

Казахский агротехнический исследовательский университет
имени С. Сейфуллина

УДК 619:616.9:578.824.1(043.3)

На правах рукописи

КАБЖАНОВА АНАР МАГЖАНОВНА

**Влияние природно-климатических и социально-экономических факторов
на эпизоотический процесс бешенства**

6D120200 – Ветеринарная санитария

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант
доктор ветеринарных наук,
академик НАН РК
С.К. Абдрахманов

Зарубежный научный консультант
доктор PhD
Т. Якубовский

Республика Казахстан
Астана, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	7
ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	15
1.1 Современное состояние бешенства как трансграничной зоонозной инфекции.....	15
1.2 Экологические и климатические детерминанты эпизоотического процесса бешенства.....	18
1.3 Социально-экономические детерминанты распространения бешенства.....	22
1.4 Пространственный подход в изучении бешенства: от картирования к анализу риска.....	24
1.5 Профилактика бешенства в условиях пространственной неоднородности.....	27
2 СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	34
2.1 Материалы и методы исследований.....	34
2.1.1 Материалы исследований.....	34
2.1.2 Методы исследований.....	34
2.2 Результаты исследований.....	48
2.2.1 Создание информационной базы данных об эпизоотической ситуации по бешенству животных за последние 10 лет (2013-2024).....	48
2.2.2 Выявление закономерностей развития эпизоотического процесса бешенства на основе аналитической обработки базы данных по бешенству животных с использованием инструментов ArcGis Pro.....	52
2.2.2.1 Общая визуализация очагов бешенства с 2013 по 2024 гг.....	52
2.2.2.2 Анализ видовых особенностей распространения бешенства животных.....	53
2.2.2.3 Мультивариативный анализ очагов бешенства животных.....	55
2.2.2.4 Анализ по типу местности.....	57
2.2.2.5 Анализ сезонности случаев бешенства животных.....	58
2.2.3 Пространственный анализ бешенства животных.....	58
2.2.3.1 Пространственная автокорреляция (индекс Морана I).....	58
2.2.3.2 Кластерный анализ и анализ выбросов (Anselin Local Moran' I)....	60
2.2.3.3 Анализ горячих точек бешенства животных.....	61
2.2.3.4 Оценка плотности точечных данных бешенства животных (Kernel Density).....	62
2.2.3.5 Пространственно-временной анализ бешенства животных (Space Time Kernel Density).....	63
2.2.3.6 Факторный анализ бешенства с использованием инструментов Geoprocessing программы Arcgis Pro.....	64

2.2.4	Определение развития эпизоотологического процесса бешенства животных при воздействии природно-климатических факторов...	65
2.2.5	Идентификация пространственных кластеров с оценкой плотности населения с помощью ПО «Satscan».....	74
2.2.6	Зонирование Республики Казахстан по риску бешенства животных.....	78
2.2.7	Пространственное прогнозирование и моделирование бешенства животных.....	80
2.2.8	Анализ ветеринарных мероприятий против бешенства животных в Казахстане в 2021-2024 гг.....	83
2.2.9	Разработка плана профилактических мероприятий против бешенства в Республике Казахстан.....	89
2.2.10	Обсуждение полученных результатов.....	91
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	103
	ПРИЛОЖЕНИЕ А – Сертификаты об участии в конференциях.....	111
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Публикации в научных изданиях, входящих в международные информационные ресурсы Web of science и Scopus.....	113
	ПРИЛОЖЕНИЕ В – Публикации в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки (КОКСОН).....	116
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Публикации в материалах международных конференций.....	119
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Разработка и внедрение методической рекомендации по повышению эффективности профилактических мероприятий против бешенства животных.....	122
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Акты внедрения.....	124

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан. Об утверждении Правил планирования и проведения ветеринарных мероприятий против особо опасных болезней животных: утв. 30 июня 2014 года, №16-07/332.

Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан. Об утверждении нормативных правовых актов в области ветеринарии: утв. 30 октября 2014 года, №7-1/559.

Перечень особо опасных болезней, диагностика, профилактика и ликвидация которой проводится за счет средств республиканского бюджета.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Автохтонный – относящийся к объектам, происхождение и формирование которых исторически связано с данной территорией.

База данных – структурированная совокупность взаимосвязанных данных, организованных по формализованным правилам для хранения, обработки и анализа информации.

