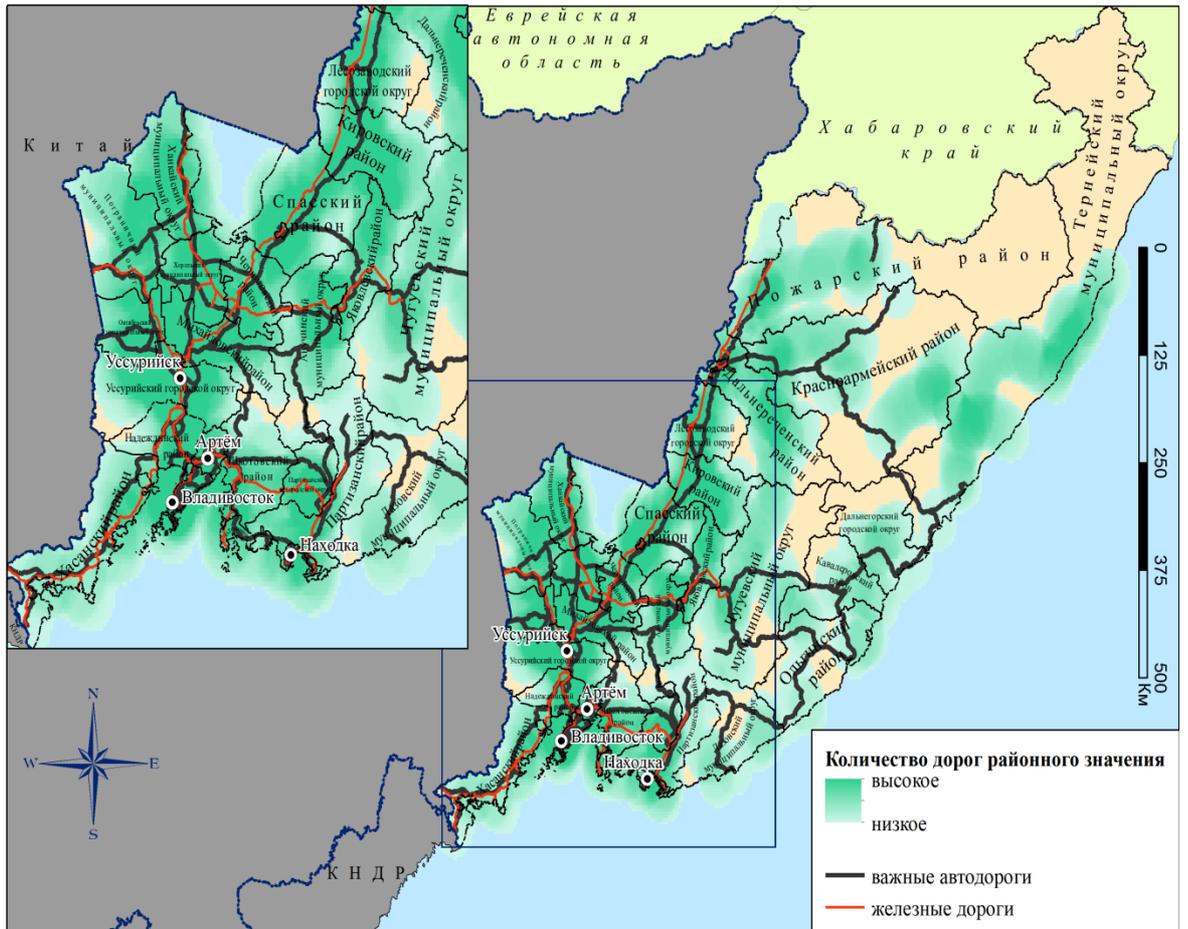


Рисунок 34 – Плотность дорог в Приморском крае

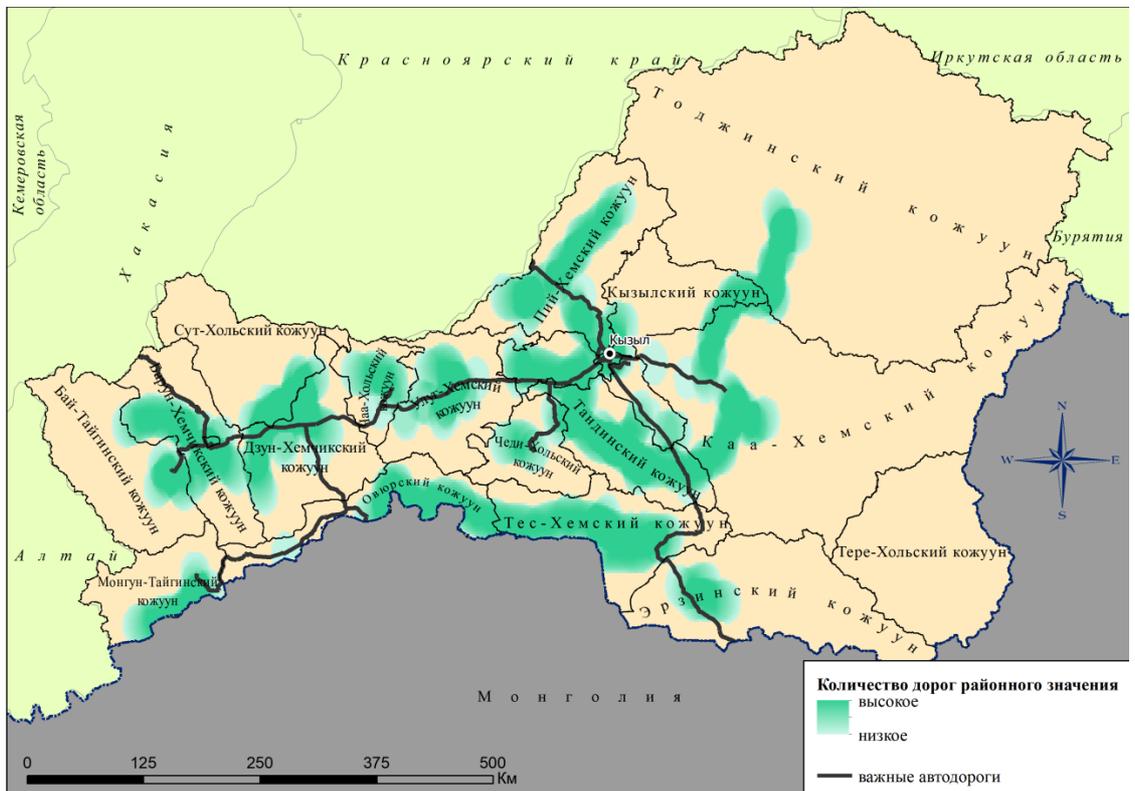


Рисунок 35 – Плотность дорог в Республике Тыва

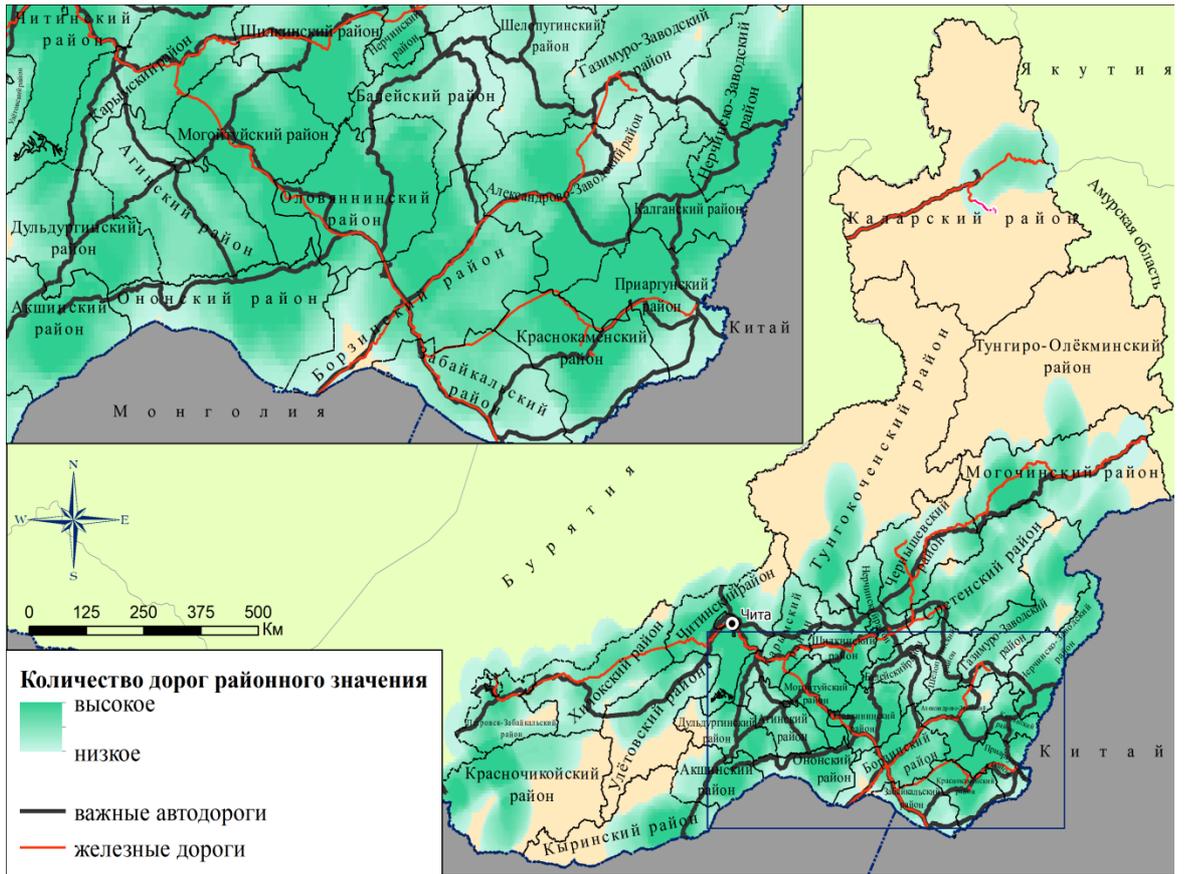


Рисунок 36 – Плотность дорог в Забайкальском крае

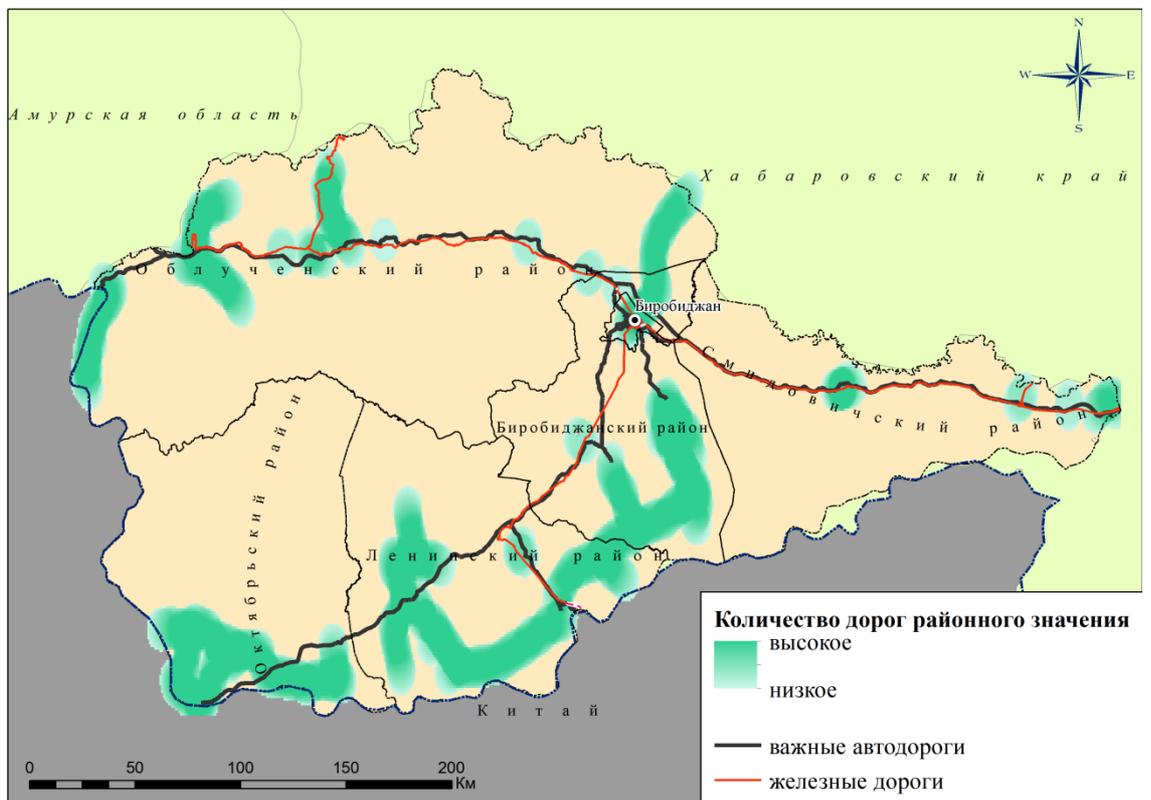


Рисунок 37 – Плотность дорог в Еврейской автономной области

Таким образом, можно отметить, что хорошо развитая сеть автомобильного и железнодорожного сообщения может являться потенциальным фактором для заноса инфекционных болезней с территорий иностранных государств, граничащих с Российской Федерацией.

Нами был проведен регрессионный анализ вспышек ЧМЖ на различных географических территориях, который показал, что зоны наибольшего риска расположены в различных регионах мира и связаны с численностью восприимчивых животных и количеством путей сообщения (Рисунок 38).

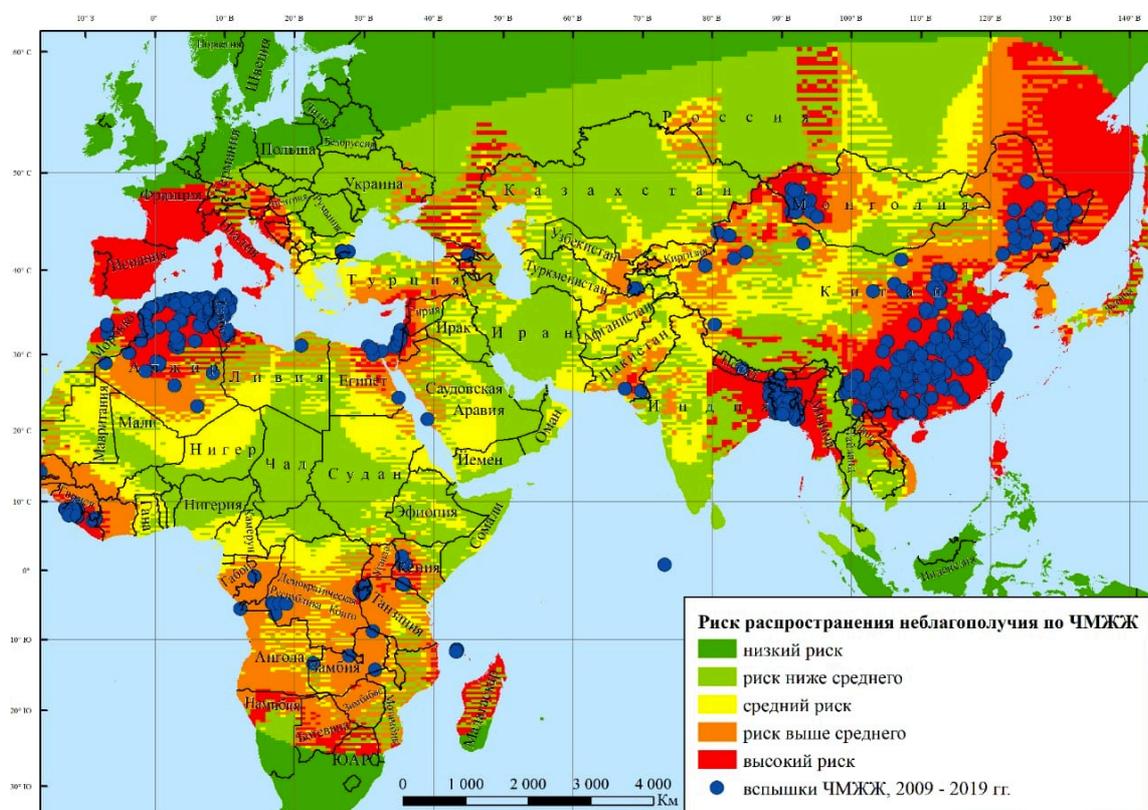


Рисунок 38 – Регрессионный анализ вспышек ЧМЖ в мире с 2009 по 2019 гг.

2.2.5. Прогнозирование возможного количества вспышек ЧМЖ на территории КНР и Монголии на 2022 – 2024 годы

При прогнозировании возможного количества вспышек ЧМЖ на территории КНР использовали величины и их значения, указанные в таблице 11.

Таблица 11 – Величины и их значения, использованные для прогнозирования потенциального количества вспышек ЧМЖ на 1 год в Китае

Величины	Значения
<i>переменная:</i>	
Симуляция	1
Единица	НД
Итераций	10000
Ошибки	0
<i>Расположение:</i>	
Среднее	11, 6063
Минимум	5
Максимум	19
<i>Разброс:</i>	
Стандартное отклонение	3,42182278867864
Дисперсия	11,7088712
Фактор риска	0,75
Коэффициент вариативности	0,2948246029

На основе данных параметров были построены графики прогнозируемого количества вспышек ЧМЖ на 1 год и на 3 года (2022-2024гг).

График диаграммы прогнозирования количества вспышек чумы мелких жвачных на территории Китайской Народной республики за 1 год (Рисунок 39).

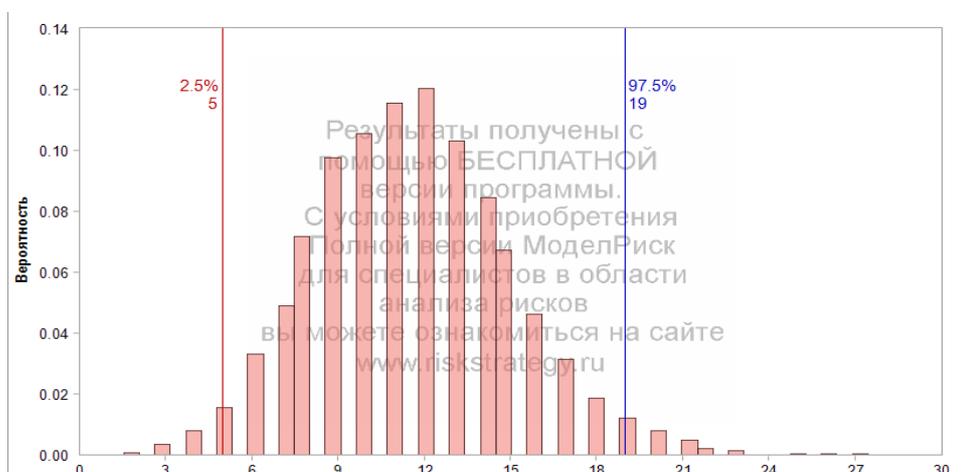


Рисунок 39 – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Китайской Народной Республики на 1 год

Наиболее вероятное количество вспышек в Китае на 1 год = 11.61 ± 3.42 .

Величины и их значения, использованные для прогнозирования потенциального количества вспышек ЧМЖ на 3 года в Китае представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Величины и их значения, использованные для прогнозирования потенциального количества вспышек ЧМЖ на 3 года в Китае

Величины	Значения
<i>Переменная:</i>	
Симуляция	1
Единица	НД
Итераций	10000
Ошибки	0
<i>Расположение:</i>	
Среднее	57,9527
Минимум	43
Максимум	73
<i>Разброс:</i>	
Стандартное отклонение	7,65828490216734
Дисперсия	58,64932764
Фактор риска	0,3448275862
Коэффициент вариативности	0,1321471632

Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Китайской Народной республики на 3 года показано на рисунке 40.

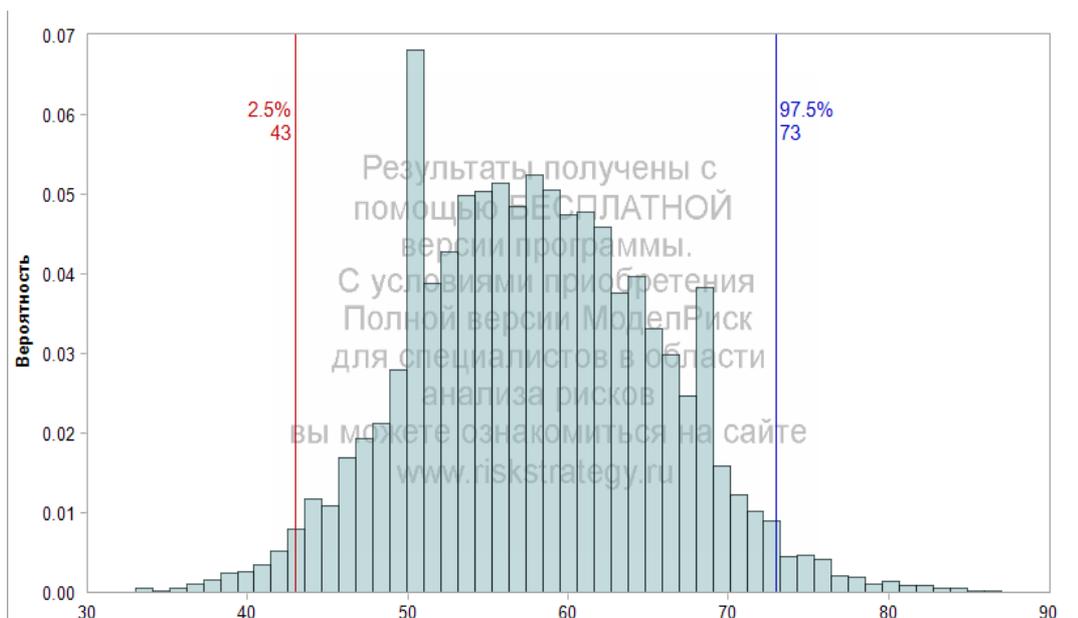


Рисунок 40 – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Китайской Народной республики на 3 года

Наиболее вероятное количество вспышек в Китае на 3 года (2022 – 2024 гг.) = $57,95 \pm 7.66$.