Биогеоценоз – экологически целостная система, представляющая собой относительно однородный по геологическим и климатическим условиям участок земной поверхности с устойчивым сообществом живых организмов и их средой обитания.

Геоинформационная система (ГИС) – совокупность взаимосвязанных аппаратных, программных и организационных средств с участием пользователя, предназначенная для получения, хранения, обработки, анализа, визуализации и распространения пространственно-координатной информации, а также для интеграции разнородных данных и знаний о территории, обеспечивающих их рациональное использование при решении научных и прикладных задач инвентаризации, пространственного анализа, моделирования, прогнозирования, управления состоянием окружающей среды и оптимизации территориальной организации общества.

Заболеваемость (инцидентность) – эпидемиологический показатель, характеризующий частоту возникновения новых случаев заболевания в определённой популяции за строго заданный период времени

Клада – монофилетическая группа организмов, включающая общего предка и всех его прямых потомков.

Коэффициент очаговости – аналитический показатель, отражающий усреднённое количество заболевших животных, приходящееся на один выявленный эпизоотический очаг либо неблагополучную в эпизоотическом отношении территориальную единицу.

Паттерн – устойчивая конфигурация пространственных, временных либо пространственно-временных проявлений, формирующая регулярность повторения наблюдаемого явления в эпизоотическом процессе.

Превалентность – интегральный показатель, характеризующий совокупную численность инфицированных или являющихся носителями возбудителя животных в пределах популяции на фиксированную дату либо за заданный временной отрезок.

Предиктор – фактор или параметр, выступающий в роли независимой переменной и используемый для количественной оценки или прогнозирования вероятности возникновения и развития эпизоотических явлений.

Пространственный анализ – комплекс аналитических приёмов, направленных на выявление закономерностей размещения эпизоотологических данных и исследование взаимосвязей между объектами, локализованными в географическом пространстве.

Резервуарный вид – биологический вид животных, в популяции которого возбудитель инфекции способен длительно сохраняться, поддерживать циркуляцию и обеспечивать эпидемиологическую устойчивость без полного элиминационного вымирания.

Риск в эпизоотологии – количественная оценка вероятности возникновения очагов инфекционного заболевания и их последующего распространения среди животных в пределах определённой территории и временного интервала.

Цифровая модель эпизоотического процесса – многоуровневая программно-аналитическая система, объединяющая структурированные эпизоотологические данные, инструменты пространственно-временного моделирования и формализованные правила, описывающие динамику распространения инфекции.

Шейп-файл – векторный формат представления геопространственной информации без явной топологической структуры, предназначенный для хранения геометрии объектов (точек, линий, полигонов) и связанных с ними атрибутов.

Эпизоотический кластер – пространственно и экологически обусловленная зона, в пределах которой обеспечивается долговременная циркуляция возбудителя за счёт устойчивого существования популяций резервуарных животных под воздействием постоянных инфекционных и природных факторов.

Эпизоотологическая база данных – систематизированный массив сведений, предназначенный для накопления, анализа и интерпретации информации о параметрах и динамике эпизоотического процесса.

Эпизоометрические данные – совокупность количественных показателей, полученных в результате эпизоотологического наблюдения и выраженных в унифицированных измерительных единицах для последующего анализа.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БД	– База данных
КХ	– Крестьянское хозяйство
СХ	– Сельскохозяйственные (животные)
РК	– Республика Казахстан
НРЦВ	– Национальный референтный центр по ветеринарии
МСХ РК	Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан
ГИС	– Геоинформационная система
СДС	– Система добровольной сертификации
ВОЗ	– Всемирная организация здравоохранения
СНГ	– Содружество независимых государств
ПО	– Программное обеспечение
KDE	– Kernel density estimation
ИКТ	– Информационно-коммуникационные технологии
КВКН	– Комитет ветеринарного контроля и надзора Министерства
МСХ РК	сельского хозяйства Республики Казахстан
О/Е	– Observed/expected
AUC	– Area Under the ROC Curve
BIOCLIM	– Биоклиматические характеристики

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Бешенство относится к числу особо опасных инфекционных заболеваний животных, характеризующихся природно-очаговым типом циркуляции возбудителя, абсолютной летальностью и выраженным межвидовым потенциалом передачи. Широкий спектр резервуарных хозяев, включающий как домашних, так и диких млекопитающих, обуславливает устойчивость эпизоотического процесса и формирование длительно функционирующих нозоареалов. Зоонозный характер инфекции придаёт проблеме дополнительную социальную значимость, поскольку даже единичные эпизоотические события способны трансформироваться в эпидемиологические риски для населения. В этой связи бешенство занимает особое место в системе биологической безопасности и требует постоянного научного сопровождения со стороны ветеринарной эпизоотологии и смежных дисциплин.