Величины и их значения, использованные для прогнозирования потенциального количества вспышек ЧМЖ на 1 год в Монголии представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Величины и их значения, использованные для прогнозирования потенциального количества вспышек ЧМЖ на 1 год в Монголии

Величины	Значения
<i>Переменная:</i>	
Симуляция	1
Единица	НД
Итераций	10000
Ошибки	0
<i>Расположение:</i>	
Среднее	7,5103
Минимум	3
Максимум	13
<i>Разброс:</i>	
Стандартное отклонение	2,72305626338152
Дисперсия	7,415035414
Фактор риска	1
Коэффициент вариативности	0,3625762304

Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Монголии на 1 год показано на рисунке 41.



Рисунок 41 – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Монголии на 1 год

Наиболее вероятное количество вспышек в Монголии на 1 год = $7,51 \pm 2.72$ вспышек.

Величины и их значения, использованные для прогнозирования потенциального количества вспышек ЧМЖ в Монголии на 3 года показаны в таблице 14.

Таблица 14 – Величины и их значения, использованные для прогнозирования потенциального количества вспышек ЧМЖ в Монголии на 3 года

Величины	Значения
<i>Переменная:</i>	
Симуляция	1
Единица	НД
Итераций	10000
Ошибки	0
<i>Расположение:</i>	
Среднее	37,465
Минимум	26
Максимум	50
<i>Разброс:</i>	
Стандартное отклонение	6,14025612450556
Дисперсия	37,70274527
Фактор риска	0,4324324324
Коэффициент вариативности	0,1638931302

Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Монголии на 3 года показано на рисунке 42.

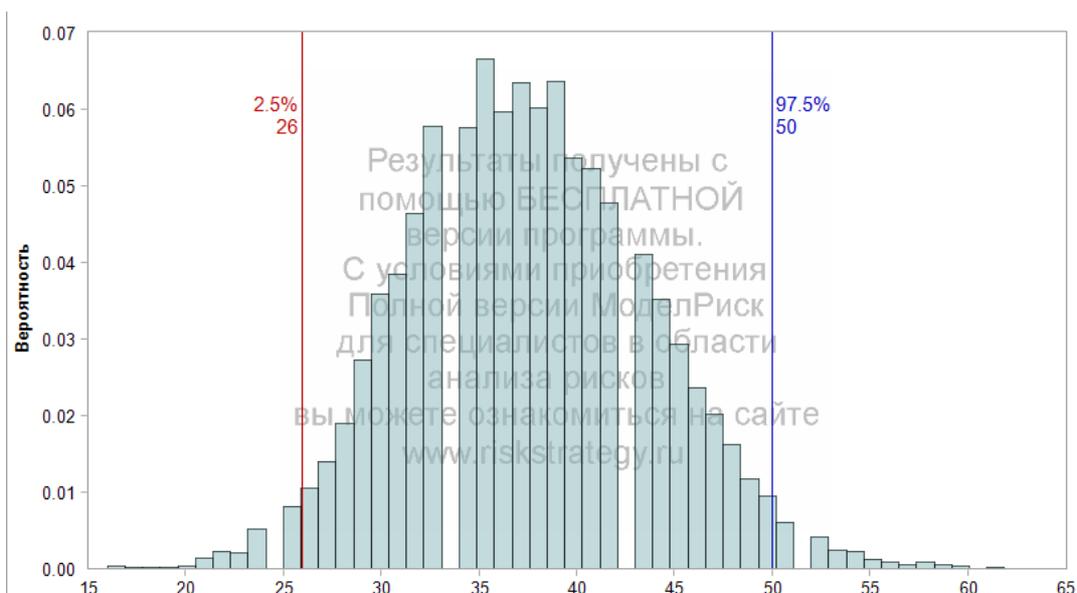


Рисунок 42 – Прогнозируемое количество вспышек чумы мелких жвачных животных на территории Монголии на 3 года

Наиболее вероятное количество вспышек в Монголии на 3 года (2022 – 2024 гг.) = 37, 46 ± 6.14 вспышек.

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

Оценку эффективности вакцинации проводили при помощи математических расчетов на основании полученных данных из международной базы МЭБ (ОIE) за период с 2009 по 2019 год.

На основании полученных данных из открытых интернациональных баз о заболеваемости ЧМЖ и проводимыми оздоровительными и профилактическими мероприятиями, стало ясно, что несмотря на то, что МЭБ рекомендует проводить вакцинацию каждый год в неблагополучных государствах по этой болезни, многие страны, расположенные на территории Африканского континента пренебрегают этими рекомендациями и не проводят кампании по вакцинации поголовья овец и коз, что ведет к существенному ухудшению эпизоотологической ситуации по

рассматриваемой нами инфекции как в год отказа от вакцинации, так и в последующие годы. Более подробная информация представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Данные по проведенным вакцинациям за несколько лет

Год	Общая численность восприимчивых коз (гол)	Общая численность восприимчивых овец (гол)	Общая численность восприимчивых животных (гол)	Количество вакцинированных коз (гол)	Количество вакцинированных овец (гол)	Общее количество вакцинированных животных (гол)	Охват вакцинацией поголовья восприимчивых животных %		
							козы	овцы	всего
2009	7300000	8800000	16100000	154371	531552	685923	2,11	6,04	4,26
2011	7280866	8789409	16070275	240662	257199	497861	3,3	2,92	3,09
2014	7280866	8772351	16053217	100	0	100	0,00 13	-	0,0013
2016	4910700	26572980	31483680	118797	0	118797	2,41	-	0,37

А в том случае, если государства Африки подают сведения в МЭБ, то охват поголовья, подвергнутого иммунизации крайне низкий, если исходить из общей численности поголовья коз и овец. Эффективность вакцинации в таких случаях составляет в выборке поголовья овец и коз в отдельности составляет не более 2,5%, а от общей численности не превышает 5%.

По этим данным, может оказывать влияние на такие результаты следующие факторы:

- Недостаточное финансирование государствами систем ветеринарных служб
- Низкий уровень социально-экономической составляющей жизни населения
- Неэффективность работы ветеринарных служб неблагоприятных регионов

- Недостаточная информированность населения о важности проведения вакцинации против этой болезни, имеющей большое социально-экономическое значение.

Те страны, которые используют вакцинацию поголовья МРС в ветеринарной практике, нерегулярно вакцинируют животных, что ведёт к увеличению вспышек болезни, ухудшению уровня жизни населения, а также колоссальным экономическим затратам.

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 43).

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 осуществлялась в 2013 г., но доля привитого поголовья составила не более 0,38%. Китай и Тунис кампании по вакцинации в рассматриваемый период не проводили.

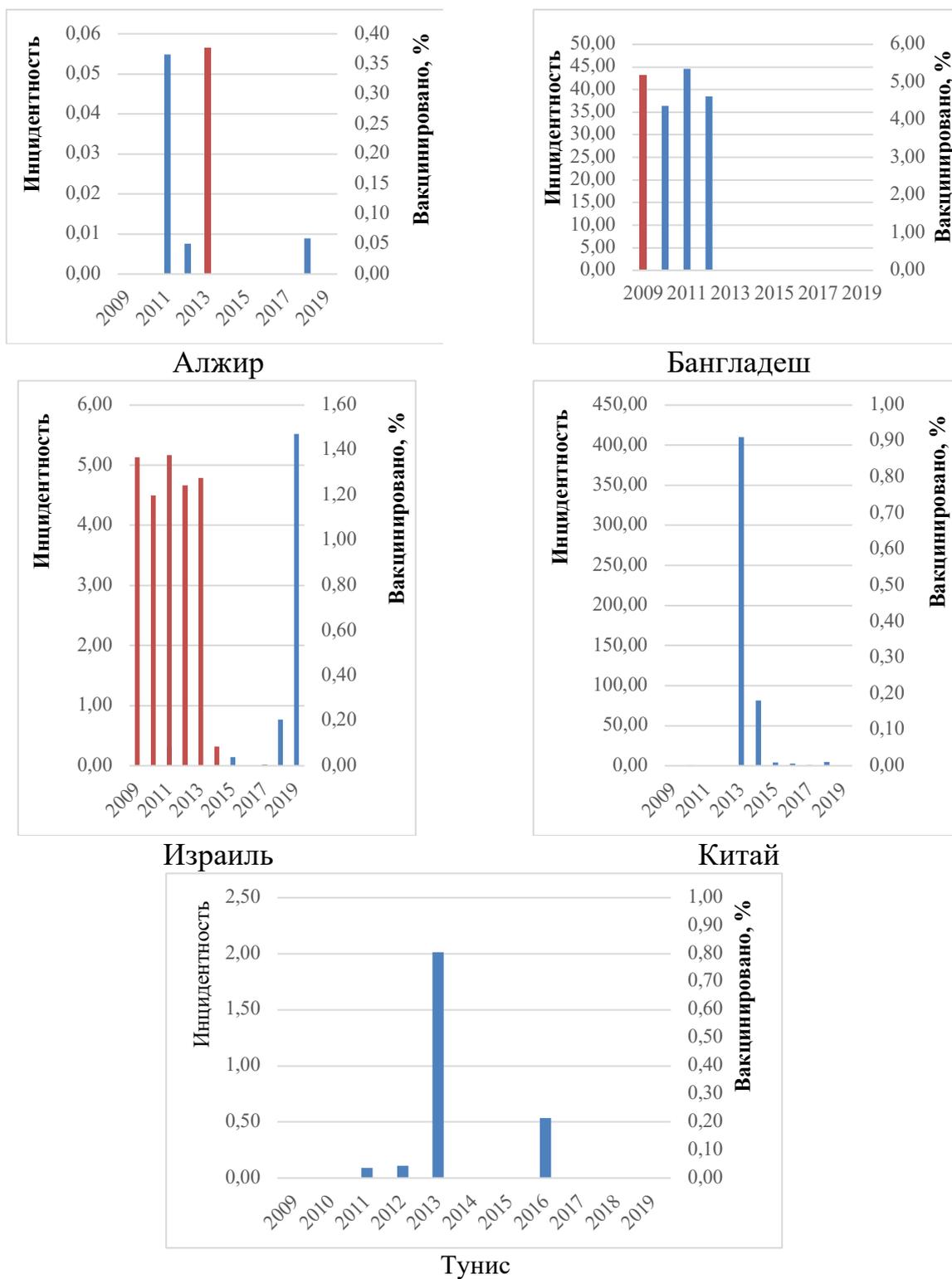


Рисунок 43 – Инцидентность ЧМЖ и поголовье мелкого рогатого скота, вакцинированного от ЧМЖ, в странах с наихудшей эпизоотологической обстановкой, 2009 – 2019 гг. (синим обозначена инцидентность, красным – % вакцинированного поголовья)

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.

2.2.7. 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 $0,886 \pm 0,008$.

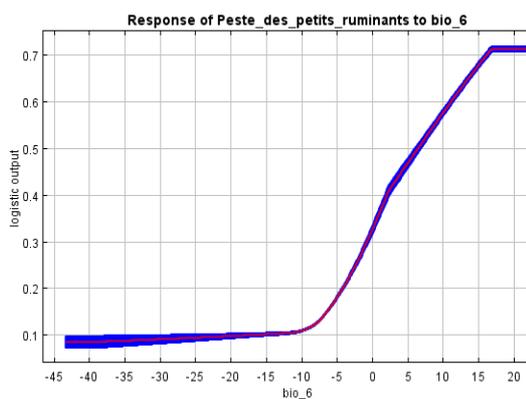
Относительная значимость отдельных объясняющих переменных, использованных при построении модели, представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Относительная значимость отдельных объясняющих переменных для распространения возбудителя ЧМЖ

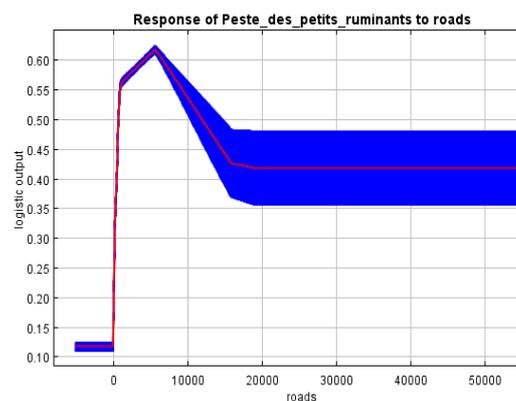
Переменная	Значимость
Плотность покрытия территории автодорогами	30.6
Козы	1.7
Минимальная температура самого холодного месяца года	62.3
Осадки самого влажного месяца	1.1
Осадки в самом засушливом квартале	0.3
Средний дневной диапазон (среднее значение за месяц (максимальная температура - минимальная 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. При этом стоит отметить, что численность поголовья восприимчивых животных, особенно овец, играет незначительную роль.

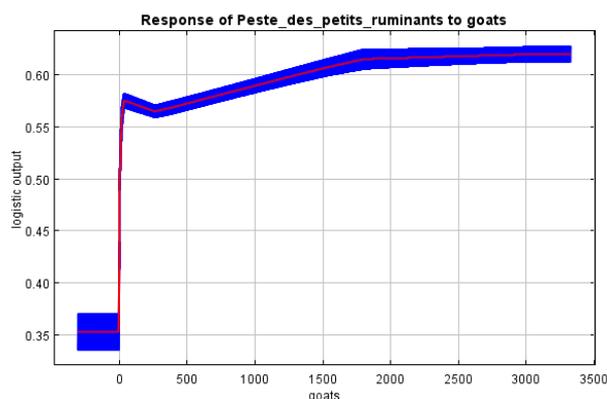
Влияние наиболее значимых переменных, а также численности поголовья коз на риск возникновения вспышки ЧМЖ представлено в виде кривых предельного отклика (Рисунок 44).



(а) Минимальная температура самого холодного месяца, °С



(б) количество автодорог, м/км²



(в) размеры поголовья коз, гол./пиксель

Рисунок 44 – Кривые отклика для переменных, оказывающих наибольшее влияние на риск распространения ЧМЖ: минимальная температура самого холодного месяца в году, °С (а), количество автодорог, м/км² (б), размеры поголовья коз, гол./пиксель. По оси Y отложена относительная вероятность возникновения вспышки ЧМЖ, рассчитанная с использованием конкретной переменной, при условии, что значение других переменных остаётся на среднем уровне, по оси X – значения единицы измерения переменных согласно таблице 15. Красным показаны значения переменных, рассчитанные на основании десяти повторов МaхEnt, синим – стандартное отклонение

Данные кривые показывают, как изменяется прогнозируемая вероятность возникновения вспышки ЧМЖ при изменении отдельной переменной, при условии, что для всех других переменных окружающей среды сохраняется их среднее значение по выборке.

Из графиков следует, что пригодность территории для распространения возбудителя ЧМЖ и, соответственно, возникновения вспышки болезни, практически линейно увеличивается с 10% до 71% при повышении минимальной температуры самого холодного месяца года с -10° до +16° С. Оптимальная величина количества автодорог равняется примерно 5 тыс.

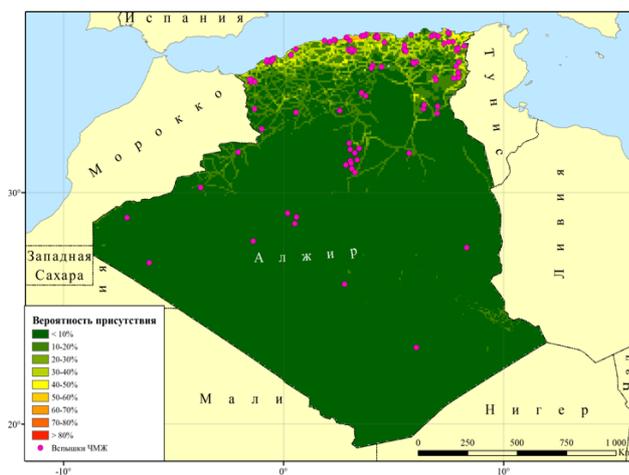
м/км², когда пригодность территории оценивается моделью в 62%, затем пригодность снижается до 43% при количестве дорог 19 тыс. м/км² и выше.

Оптимальный размер поголовья коз, когда вероятность присутствия возбудителя ЧМЖ составляет 62% – 1700 гол./км² и выше, в то же время, при меньших размерах поголовья данная вероятность не падает ниже 56%. Обращает на себя внимание крайне резкое данной кривой. Даже при размерах поголовья восприимчивых животных порядка нескольких десятков гол./км², вероятность обнаружения вируса ЧМЖ находится на уровне 56 – 57%.

Факторы окружающей среды имеют определяющее значение при формировании ареалов живых организмов. В случае с возбудителями болезней сельскохозяйственных животных, помимо природных, огромную роль играют также и факторы, напрямую связанные с социально-экономической деятельностью человека.

Природные факторы, такие как температура воздуха, количество осадков, их изменения на протяжении времени, могут оказывать влияние на выживаемость возбудителя во внешней среде, вероятность его передачи между восприимчивыми особями популяции и, в перспективе, на возможность формирования устойчивого очага болезни. Социально-экономические факторы, например плотность транспортной сети, удалённость от крупных транспортных узлов, определяют риск распространения возбудителя на новые территории. Немаловажную роль играют также численность поголовья восприимчивых животных и комплекс проводимых национальными ветеринарными службами противоэпизоотических мероприятий.

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 45.



(а) Алжир



(б) Бангладеш, Китай, Монголия и Россия

Рисунок 45 – 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 $+10^{\circ} \dots +12^{\circ} \text{C}$ [61]. Вероятность присутствия возбудителя ЧМЖ здесь колеблется от 30 до 70%.

Наиболее подвержен риску возникновения вспышек ЧМЖ Бангладеш. Вероятность присутствия возбудителя практически на всей территории этой страны составляет 50% – 70%. Благодаря тропическому муссонному климату температура воздуха в январе, являющемуся самым холодным месяцем года, составляет $+16^{\circ} \dots +20^{\circ} \text{C}$ днём и $+10^{\circ} \text{C}$ ночью.

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 с минимальной годовой температурой около 0°C .

Конфигурация зон с наибольшей вероятностью присутствия возбудителя ЧМЖ, и, соответственно, повышенного риска возникновения

вспышек заболевания, представленная на рисунке 45, также указывает на значимость транспортных путей и узлов для распространения вируса. Территории с вероятностью присутствия 40% и выше в целом повторяют конфигурацию существующих автомобильных дорог.

Согласно построенной модели распространения ЧМЖ, вероятность присутствия его возбудителя за пределами зон субтропического климата сильно снижается, что хорошо видно на картах Алжира и Китая. К примеру, в Монголии случаи ЧМЖ за весь рассматриваемый период регистрировались только в 2016 г.

Вспышки, зарегистрированные за пределами зон с вероятностью присутствия ЧМЖ 30% и выше, могут быть объяснены экономической деятельностью человека, а именно транспортировкой инфицированного скота. Ввиду того, что транспортировка преимущественно осуществляется по суше, а передача болезни обусловлена контактным путём, удалённость от воздушных и морских портов, которые при иных обстоятельствах могли бы служить источником заноса ЧМЖ, не играет никакой роли.

На рисунке 45б 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 46).

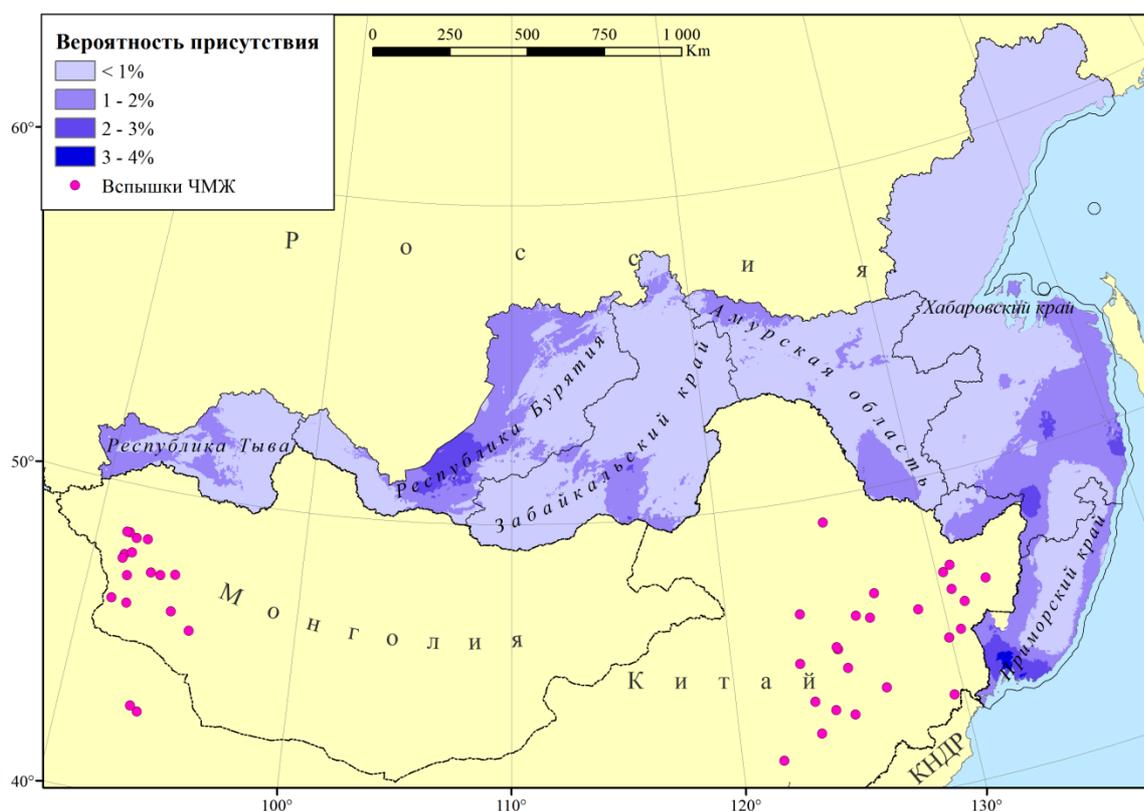


Рисунок 46– Вероятность присутствия возбудителя ЧМЖ на территории субъектов Российской Федерации, граничащих с КНР и Монголией

На территории России случаев ЧМЖ в 2009 – 2020 гг. зарегистрировано не было. Однако, имеется гипотетическая вероятность её заноса из пограничных стран с неблагоприятием по данному заболеванию.

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 субъектах находится в диапазоне от -35° до -20° С. 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

В заключении можно сказать о том, что источниками этой инфекции могут являться больные животные, выделяющие возбудителя с истечениями из носа, слюной слезой, а также с фекалиями. В случае если животное переболеет, то у него формируется длительный иммунитет.

Заражение животных может происходить несколькими путями: при прямом контакте здоровых животных с больными, аэрогенным и алиментарным путём.

Больше всего восприимчивы к заражению молодые козлята и ягнята. Крупный рогатый скот не заболевает, но образование антител при контакте с патогенным агентом происходит.