На территории Республики Казахстан профилактика и контроль бешенства реализуются в рамках государственных программ, финансируемых за счёт республиканского бюджета и включающих вакцинацию домашних и сельскохозяйственных животных, мониторинг эпизоотической ситуации, регулирование численности безнадзорных животных и проведение оральной иммунизации диких плотоядных. Несмотря на снижение интенсивности отдельных вспышек и общее улучшение управляемости процесса, достижение устойчивого эпизоотологического благополучия остаётся недостижимым. С 2000-х годов заболевание продолжает регистрироваться ежегодно, демонстрируя волнообразную динамику с периодическим ростом числа случаев, что указывает на сохранение активных природных очагов. Значительная площадь нозоареала, ландшафтно-климатическая неоднородность территории и высокая скорость обновления популяций резервуарных видов существенно осложняют формирование коллективного иммунитета, особенно в дикой фауне, и ограничивают эффективность унифицированных профилактических схем.

Сохраняющаяся напряжённость эпизоотической ситуации сопровождается существенными экономическими и социальными издержками, связанными как с прямыми потерями в животноводстве, так и с необходимостью проведения постконтактной профилактики у людей при каждом случае потенциально опасного контакта с животными. В этих условиях становится очевидной недостаточность традиционных подходов, ориентированных преимущественно на количественное наращивание профилактических мероприятий без учёта пространственной структуры эпизоотического процесса. Актуальной научной задачей является разработка и внедрение методов, позволяющих интегрировать эпизоотологические, экологические и пространственно-временные данные для более точного выявления зон повышенного риска и оптимизации стратегии профилактики. Решение данной задачи имеет принципиальное значение для повышения эффективности противоэпизоотических мероприятий и перехода от реактивной

модели контроля бешенства к управлению рисками на научно обоснованной основе.

Диагностика, профилактика и ликвидация бешенства, входящего в Перечень особо опасных болезней, проводится за счет средств республиканского бюджета, где соответствующие мероприятия осуществляются согласно компетенции государственных ветеринарных организаций. При этом, ввиду рутинности и загруженности, деятельность каждой организации направлена на выполнение конкретно возложенных обязательств, соответственно, взаимодействие структур происходит лишь в рамках передачи сведений для проведения следующих соответствующих мероприятий, в следствие чего теряется общая связь, способствующая определению реальных причин распространения заболевания. В определении причин возникновения или распространения бешенства очень важен источник инфекции, однако до нас доходят сведения лишь при фактическом обнаружении и лабораторном подтверждении вируса, чему способствует клиническое проявление симптомов заражения, зачастую у «тупиковых» носителях вируса, такие как сельскохозяйственные виды животных. Так при создании развернутой базы данных, а именно при сборе и структурировании данных был установлен ряд пробелов, которые могут исказить результаты анализа, такие как неполнота данных, необходимых для определения закономерностей распространения бешенства (дни, месяцы), не точность в количестве зараженных животных (случаях) в очаге, отсутствие информации по виду животного и в целом отсутствие исчерпывающих и полных сведений по очагам среди диких животных. Следовательно, крайне важно наличие, точность и достоверность первоисточников (акты экспертизы, постановлений инспекторов и другие подтверждающие документы), на основе которых составляется БД.

Цель - выявление закономерностей эпизоотического процесса бешенства животных под влиянием природно-климатических и социально-экономических факторов с применением ИКТ.

Задачи исследований:

1. Сформировать структурированную базу данных по бешенству животных, включающую эпизоотологические, территориальные и видовые характеристики (локализация очагов, координаты, видовой состав и численность животных).
2. Провести пространственный и пространственно-временной анализ эпизоотического процесса бешенства с использованием современных ГИС-технологий.
3. Оценить влияние природно-климатических, социально-экономических и абиотических факторов на динамику и особенности распространения бешенства животных.
4. Выполнить зонирование территории Республики Казахстан по уровню эпизоотического риска бешенства и осуществить пространственное прогнозирование его распространения.

5. Проанализировать эффективность проводимых ветеринарных мероприятий против бешенства животных и разработать практические рекомендации по их совершенствованию с учётом выявленных пространственных закономерностей.

Научная новизна диссертационной работы. В Казахстане на протяжении нескольких десятилетий проблема бешенства остается в центре научного внимания, которой посвящены множество исследований, ежегодно осуществляется комплексный эпизоотолого-эпидемиологический надзор, молекулярно-генетические и другие исследования. При этом практически в каждом научном труде подчеркивается значимость изучения влияния различных факторов - географических, экологических, природно-климатических, социально-экономических - на распространение бешенства и возникновение новых очагов в ранее благополучных регионах. Очевидно, что искоренение бешенства требует новых научно-обоснованных подходов и регулярного анализа, учитывающего изменяющиеся условия окружающей среды, которые оказывают прямое или косвенное влияние на составляющие концепции Единого здоровья «One health»: «животное – человек – экосистема».

Научная новизна данной работы заключается в комплексной интеграции пространственного, сезонного, температурного и видоспецифичного анализа очагов бешенства животных в Казахстане за 2013–2024 гг. с использованием современных ГИС-технологий (ArcGIS Pro, SaTScan, Kernel Density, Moran's I, Getis-Ord Gi*), что впервые позволило выявить устойчивые геоэпидемиологические кластеры с учетом климатических аномалий, сезонности и плотности населения, а также предложить научно обоснованную стратегию профилактики с учётом территориальной специфики и межвидовых циклов передачи.

Практическая ценность. Исследование любой болезни невозможно без подтвержденных первичных данных о заболевании, включающие такую базовую информацию как место, время, количество и вид заболевших животных, где правильно собранные статистические данные играют основополагающую и значительную роль в научном анализе для определения закономерностей развития эпизоотического процесса, и в последствии для проведения необходимых профилактических мероприятий. Разработанная геопространственная база данных и результаты пространственного и пространственно-временного анализа позволяют осуществлять риск-ориентированное зонирование территорий, выявлять приоритетные очаги и оптимизировать планирование профилактических ветеринарных мероприятий, включая адресную вакцинацию с учётом видоспецифичных и территориальных особенностей эпизоотического процесса. Для реализации указанных задач впервые была собрана, унифицирована и структурирована совокупность официальных данных по бешенству животных, включающая сведения от этапа лабораторного подтверждения до материалов эпизоотологического мониторинга (НРИЦВ МСХ РК), что позволило сформировать единую репрезентативную информационную базу. Сформированная база данных содержит полные сведения о зарегистрированных случаях бешенства на

территории Республики Казахстан за 2013–2024 гг. (дата регистрации, вид и количество животных, точные географические координаты очагов и иные эпизоотологические характеристики) и обеспечивает возможность проведения комплексного статистического, пространственного и пространственно-временного анализа с применением современных прикладных программ и инструментов ГИС.

Использование сформированной электронной базы данных позволило провести комплексный анализ эпизоотологических показателей с учётом временной динамики, видовой структуры, административно-территориального размещения очагов инфекции и природно-климатических характеристик соответствующих территорий, что создало методологическую основу для моделирования и прогнозирования эпизоотического процесса бешенства.

С применением функциональных возможностей ArcGIS Pro были сформированы необходимые растровые и векторные слои пространственных данных с использованием общедоступной информации портала ArcGIS Online и других официальных источников. На их основе выполнен пространственный и пространственно-временной анализ эпизоотического процесса бешенства, включающий изучение особенностей распространения эпизоотических волн, кластерной структуры нозоареала, динамики изменений пространственной плотности вспышек, выявление стохастических зон локализации природных очагов, а также оценку влияния природно-климатических и социально-экономических факторов на формирование эпизоотического процесса.

Параллельно проведён анализ эффективности ветеринарных мероприятий против бешенства животных в сопоставлении с результатами пространственного анализа. Полученные данные представлены в виде тематических карт, что обеспечило наглядную визуализацию и аналитическую оценку изучаемых показателей, а также позволило выявить сильные и уязвимые стороны проводимой профилактической вакцинации.