У микроорганизма существует небольшая инфекционная фаза, он не способен существовать вне макроорганизма в течение большого количества времени. Этот факт является отличным условием на пути к его ликвидации.

Стремительное распространение болезни на обширные территории очень часто связано с антропогенными факторами: с несанкционированным перемещением потенциально заражённого скота, продуктов переработки овцеводческого сырья, а также контаминированного инвентаря для ухода за животными.

Отмечается, что степень заболеваемости в сухой среде с более высокой температурой значительно ниже, чем в среде со средней температурой, но высоким уровнем влажности воздуха.

Мировой общественности удалось ликвидировать чуму крупного рогатого скота, преимущественно благодаря тому, что на рынке имелись действенные ослабленные вакцины. В связи с тем, что возбудитель ЧКРС и МРС похожи по многим свойствам, опыт был применён в борьбе с рассматриваемой нами инфекционной патологией. На протяжении долгого времени вакцину против ЧКРС вводили животным для борьбы с ЧМЖ с переменным успехом из-за отсутствия гомологичных вакцин против ЧМЖ.

Иммунизированные вакциной против ЧКРС козы остаются свободными от инфекции ЧМЖ, по меньшей мере, в течение года без передачи вируса, заражения контактных восприимчивых животных.

В этой связи нужно проверить, создаёт ли длительную иммунную супрессию и оказывают ли влияние вакцинные штаммы на действие одновременно применяемых вакцин. По итогу, даже если будут выявлены положительные моменты в виде снижения финансовых и трудовых затрат при одновременной иммунизации против нескольких болезней овец и коз, совместное введение может вызвать нежелательные реакции, как результат взаимодействия между собой вводимых биопрепаратов. Поэтому при осуществлении плана по искоренению болезни, в обязательном порядке, необходимо применять только те биопрепараты, которые прошли испытания на безопасность и эффективность, именно в той форме, которая заявлена производителем.

У овец, которых выращивали в полусушливых районах, месяц иммунизации повлиял на снижение PVIR. Хотя у коз, обитающих в дождливых районах, этого не было зафиксировано. Поэтому, рекомендуется проводить сероконверсию каждый год в соответствии с рекомендациями Всемирной организации охраны здоровья животных (ОИЕ), с указанными в них методами отбора проб, чтобы повысить эффективность программы по контролю вакцинации. Чтобы она достигла уровня не менее 70%. Более широкий охват поголовья иммунизацией в сельских районах и ежегодные кампании вакцинации, с обязательной адаптацией плана вакцинации к конкретным условиям содержания поголовья мелкого скота и региональной эпизоотической ситуации приведут к наиболее эффективному распределению ограниченных ресурсов и повысят шансы на устранение ЧМЖ. Все эти пункты необходимы для поддержания уровня иммунных животных на пороге выше 71%. Уменьшение временного отрезка от выявления ЧМЖ в стаде до вакцинации, кардинально снизит % падежа в результате ЧМЖ. Эта информация поможет в разработке эффективных стратегий сдерживания для

борьбы со вспышками ЧМЖ. Модель, использующая переходы состояний без памяти, позволяющие проводить анализ чувствительности (SA) для изучения того, как вирус распространяется через стадо, и для определения эффективных стратегий управления для разнородных конфигураций и условий в стаде. Кроме того, лучше разработать хорошую модель на животных для стратегий контроля, которая выражает клинические признаки, характерные для каждого штамма [90]. Способ инокуляции также имеет решающее значение в степени и серьезности проявления клинических признаков [90].

Проведен ретроспективный картографический анализ эпизоотической ситуации по ЧМЖ в мире за 2007 – 2019 год.

Было выявлено, что очаги болезни перемещаются эпизодическими вспышками на зараженной территории, и распространение инфекции часто связано с перемещением скота и незаконной торговлей мелкими жвачными животными.

Кроме того, было установлено, что уровень заболеваемости ниже в сухой среде с более высокими температурами, более высокая во влажной среде со средними температурами.

Заражение происходит при прямом контакте здоровых особей с больными, аэрогенным и алиментарным путями. Наиболее восприимчивы к заражению молодые козы в возрасте от 2-х до 18-ти месяцев. Крупный рогатый скот не болеет, но антителообразование при контакте с возбудителем у представителей этого вида происходит [72, 134].

Возбудитель имеет короткую инфекционную фазу и не способен сохранять жизнеспособность вне организма хозяина долгое время, что является идеальным условием для того, чтобы действовать согласованно на пути к его искоренению.

А распространение болезни часто связано с несанкционированным перемещением потенциально инфицированного скота и реализацией как живых животных, так и продуктов убоя от МРС. Уровень заболеваемости

значительно ниже в сухой среде с более высокими температурами, более высокая во влажной среде со средними температурами воздуха.

Международному сообществу удалось искоренить чуму крупного рогатого скота, главным образом, из-за наличия на рынке эффективных живых ослабленных вакцин.

На протяжении ни одного десятка лет гетерологичная вакцина против чумы крупного рогатого скота использовалась в профилактических целях против ЧМЖ с переменным успехом из-за отсутствия гомологичных вакцин против ЧМЖ.

Привитые вакциной против ЧКРС козы остаются свободными от инфекции ЧМЖ, по меньшей мере, в течение года без передачи вируса, заражения контактных восприимчивых животных.

После воздействия вируса ЧМЖ обнаруживается еще более высокий уровень антител против обоих вирусов. Поэтому МЭБ рекомендовало эту RPV вакцину, применяемую для профилактики ЧМЖ [135]. К сожалению, живая ослабленная вакцина RPV была позже запрещена, потому что это может помешать достижению зоны, свободной от чумы крупного рогатого скота.

Эта болезнь имеет определённую сезонность. Распределение неблагополучных пунктов по месяцам показало другой характер чумы МРС, так как хорошо заметен первый пик на 4-й месяц и вторую волну (она значительнее первой) на 8-й месяц, это время выпадает на пастбищный период (непосредственный контакт с больными животными возрастает), и также эти моменты связаны с сезоном переносчиков, их присутствие усиливает течение эпизоотического процесса.

Социально-экономические условия, наряду с природными особенностями, оказывают существенное влияние на формирование географической картины эпизоотической ситуации ЧМЖ в мире. Их изучение имеет важнейшее значение для выявления особенностей обстановки в различных регионах, так как они имеют тенденцию к постоянному изменению.

Оценка эпизоотического риска проводилась с помощью качественных приемов и количественных методов исследования. В последнем случае требуется количественный учет и анализ фактора, социально-экономического фона, включая районирование территорий по уровню эпизоотологического риска и вероятным последствиям эпизоотии.

Таким образом, установлено статистически значимое влияние системы социально-экономических параметров мировой эпизоотической ситуации на индекс стационарности равен 0,63 (прямая и сильная связь).

Эти данные также убедительно подтверждают основную роль социально-экономических условий в поддержании и развитии ЧМЖ во всех неблагополучных регионах мира. Главной особенностью развития этой болезни (доли частот) были эпизоотии в Восточной Азии, в частности Китае. Так, в данном регионе показатель общей энтропии комплекса равен 1,58, и не менее важное значение в Средиземноморье -1,52.

Аналогично находим, что ИПВ географических (климатических) условий равен 0,62. И это говорит о влиянии этих параметров на распространение поголовья (сельскохозяйственная деятельность) МРС и в свою очередь, возникновение болезни.

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.

Для оценки нашего анализа рассчитали чистую приведенную величину модели (NPV), используя учетные ставки количества случаев и павших при ЧМЖ за последние 10 лет в мире, результаты чего являются индикатором здоровых животных (в т.ч. переболевших ЧМЖ). 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 вакцинных компаний и предоставленных противоэпизоотических мероприятий против ЧМЖ, в частности

планируемых. И это благодаря совместной работе ФАО-МЭБ и др. организаций.

Если учитывать географическое расположение территории РФ на границе эндемичной территории, Россия входит в зону высокого риска. Визуальный анализ карты показывает основные ворота заноса ЧМЖ в Россию: Монголия, Китай и Грузия. Направление инфекции в соседние области потенциально возможно при перемещении животных и их продуктов (на рынках, постах), поскольку при данной инфекции прямой контакт является главным способом передачи.

Остальные регионы (в том числе и зона Поволжья) и даже если на их территории содержится большое поголовье скота, эти зоны имеют меньший риск (чем дальше, тем безопаснее). Но при этом, с точки зрения эпизоотологии нельзя исключать возникновения риска на этих географических территориях путем транспортировки и дальнейшей реализации инфицированных животных и продуктов их переработки.

Важным резервуаром (с низким и умеренным уровнем риска) ЧМЖ является поголовье диких восприимчивых животных (неконтролируемые и бессимптомные вирусоносители), которые являются трансграничными.

Ретроспективным анализом установлено, что нозоареал возбудителя ЧМЖ имеет чрезвычайно широкое распространение.

Картографирование зон риска ЧМЖ выявило низкий, средний и высокий риски, в зависимости от удалённости угрожаемой территории от непосредственного очага вспышки.

Причинами повторного возникновения болезни является недостаточность оздоровительных мер по времени и пространству.

Вспышки с наибольшим количеством павших животных концентрировались, главным образом, на территории Бангладеш и Китая, где в последние годы вакцинация не проводилась.

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, связано с незначительными масштабами кампаний по вакцинации.

Оценка риска, связанного с численностью поголовья восприимчивых животных в регионах, граничащих с Монголией и Китаем, показала, что имеется несколько зон по различной степени риска: зона очень высокого риска – (Республика Тува, Забайкальский край); зона среднего риска – (Республика Бурятия), зона низкого риска – (Амурская область, Хабаровский край).

Прогнозирование развития эпизоотической ситуации на территории Китая показало, что ожидаемое количество вспышек ЧМЖ на ближайшие 3 года (2022 – 2024) = 57, 95 вспышек ± 7.66.

Прогнозирование развития эпизоотической ситуации на территории Монголии показало, что ожидаемое количество вспышек ЧМЖ на ближайшие 3 года (2022 – 2024 гг.) = 37, 46 вспышек ± 6.14.