Зонирование территории Республики Казахстан по риску бешенства животных выполнено с использованием метода максимальной энтропии на основе отбора геопространственных переменных, потенциально влияющих на вероятность возникновения вспышек заболевания, включая ландшафтные, социально-экономические и климатические факторы.

На основании результатов многолетнего эпизоотологического анализа, пространственного моделирования и выявленных закономерностей были разработаны научно обоснованные рекомендации по повышению эффективности профилактических ветеринарных мероприятий, оформленные в виде проекта Плана специфической профилактики бешенства животных на 2026 год с учётом пространственных кластеров, сезонности, температурных аномалий и видоспецифичных особенностей заболевания.

Таким образом, результаты диссертационного исследования имеют прикладную направленность и могут быть использованы для совершенствования системы профилактики и контроля бешенства животных в Республике Казахстан. Применение геоинформационных технологий и пространственно-временного анализа обеспечивает объективную оценку

эпизоотического риска, позволяет оптимизировать планирование ветеринарных мероприятий и повысить эффективность профилактической вакцинации с учётом территориальных, видоспецифичных и природно-климатических особенностей эпизоотического процесса.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Сформирована детализированная геопространственная база данных по бешенству животных в Республике Казахстан за 2013–2024 гг., включающая эпизоотологические характеристики очагов инфекции, видовую структуру и численность заболевших животных, координаты вспышек, а также сопутствующие природно-климатические и социально-экономические показатели, обеспечивающая информационную основу для комплексного анализа эпизоотического процесса.

2. На основе современных ГИС-технологий (ArcGIS Pro, SaTScan) выполнен пространственный и пространственно-временной анализ эпизоотического процесса бешенства, позволивший выявить устойчивые территориальные и видоспецифичные кластеры, оценить динамику изменения пространственной плотности очагов и особенности распространения эпизоотических волн.

3. Установлены эпизоотологические закономерности формирования и развития бешенства животных под воздействием природно-климатических и социально-экономических факторов, определены стохастические зоны локализации природных очагов и выполнено комплексное зонирование территории Республики Казахстан по уровню эпизоотического риска.

4. Разработаны научно-обоснованные рекомендации по совершенствованию профилактических ветеринарных мероприятий против бешенства животных, основанные на результатах пространственного анализа и предусматривающие дифференцированный подход к вакцинации с учётом пространственно-временных закономерностей, видовой специфики и факторов внешней среды, что позволяет повысить эффективность и адресность профилактики в эпизоотически неблагополучных регионах.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на международных, региональных и отраслевых научных конференциях и съездах:

Результаты исследований доложены на научных конференциях:

– международной научно-практической конференции «120 лет казахской ветеринарной науке: достижения и новые вызовы в обеспечении биологической безопасности» (Алматы: ТОО «КазНИВИ», 2025. – С. 279-284);

– международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения - 18(2): «Наука XXI века - эпоха трансформации» (2022. – Т. 1, ч. 2. – С. 284-286);

– международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию С. Сейфуллина (2024. – Ч. 1. – Б. 57-60), (Приложение А);

– юбилейной международной научно-практической конференции «Научные основы повышения продуктивности и здоровья сельскохозяйственных животных» ФГБНУ КНЦЗВ (Краснодар, 2019. – С. 3-7);

- 16th international symposium On Geospatial Health University of Twente (The Netherlands 2023 – 13-16 November);
- 17th international symposium on Veterinary Epidemiology and Economics, (Sydney, 2024);

– 1-ом Казахстанско-Китайском академическом форуме по ветеринарии (НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, 2022), (Приложение А).

Публикация результатов исследования. Основные показатели исследований отражены в 14 печатных работах, 3 из которых опубликованы в международных рецензируемых журналах (Приложение Б), 7 статей в журналах, рекомендованных Комитетом обеспечения качества в сфере науки и высшего образования Министерства образования и науки Республики Казахстан (Приложение В), 4 в материалах международных конференций (Приложение Г), разработана методическая рекомендация, рассмотренная на заседании научно-технического совета НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (протокол №7, от 20.06.2025г.) и издана типографским способом (Приложения Д, Е).

Связь работы с научно-исследовательскими программами. Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации государственных и программно-целевых научных проектов, направленных на обеспечение ветеринарного благополучия и совершенствование системы профилактики особо опасных инфекционных болезней животных в Республике Казахстан, в том числе:

– проекта BR06249242 «Научное обеспечение ветеринарного благополучия и пищевой безопасности» (2018–2020), выполнявшегося на базе ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», в рамках которого осуществлялся сбор и первичная систематизация эпизоотологических данных;

– проекта BR10765016 «Изучить эпизоотологическую характеристику территории страны по особо опасным болезням и разработать ветеринарно-санитарные мероприятия по повышению их эффективности» (2021-2023), в ходе которого проводился анализ пространственной структуры эпизоотического процесса и оценка эффективности ветеринарных мероприятий, в рамках которого разработаны и апробированы ГИС-ориентированные подходы, методы пространственного моделирования и прогнозирования эпизоотического риска;

– проекта AP19679670 «Совершенствование профилактических мероприятий против инфекционных болезней животных (на примере бешенства) на основе применения информационно-коммуникационных технологий» (2023-2025), в ходе которого проводился анализ пространственной структуры эпизоотического процесса и оценка эффективности ветеринарных мероприятий.

Полученные в ходе реализации указанных проектов результаты послужили научной и методологической основой диссертационного исследования, обеспечив его комплексный характер, прикладную

направленность и соответствие приоритетным направлениям развития ветеринарной науки в условиях цифровизации (Приложение Е).

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 110 страницах компьютерного текста. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов, результатов собственных исследований, обсуждения и заключения, списка использованных источников и приложений. Работа содержит 114 источников использованной литературы, 15 таблиц и 48 рисунков.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Современное состояние бешенства как трансграничной зоонозной инфекции

Бешенство в настоящее время рассматривается не только как классическая особо опасная зоонозная инфекция, но и как комплексная глобальная проблема, находящаяся на стыке ветеринарной медицины, общественного здравоохранения и экологии, формируемая тесным взаимодействием человека и животных, богатым биоразнообразием и экологическими нарушениями [1]. Согласно актуальным данным Всемирной организации здравоохранения, опубликованным в 2021–2024 гг., бешенство входит в 20 заболеваний, требующих первоочередного внимания, где по данным дорожной карты (суммарные показатели DALY) ежегодно более 200 000 человек умирают только от поражения змеиным ядом, бешенства и лихорадки денге [2, 3], при этом только бешенство становится причиной более 59 000 смертей среди людей, где свыше 95% летальных исходов регистрируется в странах с низким и средним уровнем дохода, а основным источником инфекции остаются животные, прежде всего собаки и дикие плотоядные виды [4, 5]. Несмотря на то, что заболевание полностью предотвратимо с помощью вакцинации, бешенство продолжает сохранять статус одной из наиболее смертоносных инфекций, что обусловлено сочетанием биологических особенностей вируса, устойчивостью эпизоотических очагов и выраженной территориальной неоднородностью распространения. Вирус бешенства характеризуется высокой нейротропностью, длительным и вариабельным инкубационным периодом, а также практически стопроцентной летальностью после появления клинических признаков, что придаёт эпизоотологическому контролю заболевания первостепенное значение [6, 7]. Современные исследования подчёркивают, что эпизоотический процесс бешенства формируется в результате сложного взаимодействия популяций восприимчивых животных, природных экосистем и антропогенных факторов, включая изменение ландшафтов, урбанизацию, миграцию людей и животных, а также социально-экономические условия содержания и контроля домашних и диких животных [5, р. e0003709; 7, р. 17091; 8]. Особое значение в глобальной эпизоотологии бешенства принадлежит природно-очаговым формам инфекции, связанным с циркуляцией вируса в популяциях диких плотоядных животных, таких как лисицы, шакалы, волки и енотовидные собаки, которые обеспечивают длительное существование и пространственную устойчивость очагов независимо от уровня вакцинации домашних животных [7, р. 17091; 8, р. 983-988; 9]. Именно сохранение таких очагов рассматривается как одно из ключевых препятствий на пути к глобальной ликвидации бешенства. В ответ на сохраняющееся бремя заболевания в 2018 году Всемирная организация здравоохранения совместно с FAO, WOAH и UNICEF инициировала глобальную стратегию “Zero by 30”, направленную на полное прекращение смертей людей от бешенства, передаваемого собаками, к 2030 году [10, 11]. Данная стратегия подчёркивает необходимость интеграции ветеринарных и

медицинских мер, усиления эпизоотологического надзора, а также перехода от универсальных подходов к территориально и экологически ориентированным моделям контроля. При этом в официальных документах ВОЗ последних лет отдельно отмечается, что успешная реализация программ ликвидации бешенства невозможна без глубокого понимания пространственно-временных закономерностей эпизоотического процесса и факторов, определяющих его устойчивость в конкретных регионах мира [10, р. 343-362; 11, р. 2-58].