ВЫВОДЫ

1. Ретроспективным анализом установлено, что нозоарел 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 удалённости 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 (2022-2024гг.) показало, что ожидаемое количество вспышек ЧМЖ на территории Китая составит 57, 95 ± 7.66 вспышек; на территории Монголии 37, 46 ± 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АТ – антитело
- ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения
- ВЧМЖ – вирус чумы мелких жвачных животных
- г – год
- ГИС - геоинформационная система
- ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота
- ЕС – Европейский союз
- ЗЖ – заболевшие животные
- ИФА (ELISA) – иммуноферментный анализ (i-ELISA – непрямой и с-ELISA - конкурентный)
- кг – килограмм
- Крит – критически
- КРС – крупный рогатый скот
- л – литр
- мл – миллилитр
- млн – миллион
- млрд – миллиард
- МРС – мелкий рогатый скот
- МЭБ – Международное эпизоотическое бюро
- Набл – наблюдение
- нм – нанометр
- НП = ЭВ– неблагополучные пункты (эпизоотические вспышки)
- ОТ-ПЦР – полимеразная цепная реакция с этапом обратной транскрипции
- ПЖ – павшие животные
- ПО - программное обеспечение
- ПЦР – полимеразная цепная реакция

РДП – реакция диффузной преципитации

РНК – рибонуклеиновая кислота

РФ – Российская Федерация

см³ – кубический сантиметр

США – Соединенные Штаты Америки

ТФ ИФА – твердофазный иммуноферментный анализ

ФАО – Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН;

ЧМЖ – чума мелких жвачных животных

% – процент

°С – градус Цельсия

CDV- чума плотоядных

IL – интерлейкины

Mm – миллиметр

NSDV– вирус болезни Найроби овец

PPRV– вирус чумы мелких жвачных животных

PVIR – уровень поствакцинального иммунитета

RPV – чума крупного рогатого скота

RVFV – вирус лихорадки Рифт-Валли

SA – анализ чувствительности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, И.А. Методика оценки риска завоза и распространения инфекционного заболевания на территории субъектов Российской Федерации на примере кори в 2018 году / И.А. Абрамов, О.П. Чернявская, А.А. Абрамов // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 1. – С. 108-117.
2. 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 // Международная научно-практическая конференция, посвящённая 20-летию создания Ассоциации «Аграрное образование и наука». – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2018. – С. 84-87.
3. Амироков, М.А. Эпизоотический надзор – рациональная организационная форма функционирования противоэпизоотических систем / М.А. Амироков, А.С. Донченко, С.К. Димов и др. // Матер. междунар. науч. конференции. – Краснообск: СибНИИЗХим, 2006. – С. 74-77.
4. Андреева, Е.А. Моделирование иммунной системы с помощью нейронных сетей / Е.А. Андреева, И.А. Шаповалова, В. И. Суворов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т.3. – С. 38-41.
5. Астахова, И.Ф. Модель и алгоритм искусственной иммунной системы / И.Ф. Астахова, С. А. Ушаков // Математическое Моделирование. – 2016. – Т. 28. – Р. 63-73.
6. Бакулов, И.А. Карантинные и малоизученные болезни животных мировая эпизоотическая ситуация и система мер по предупреждению их заноса / И.А. Бакулов // Эпизоотология, диагностика и меры борьбы с инфекционными болезнями. – Новосибирск, 1986. – С. 18-22.
7. Боев, Б.В. Геоинформационные системы и эпидемии гриппа / Б.В.Боев, В.В. Макаров // Вестник РУДН. Сер. с.-х. науки. Животноводство. – 2005. – № 12(5). – С. 6-15.

8. Болотов, А.А. Алгоритмические основы эллиптической криптографии /А.А. Болотов, С.Б. Гашков, А.Б. Фролов [и др.] – М.: МЭИ, 2004. – 499с.
9. Бударков, В.А. Математическое моделирование эпизоотической ситуации на радиоактивно загрязнённой территории (на примере лейкоза крупного рогатого скота в Челябинской области) / В.А. Бударков, А.В. Книзе, Н.А. Шкаева [и др.] // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 75 – С. 24-34.
10. Вольф, В.Т. Алгоритмические принципы в эпизоотологии / В.Т. Вольф, А.С. Донченко [и др.] // Современные проблемы эпизоотологии. – 2004. - С. 57-59.
11. Воропаева, О.Ф. Численное моделирование в медицине: Некоторые постановки задач и результаты расчётов / О. Ф. Воропаева, Ю.И. Шокин // Вычислительные технологии. – 2012. – Т.17. – № 4.
12. Гатаулин, Я.А. Численное моделирование кровотока в общей сонной артерии с S-образной извитостью / Я.А. Гатаулин, А.Д. Юхнев, М.А. Попов [и др.] // Биотехносфера. – 2013. – Т. 5. – С. 27-33.
13. Герасимов, А.Н. Модели и статистический анализ в эпидемиологии инфекционных заболеваний / А.Н. Герасимов // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2019. – № 3. – С. 80-83.
14. Герасимов, А.Н. Оценка случайных колебаний числа, инфицированных в модели «паразит-хозяин» с постоянной общей численностью / А.Н. Герасимов, М.И. Шпитонков // Исследование операций (модели, системы, решения). – 2014. – № 9. – С. 17-30.
15. ГОСТ 34.601-90 Автоматизированные системы стадии создания. М.: Стандартинформ, 2009. – 6 с.
16. ГОСТ Р 54593-2011 Информационные технологии. Свободное программное обеспечение. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2018 – 12 с.

17. Гришунина, Ю.Б. Моделирование эпидемической ситуации с учетом внешних рисков / Ю.Б. Гришунина, Н.А. Контаров, Г.В. Архарова [и др.] // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика – 2014 – № 5. – С. 61-66.

18. Данко, Ю.Ю. Эпизоотологический мониторинг инфекционных болезней животных. Современные геоинформационные технологии в эпизоотологии и эпидемиологии: методические рекомендации / Ю.Ю. Данко, А.В. Кудрявцева, В.А. Кузьмин [и др.] – СПб.: Изд-во ФГБОУ ВПО «СПбГАВМ», 2015. – 30 с.

19. Дмитренко, Н.В. Об основных требованиях к базам данных автоматизированной информационно-поисковой системы для предупреждения чрезвычайных эпизоотических ситуаций. Вопросы вет. микробиологии, вирусологии и эпизоотологии. Ч. 2 / Н.В. Дмитренко, А.В. Кнize. – Покров: ГНУ ВНИИВВиМ Россельхозакадемии, 1992. – С.237-238.

20. Дудников, С.А. АЧС: картографический анализ распространения заболевания на территории РФ. Выпуск 1 / С.А. Дудников, О.Н. Петрова, Ф.И. Коренной. – Владимир: ФГУ «ВНИИЗЖ», 2011. – 107 с.

21. Дюбе, К. Использование эпидемиологических моделей в борьбе с болезнями животных / К. Дюбе, Г. Гарнер, М. Стивенсон [и др.] // Conf. OIE. – 2007. – С. 37-49.

22. Есенбекова, А.Э. Имитационное моделирование как главный инструмент конструирования сложных процессов и систем / А.Э. Есенбекова, Л.К. Джумахметова, С.М. Дусталиева // Технические науки в России и за рубежом: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). – М.: Буки-Веди, 2017. – С. 165-167.

23. Зенин, О.К. Компьютерное моделирование гемодинамики в искривленных сосудах / О.К. Зенин, В.С. Оверко, М.В. Бескровная [и др.] // Таврический медико-биологический вестник. – 2013. – Т. 16. – С. 55-57.

24. Иванов, А.В. Актуальные проблемы биологической безопасности / А.В. Иванов // Ветеринарный врач. – 2009. – № 1. – С.2- 4.

25. Исаченко, А.Г. Природа мира: Ландшафты / А.Г. Исаченко, А.А. Шляпников – М.: Мысль, 1989. – С. 504-506
26. Карякина, О.Е. Применение математических моделей в клинической практике / О.Е. Карякина, Л.К. Добродеева, Н.А. Мартынова [и др.] // Экология человека. – 2012. – №7. -51 с.
27. Кисленко, В.И. Географическая эпизоотология / В.И. Кисленко. – СПб.: Проспект Науки, 2015. – 64 с.
28. Койко, Р. Иммунология: учебное пособие. / Р. Койко, Д. Саншайн, Э. Бенджамин; пер. с англ. А.В. Камаева, А.Ю. Кузнецовой; под ред. Н.Б. Серебряной. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
29. Коренной, Ф.И. Методические рекомендации по использованию географической информационной системы ArcGIS в эпизоотологическом анализе / Ф.И. Коренной, М.В. Дудорова, В.М. Гуленкин [и др.] – Владимир: ФГУ «ВНИИЗЖ». – 2010. – 22 с.
30. Лебедев, А.Ф. Вопросы эпизоотологии, иммунологии, разработки и совершенствования оздоровительных мероприятий при лейкозе крупного рогатого скота: дисс. ... канд. вет. наук: 16.00.03 / Лебедев Алексей Фёдорович. – Курск, 2004. – 133 с.
31. Мархасин, В.С. Биомеханика неоднородного миокарда / В.С. Мархасин, Л.Б. Кацнельсон, Л.В. Никитина и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 254 с.
32. Мархасин, В.С. Математическое моделирование в физиологии и патофизиологии сердца / В.С. Мархасин, Н.А. Викулова, В.Ю. Гурьев и др. // Вестник уральской медицинской академической науки. – 2004. – Т. 3. – С. 31-37.
33. Мерс де, М.Н. Географические информационные системы: Основы; пер. с англ. – М.: Изд-во Дата+, 1999.
34. Мингалеев, Д.В. Географическая эпизоотология / Д.В. Мингалеев, Н.В. Садыков, Р.Х. Равилов – Казань: Казанская ГАВМ, 2017. – 81 с.

35. Мирхамидова, С.М. Особенности распространенности сердечно-сосудистых заболеваний / С.М. Мирхамидова, Н.Б. Ботирова, С.А. Камбарова // Молодой ученый. – 2016. – № 21. – С. 73-76.

36. Морозова, Д.Ю. Получение рекомбинантного нуклеокапсидного белка вируса чумы мелких жвачных для применения в серодиагностике / Д.Ю. Морозова, А.Р. Иमतдинов, С.П. Живодеров [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 2. – С. 337-346.

37. Муносиб, Ш.Д. Эпизоотология чумы мелких жвачных животных в Таджикистане: дис. ... канд. ветеринар. наук: 06.02.02 / Шоназар Джилваи Муносиб. – Душанбе, 2012. – 105 с.

38. Никитин, И.Н. Организация государственного ветеринарного надзора / И.Н.Никитин. – М.:Зоомедлит. – 2010. – 263с.

39. 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. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-7-1007-1017.

40. Падило, Л.П. Оценка влияния вакцинации на эпизоотическую ситуацию по чуме мелких жвачных на различных географических территориях / Л.П. Падило, Д.В. Подшибякин, О.П. Бирюкова [и др.] // Научная жизнь. – Т. 15. – Вып. 10. – С. 1407-1416. DOI: 10.35679/1991- 9476-2020-15-10-1407-1416.

41. Падило, Л.П. Эпизоотическая ситуация по чуме мелких жвачных в мире и оценка риска заноса эмерджентной инфекции на территорию Российской Федерации // Современные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса Саратов, 01 – 02 ноября 2018 года. –С.189-191

42. Падило, Л.П., Анализ изученности, положительный опыт и рекомендации по диагностике и мерам борьбы с чумой мелких жвачных // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14. – Вып. 5 (93). – С.706-713.

43. Пермяков, А.В. Возможности применения имитационного моделирования в медицине // Международная научно-техническая

конференция «Перспективные информационные технологии». – Самара: Самарский научный центр РАН, 2016. – С. 583-585.

44. Петров, И.Б. Математическое моделирование в медицине и биологии на основе моделей механики сплошных сред / И. Б. Петров // Труды МФТИ. – 2009. – Т.1. – № 1. – С.5-15.

45. Петрова, О.Н. Методические указания по ретроспективному анализу эпизоотической ситуации / О.Н. Петрова, Н.С. Бардина, Е.Е. Ерастова [и др.] – Владимир: ФБГУ «ВНИИЗЖ», 2011. – 56 с.

46. Платонова, Т.А. Многофакторное имитационное моделирование в прогнозе заболеваемости корью на ближайшую и отдаленную перспективу / Т.А. Платонова, А.А. Голубкова, В.Н. Обабков [и др.] // Эпидемиология и инфекционные болезни. – 2018. – Т. 23, № 5. – С. 225-233.

47. Просвирнин, Г.С. Алгоритм применения ГИС в эпизоотологическом мониторинге лейкоза крупного рогатого скота в Ленинградской и Кемеровской областях: методические рекомендации / Г.С. Просвирнин, В.А. Кузьмин, М.И. Гулюкин [и др.] – СПб.: изд-во ФГБОУ ВО СПбГАВМ, 2019. – 43 с.