В последние два десятилетия эпизоотический процесс бешенства демонстрирует географическое смещение очагов и изменение структуры резервуаров вируса, что фиксируется как в глобальных, так и в региональных эпидемиологических данных; традиционно доминировавший городской тип бешенства, связанный с бездомными собаками, в ряде стран Европы и Северной Америки снизился до <10% случаев за период 2000–2020 гг., тогда как доля природно-очагового бешенства, связанного с дикими плотоядными (лисицы, волки, енотовидные собаки), в указанных регионах достигла более 80% от общего числа зарегистрированных случаев заболевания животных [12, 13]. Результаты ранее проведённых исследований свидетельствуют о выраженной тенденции к росту регистрации случаев бешенства среди популяций лисиц на территории Ближнего Востока и Центральной Азии в период 2013–2022 гг. [14, 15]. Изученные источники [16, 17] дополняют эти наблюдения и указывают на ведущую роль лисиц в эпизоотическом процессе бешенства в странах Азии, где на их долю приходится наибольшая доля лабораторно подтверждённых случаев (78,3%). При этом грызуны, в частности крысы, крайне редко вовлекаются в циркуляцию вируса бешенства, однако риск инфицирования при укусе не может быть полностью исключён и требует эпидемиологической настороженности [16, р. 1-8]. Анализ структуры заболеваемости среди сельскохозяйственных животных показывает, что крупный рогатый скот чаще других выступает в роли тупикового хозяина вируса, что, вероятно, обусловлено пространственной близостью животноводческих хозяйств к природным биотопам диких хищников и домашним собакам [18]. В ряде регионов Китая заражение скота связано преимущественно с укусами инфицированных лисиц и енотовидных собак, в связи с чем в зонах повышенного эпизоотического риска обосновано применение лицензированных вакцин для сельскохозяйственных животных [19]. Эти сдвиги коррелируют с изменениями природных ландшафтов, миграцией диких популяций и антропогенной трансформацией среды, что обуславливает не только пространственное расширение ареалов циркуляции вируса, но и формирование новых трансграничных эпизоотических очагов на стыке экосистем [20, 21].

В ряде стран Аравийского полуострова, включая Саудовскую Аравию и Оман, ключевую роль в формировании эпизоотического бремени бешенства играет контакт между дикими животными и сельскохозяйственным скотом, особенно в приграничных с пустынными экосистемами районах [18, р. 100103; 22]. Сложившаяся эпизоотическая ситуация обосновывает необходимость внедрения физических барьерных мер и регулярного эпизоотологического

наблюдения за популяциями диких животных вблизи объектов животноводства [18, р. 100103]. В противоположность этому, в странах с устойчивой эндемичностью бешенства, таких как Индия и Китай, сохраняется доминирующая роль собак в поддержании циркуляции вируса, что обуславливает необходимость усиления нормативного контроля за вакцинацией, реализации программ регулирования численности безнадзорных животных и проведения системных просветительских мероприятий среди населения [23-25]. Одновременно страны Юго-Восточной Азии характеризуются более сложной эпизоотологической обстановкой, связанной с трансграничным распространением вируса и участием диких резервуарных видов, что подчёркивает значимость межгосударственной координации и согласованных мер эпизоотического контроля на региональном уровне [18, р. 100103].