48. Разжевайкин, В.Н. Модели динамики популяций / В.Н. Разжевайкин. – М.: Российская академия наук, Вычислительный центр им. А.А. Дородницына, 2006. – 87 с.

49. Распоряжение Правительства РФ «О переходе федеральных органов исполнительной власти и федеральных бюджетных учреждений на свободное программное обеспечение (СПО)» от 17 декабря 2010 г. № 2299-р.

50. Ротков, С.И. Моделирование влияния геометрии анастомоза на кровоток во внутренней сонной артерии [Электронный ресурс] / С.И. Ротков, Е.В. Попов, А.С. Мухин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 2.

51. Свиридова, Н.В. Моделирование гемодинамических процессов сердечно-сосудистой системы на основе данных периферической

артериальной пульсации / Н.В. Свиридова, В.Д. Власенко // Матем. биология и биоинформ. – 2014. – № 9. – С. 195-205.

52. Свиридова, Н.В. Моделирование параметров кровотока в сосудах сердца, подвергшихся реконструктивным операциям / Н.В. Свиридова // Ученые заметки ТОГУ. – 2012. – Т.3. – С. 66-76.

53. Софроний, П.И. Эпизоотологическое картографирование в условиях Ленинградской области на примере лейкоза КРС: дис. ... канд. вет. наук: 06.02.02 / Софроний Павел Иванович: – СПб., 2013. – 137 с.

54. Шабейкин, А.А. Анализ и оценка рисков возникновения вспышек природно очаговых зооантропонозных инфекций с использованием геоинформационных технологий / А.А. Шабейкин, А.М. Гулюкин, В.В. Белименко [и др.] // М.: Агентство творческих технологий, 2018. – 40 с.

55. Ющук, Н.Д. Эпидемиология / Н.Д. Ющук, Ю.В. Мартынов. – М.: Медицина, 2003. – 448 с.

56. Янчевская, Е.Ю. Математическое моделирование и прогнозирование в эпидемиологии инфекционных заболеваний / Е.Ю. Янчевская, О.А. Меснянкина // Вестник РУДН. Серия: Медицина. – 2019. – Т. 23. – № 3. – С. 328-334.

57. Abubakar, M. Field and Molecular Epidemiology of Peste des Petits Ruminants in Pakistan / M. Abubakar, A.B. Zahur, K. Naeem [et al.] // Pakistan J. Zool. – 2018. – V. 50 (2). – P. 559-566.

58. Akram, G.R.G.N. Evaluation of variability in antibody response induced by vaccination against Peste des petits ruminants (PPR) in Malpura and Avikalin sheep / G.R.G.N. Akram, L.L.L.P.V. Prakash, C. Paswan [et al.] // Small Ruminant Research. – 2016. – V. 144. – P. 104-108.

59. Al-Majalia, A.M. Seroprevalence of and risk factors for peste des petits ruminants in sheep and goats in Northern Jordan. / A.M. Al-Majalia, N.O. Hussainb, N.M. Amarinc [et al.] // Preventive Veterinary Medicine. – 2008. – V. 85. – I. 1-2. – P. 1-8.

60. Algeria: A Country Study; ed. Metz H.C. – Washington: GPO for the Library of Congress, 1994. [Электронный ресурс]. URL: <http://countrystudies.us/algeria/46.htm> (дата обращения: 13.09.2021).
61. Ansari, A. Using Ecosystem Service Modeler (ESM) for Ecological Quality, rarity and Risk Assessment of the wild goat habitat, in the Haftad-Gholleh protected area / A. Ansari, M.H. Golabi // International Soil and Water Conservation Research. – 2019. – P. 346-353.
62. Balamurugan, V. Cross-sectional seroprevalence study of peste des petits ruminants in goats in Andaman and Nicobar Islands, India / V. Balamurugana, B. Varghesea, D. Muthuchelvanb [et al.] // Small Ruminant Research. – 2019. – V. 178 – P. 111-116.
63. Balamurugan, V. Scorecard method for assessing the severity of peste des petits ruminants in sheep and goats / V. Balamurugan, G. Govindaraj, S.S. Kumari et al. // Virusdisease – 2019. – V. 30. – I. 4. – P. 574-578.
64. Balogun, F.A. Field evaluation and confirmation of acute peste des petits ruminant outbreak in a flock of West African dwarf goats in Ibadan, Nigeria. / F.A. Balogun, O.G. Fasanmi, T.A. Oladipo [et al.] // Int. J. of Vet. Sci. Med. – 2017. – V. 5. – I. 2. – P. 175-180.
65. Banyard, A.C. Global distribution of peste des petits ruminant's virus and prospects for improved diagnosis and control / A.C. Banyard, S. Parida, C. Batten [et al.] // J. Gen. Virol. – 2010. – I. 91. – P. 2885-2897.
66. Bao, J. Evolutionary dynamics of recent peste des petits ruminant's virus epidemic in China during 2013–2014 / J. Bao, Q. Wang, L. Li [et al.] // Virology. – 2017. – V. 510. – P. 156-164.
67. Baron [et al.] A Single-Cell Transcriptomic Map of the Human and Mouse Pancreas Reveals Inter- and Intra-cell Population Structure. / M. Baron, A. Veres, R. Lancelot // Adv. Virus. Res. – 2016. – I. 95, P. 48-80.
68. Baron, M. Peste des petits ruminants virus / M. Baron, A. Diallo, R. Lancelot // Adv. Virus. Res. – 2016. – I. 95, P. 1-42.

69. Berkowitz, A. Pathological and molecular characterisation of peste des petits ruminants in Nubian ibex (*Capra nubiana*) in Israel / A. Berkowitz, N.A. Magen, A. Bouznach [et al.] // Archives of virology. – 2019. – V. 164. – № 8. – P. 1997-2003.
70. Bioclimatic variables [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldclim.org/data/bioclim.html> (дата обращения: 13.09.2021).
71. Bouchemla, F. Analysis of spatial dynamic of epizootic process of bluetongue and its risk factors / F. Bouchemla, O.M. Popova, V.A. Agoltsov // Veterinary World. – 2017. – I. 10. – P. 1173-1183.
72. 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 [et al.] // Veterinary World. – V. 11. – 2018. – P. 612-619.
73. Cao, Zh. Accepted Manuscript Risk factors and distribution for peste des petits ruminants (PPR) in Mainland China / Zh. Cao, Ya. Jin, T. Shen [et al.] // Small Ruminant Research. – 2018. – V. 162. – P. 12-16.
74. Changa, Q. Basal interferon signaling and therapeutic use of interferons in controlling peste des petits ruminant's virus infection / Q. Changa, F. Guoa, Ju. Liua [et al.] // Genetics and Evolution. – 2019. – V. 75. – P. 103981.
75. Coman, C. Risk analysis correlated with risk factors on etiology and epidemiology of bluetongue / C. Coman, M. Gonciarov // Journal of Biotechnology. – 2015. – Vol.208. – P. 5-12.
76. Cosseddu, G.M. Peste des Petits Ruminants outbreaks in Tunisia in 2016 / G.M. Cosseddu // Transbound Emerg Dis. – 2018. – V. 65(6). – P. 1416-1420.
77. Costard, S. African Swine Fever: how can global spread be prevented? / S. Costard, B. Wieland, W. de Glanville [et al.] // Philosophical Transactions of the Royal Society. – 2009. – V. 364. – P. 2683-2696.
78. Darpel, K.E. Transplacental transmission of bluetongue virus 8 in cattle, UK / K.E. Darpel, C.A. Batten, E. Veronesi et al. // Emerging Infectious Diseases. – 2009. – V.15. – P. 2025-2028.

79. Dayhum, A. Sero-prevalence and epidemiology of peste des petits ruminants in Libya / A. Dayhum, M. Sharif, I. Eldaghayes [et al.] // *Transboundary and Emerging Diseases*. – 2017. – V. 65(1). – P. e48-e54. DOI: 10.1111/tbed.12670.
80. De Clercq, K. Transplacental infection and apparently immunotolerance induced by a wild-type bluetongue virus serotype 8 natural infection / K. De Clercq, I. De Leeuw, B. Verheyden [et al.] // *Transboundary and Emerging Diseases*. – 2008. – No 55. – P. 352-359.
81. Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs) [Электронный ресурс] – London: United Kingdom. URL: <http://www.defra.gov.uk> (дата обращения 18.05.2020).
82. Demetris, A. On the heterogeneity of human populations as reflected by mortality dynamics / A. Demetris, A. Séverine, O. Vasieva [et al.] // *Aging (Albany NY)*. – 2016. – V. 8. – No. 11. – P. 3045-3064.
83. Dercksen, D. First outbreak of bluetongue in goats in The Netherlands (in Dutch) / D. Dercksen, N.G. Nibbelink, R. Paauwe [et al.] // *Tijdschrift Diergeneeskunde*. – 2007. – V. 132. – P. 786-790.
84. Dhar, P. Recent epidemiology of peste des petits ruminant's virus (PPRV) / Dhar P. et al. // *Veterinary Microbiology*. – I. 88. – P. 153-159.
85. Diallo, A. The threat of peste des petits ruminants: progress in vaccine development for disease control / Diallo A, [et al.] // *Vaccine*. – 2007. – V. 25. – P. 5591-5597.
86. Ducheyne, E. Quantifying the wind dispersal of *Culicoides* species in Greece and Bulgaria / E. Ducheyne, R. De Dencken, S. Becu [et al.] // *Geospatial Health*. – 2007. – No 2. – P. 177-189.
87. Dulac, G.C. Incursions of orbiviruses in Canada and their serologic monitoring in the native animal population between 1962 and 1991 / G.C. Dulac [et al.] // *Bluetongue, African horse sickness and related orbiviruses*. - Boca Raton: CRC Press, 1992. – P. 55-64
88. Eaton, J.W. HIV treatment as prevention: Systematic comparison of mathematical models of the potential impact of antiretroviral therapy on HIV

incidence in South Africa / J.W. Eaton, L.F. Johnson, J.A. Salomon [et al.] // PLoS Med. – 2012. – V. 9, No. 7. – P. e1001245.

89. ECDC (European Center of Disease Control) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecdc.eu.int/index.html> (дата обращения 18.05.2020).

90. EFSA (European Food Safety Authority) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.efsa.europa.eu> (дата обращения 18.05.2020).

91. Elhaig, M.M. Prevalence and molecular characterization of Peste des Petits Ruminants virus from Ismailia and Suez, Northeastern Egypt, 2014-2016 / M.M. Elhaig, A. Selim, A.S. Mandour [et al.] / Small Ruminant Research. – 2018. – V. 169. – P. 94-98.

92. Elith J. [et al.] A statistical explanation of MaxEnt for ecologists / J. Elith, S.J. Phillips, T. Hastie [et al.] // Divers. Distrib. – 2011. – V.17. – P. 43-57.

93. Encherya, F. Development of a PPRV challenge model in goats and its use to assess the efficacy of a PPR vaccine / F. Encherya, C. Hamersa, O. Kwiatekb [et al.] // Vaccine. – 2019. – V. 37. – P.1667-1673.

94. FAO – Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 18.05.2020).

95. Farmer, J.D. The immune system, adaptation and machine learning / J.D. Farmer, N.H. Packard, A.S. Perelson // Physica D. – 1986. – V. 2. – P. 187-204.

96. Fourni a, G. A dynamic model of transmission and elimination of peste des petits ruminants in Ethiopia / G. Fourni a, A. Waret-Szcutab, A. Camachod [et al.] // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2018. – V. 115, I. 33. – P. 8454-8459.

97. Furley, C.W. An outbreak of peste des petits ruminants in a zoological collection / C.W. Furley, W.P. Taylor, T.U. Obi // Vet. Rec. – 1987. – V. 121. – I. 19 – P.443-447.

98. Gargadenec, L. La peste des petits ruminants / L. Gargadenec, A. Lalanne // Bull. Serv. Zoo. – 1942. – V. 5. – P. 15-21.

99. Gibbs, E.P.J., Classification of peste des petits ruminant's virus as the fourth member of the genus Morbillivirus / E.P.J. Gibbs, W.P. Taylor, M.J.P. Lawman [et al.] // Intervirology. – 1979. – V. II. – P. 268-274.

100. Gilbert M. et al. Global Distribution Data for Cattle, Buffaloes, Horses, Sheep, Goats, Pigs, Chickens and Ducks in 2010 / M. Gilbert, G. Nicolas, G. Cinardi [et al.] // *Nature Scientific Data*. – 2018. – V.5. – P. 180227.

101. Gourapura, A.K. Immune responses to hemagglutinin-neuraminidase protein of peste des petits ruminant's virus expressed in transgenic peanut plants in sheep / A.K. Gourapura, J.R.M. Rajasekhar, G.L. Sitaa [et al.] // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. – 2011. – V. 140. – I. 3-4. – P. 291-296.

102. Gowane, G.R. Assessment of the antibody response to Peste des petits ruminants (PPR) disease vaccination in a flock of Sirohi goat kids / G.R. Gowane, N. Akram, S.S. Misra et al. // *Small Ruminant Research*. – 2016. – V. 138. – P. 20-24.

103. Hashim, N.A.O. Sero-prevalence of peste des petits ruminant's virus antibodies in sheep and goats from the Sudan, 2016–2017 / N.A.O. Hashim, M.A.I. Alwia, A.O. Rihab [et al.] // *Virus. Dis*. – 2018. – V. 29, I. 4. – P. 531-536.

104. Herzog, C.M. Pastoral production is associated with increased peste des petits ruminants seroprevalence in northern Tanzania across sheep, goats and cattle / C.M. Herzog, W.A. de Glanville, B.J. Willett [et al.] // *Epidemiology and Infection*. – 2019. – V. 147. – P. e242.

105. Jonesa, B.A. Pastoralist knowledge of sheep and goat disease and implications for peste des petits ruminant's virus control in the Afar Region of Ethiopia / B.A. Jonesa, A. Muhammed, E.T. Alib [et al.] // *Preventive Veterinary Medicine*. – 2020. – V. 174. – P. 104808.

106. Kamel, M. Toward peste des petits virus (PPRV) eradication: Diagnostic approaches, novel vaccines, and control strategies / M. Kamel, A. El-Sayed // *Virus Res*. – 2019. – V. 274. – P. 197774.

107. Kardjadja, M. Seroprevalence, distribution and risk factor for peste des petits ruminants (PPR) in Algeria / M. Kardjadja, B. Kouidri, D. Metref [et al.] // *Preventive Veterinary Medicine*. – 2015. – V. 122, I. 1-2. – P. 205-210.

108. Libeau, G et al. Evolutionary genetics underlying the spread of peste des petits ruminants virus / G. Libeau, A. Diallo, S. Parida // *Animal Frontiers*. – 2014. – V.4. – I.1. – P. 14-20.
109. Lucas, J. A versatile dual-use RT-PCR control for use in assays for the detection of peste des petits ruminants virus / J. Lucas, D. Holder, K. Dodd [et al.] // *Journal of Virological Methods*. – 2020. – V. 277. – P. 113799.
110. Lyons, N.A. Field-derived estimates of costs for Peste des Petits Ruminants vaccination in Ethiopia / N.A. Lyons, W.T. Jemberu, H. Chaka [et al.] // *Preventive Veterinary Medicine*. – 2019. – V. 163. – P. 37-43.
111. Ma, X. Analyses of nucleotide, codon and amino acids usages between peste des petits ruminant's virus and rinderpest virus / X. Ma, Q. Chang [et al.] // *Veterinary Microbiology*. – 2017. – V. 637. – P. 115-123.
112. Mariner, J.C. A thermostable presentation of the live, attenuated peste des petits ruminant's vaccine in use in Africa and Asia / J.C. Mariner, J. Gachanja, S.H. Tindih [et al.] // *Vaccine*. – 2017. – V. 35. – P. 3773-3779.
113. Markram, H. Reconstruction and simulation of neocortical microcircuitry / H. Markram, E. Muller, S. Ramaswamy [et al.] // *Cell*. – 2015. – V. 163. – P. 456-492.
114. Martin, W. *Veterinary Epidemiology: Principles and Methods* / W. Martin, A.H. Meek, P. Willeberg. – Ames: Iowa State University Press, 1987. – P. 31-40
115. Meijer J.R. et al. (2018): Global patterns of current and future road infrastructure / J.R. Meijer, M.A.J. Huijbeegts, C.G.J. Schotten [et al.] // *Environmental Research Letters*. – 2018. – V.13. – P. 064006.
116. Muhammad, A.J., Markram H. NEOBASE: databasing the neocortical microcircuit / A.J. Muhammad, H. Markram // *Stud. Health Technol. Inform.* – 2005. – V. 112. – P. 167-177.
117. Munday, J.D. Quantifying the impact of social groups and vaccination on inequalities in infectious diseases using a mathematical model / J.D. Munday,

A.J. van Hoek, W.J. Edmunds [et al.] // *BioMed Central Medicine*. – 2018. – V. 16, No. 1. – P.162.

118. NextGIS Data [Электронный ресурс]. URL: <https://data.nextgis.com/en> (дата обращения: 13.09.2020).

119. Niedbalski, W Occurrence of peste des petits ruminants and its increasing threat to Europe / W. Niedbalski // *Med. Weter.* – 2019. – V. 75(8). – P. 459-464.

120. Omani, R.N. Peste Des Petits Ruminants (PPR) in Dromedary Camels and Small Ruminants in Mandera and Wajir Counties of Kenya [Электронный ресурс] / R.N. Omani, G.C. Gitao, J. Gachohi [et al.] // *Hindawi Advances in Virology*. – 2019. – V. 2019. – 6 p.

121. Parida, M. Peste des petits ruminants / M. Parida, M. Muniraju, M. Mahapatra [et al.] // *Veterinary Microbiology*. – 2015. – V. 181. – P. 90-106.

122. Phillips S.J. et al. Maximum entropy modeling of species geographic distributions / S.J Phillips, R.P. Anderson, R.E. Shapire // *Ecol. Model.* – 2006. – V.190. – P. 231-259.

123. Railroads of the World Vmap0 [Электронный ресурс]. URL: https://services7.arcgis.com/iEMmryaM5E3wkdnU/arcgis/rest/services/Railroads_of_the_World_Vmap0/FeatureServer/0 (дата обращения: 13.09.2020).

124. Reimann, M.W. An algorithm to predict the connectome of neural microcircuits / M.W. Reimann, J.G. King, E.B. Muller // *Front. Comput. Neurosci.* – 2015. – V. 9. – P. 120.

125. Rogozhnikov, D. Scaffold Free Bio-orthogonal Assembly of 3-Dimensional Cardiac Tissue via Cell Surface Engineering / D. Rogozhnikov, P.J. O'Brien, S. Elahipanah [et al.] // *Scientific Reports*. – 2016. – V.6. – P. 39806.

126. Sakolish, C.M. A novel microfluidic device to model the human proximal tubule and glomerulus / C.M. Sakolish, G.J. Mahler // *RSC Adv.* – 2017. – V. 7. – P. 4216-4225.

127. Silva, A.C. Testing a new formulation for Peste des Petits Ruminants vaccine in Ethiopia. / A.C. Silva, M.Y. Geneviève, M. Libeau [et al.] // *Vaccine*. – 2014. – V. 32, I. 24. – P. 2878-2881.
128. Solovyova, O. Mechanical interaction of heterogeneous cardiac muscle segments in silico: effects on Ca²⁺ handling and action potential / O. Solovyova, N. Vikulova, L.B. Katsnelson et al. // *Int. J. of Bifurcation & Chaos*. – 2003. – V.13. – P. 3757-3782.
129. Tagoa, D. Application to peste des petits ruminants (PPR) vaccination in Senegal / D. Tagoa, B. Sall, R. Lancelot [et al.] // *Veterinary Microbiology*. – 2017. – V. 206. – P. 91-101.
130. Technical Disease Card. Peste des Petits Ruminants [Электронный ресурс] – Paris: World Organization for Animal Health (OIE), 2009. URL: www.oie.int (дата обращения: 18.05.2020).
131. Terrestrial Animal Health Code. Article 14.7.1 [Электронный ресурс] – Paris: World Organization for Animal Health (OIE), 2019. URL: https://www.oie.int/index.php?id=169&L=0&htmfile=chapitre_ppr.htm (дата обращения: 18.05.2020).
132. Thrusfield, M. *Veterinary Epidemiology: 1st Edition* / M. Thrusfield. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1986. – P. 55-62
133. Wanga, Q. M protein is sufficient for assembly and release of Peste des petits ruminant's virus-like particles / Q. Wanga [et al.] // *Microbial Pathogenesis*. – 2017. – V. 107. – P. 81-87.
134. Wiatek, O.K Peste des Petits Ruminants (PPR) Outbreak in Tajikistan / O.K. Wiatek, C. Minet [et al.] // *Journal of Comparative Pathology*. – 2007. – V. 136, I. 2-3. – P. 111-119.
135. World Animal Health Information Database (WAHID) Interface, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oie.int/en/animal-health-in-the-world/the-world-animal-health-information-system/the-world-animal-health-information-system/> (дата обращения: 18.05.2020).

136. Wu, X. Peste des Petits Ruminants Viruses Re-emerging in China, 2013-2014 / X. Wu, L. Li, J. Li [et al.] // *Transboundary and emerging diseases*. – 2016. – V. 63, I. 5. – P. 441- 446.

137. Xiao, M.J. Spatiotemporal pattern of peste des petits ruminants and its relationship with meteorological factors in China / M.J. Xiao, J.L. Han, G.X. Chen [et al.] // *Preventive Veterinary Medicine*. – 2017. – V.147. – P. 194-198.

138. Yirgaa, A. Post-vaccination herd immunity against peste des petits ruminants and inter-vaccination population turnover in small ruminant flocks in northwest Ethiopia / A. Yirgaa, W.T. Jemberub, N. Lyonsc [et al.] // *Preventive Veterinary Medicine*. – 2020. – V. 174. – P. 104850.

139. Yousuf, R.W. Development of a single-plate combined indirect ELISA (CI-ELISA) for the detection of antibodies against peste-des-petits-ruminants and bluetongue viruses in goats / R.W. Yousuf [et al.] // *Small Ruminant Research*. – 2015. – V.124. – P. 137-139.

140. Yua, R. Fine mapping and conservation analysis of linear B-cell epitopes of peste des petits ruminant's virus hemagglutinin protein / R. Yua [et al.] // *Veterinary Microbiology*. – 2017. – V.208. – P. 110-117.