Исследования биологии вируса бешенства подтверждают, что циркулирующие генетические линии меняются под влиянием контактов между популяциями видов-резервуаров и изменчивости окружающей среды, что отражено в распределении вирусных кластеров на больших территориях [26]. Филогенетический анализ 94 полевых изолятов RABV, собранных с 2009 по 2022 год в 13 регионах европейской России, показал принадлежность 54 изолятов к генетической группе С и 40 - к группе D. При этом вирусы группы D демонстрировали более ограниченное географическое распространение и, вероятно, мигрировали из стран Восточной Европы (Венгрия) в северо-восточные и центральные регионы России, тогда как вирусы группы С постепенно замещают D в некоторых областях с 2014–2015 годов, что указывает на динамическое изменение циркулирующих линий RABV [27]. В Южном и Западном Казахстане были обнаружены изоляты RABV с высокой степенью идентичности (>99 %) к вирусам группы С из центральной части европейской России, включая изоляты от крупного рогатого скота и летучих мышей в 2014 и 2021 годах, что указывает на возможную межвидовую передачу и миграцию вируса на значительные расстояния [27, р. 2526]. В Азии и Восточной Европе, включая территорию Казахстана, генетический анализ вируса показывает преобладание нескольких линий *Lyssavirus*, характерных для природно-очаговых форм, при этом локальные штаммы, выявляемые в волках и лисицах, генетически близки к циркулирующим популяциям в соседних регионах России и Китая, что свидетельствует о трансграничной динамике распространения бешенства [27, р. 2526; 28]. В Казахстане 30 из 31 исследованных штаммов RABV относились к субкладе ST внутри клады *Cosmopolitan* и преимущественно выделялись у лис, собак и крупного рогатого скота, распространяясь вдоль восточных, северных и западных границ страны, тогда как один штамм, обнаруженный у собаки на юге Казахстана (Rab-228), принадлежал к другому субкладу [28, р. 1266-1274]. В Казахстане эпизоотологическая ситуация характеризуется устойчивой циркуляцией вируса во всех природно-климатических зонах с ежегодным возникновением очагов в степных, лесостепных и предгорных районах; доля природно-очагового бешенства в структуре животных случаев превышает 70%, а локальные

вспышки чаще коррелируют с миграциями диких плотоядных, чем с плотностью собак в населённых пунктах [29, 30]. Эти факты отражают современное состояние бешенства как трансграничной зоонозной инфекции, где пространственные и биологические характеристики эпизоотического процесса зависят от динамики популяций резервуаров, экологических изменений и активного межрегионального обмена вирусами.

С учётом концепции *One Health*, глобальное бремя бешенства остаётся значимым, однако современные достижения в ветеринарной инфраструктуре, широкое внедрение профилактической вакцинации животных и совершенствование эпизоотического надзора позволяют существенно снижать риск передачи вируса человеку [31, 32]. При активной интеграции мер охраны здоровья животных, контроля за популяциями домашних и диких животных, а также применения пространственных и прогнозных методов анализа возможно сокращение числа новых очагов и локализация эпизоотического процесса, несмотря на рост населения, изменение климата и расширение человеческой деятельности в природные экосистемы [33]. Таким образом, комплексный подход, объединяющий ветеринарные, экологические и социально-экономические стратегии, обеспечивает реальную возможность контроля и постепенного снижения глобального эпизоотического и медико-биологического риска бешенства.

1.2 Экологические и климатические детерминанты эпизоотического процесса бешенства

Экологические и климатические факторы играют существенную роль в формировании пространственно-временных паттернов эпидемий бешенства и детерминируют изменения интенсивности и распространённости этого зооноза в различных природно-климатических условиях [34]. Климатические факторы, включая среднегодовую температуру и другие погодные переменные, существенно влияют на пространственное распределение случаев бешенства, подтверждая значимость климатических детерминант в эпидемиологии этой инфекции [34, p. 526]. Исследования K Marie McIntyre показывают, что многие патогены животных, включая вирус бешенства, чувствительны к климатическим условиям, таким как температура, осадки и влажность, что влияет на их циркуляцию и активность в природных очагах; до двух третей патогенов людей и животных в Европе демонстрируют такую зависимость, подчеркивая важность учёта климатических факторов при оценке эпизоотического риска [35]. Экологические факторы, включая высоту над уровнем моря, годовые осадки, индекс нормализованной разности вегетации (NDVI), среднегодовую температуру и расстояние до крупных рек, оказались более значимыми для объяснения распределения случаев бешенства у человека в Китае по моделям BRT [21, p. 2544-2552], чем большинство антропогенных факторов, таких как удалённость от основных дорог, ВВП на душу населения или плотность собачьего населения [21, p. 2544-2552]. Исключением стала только плотность человеческого населения, которая также внесла существенный вклад в прогнозирование риска. Многочисленные исследования

в Азии, прежде всего в Китае, где в период с 2004 по 2020 годы было зарегистрировано более 26 800 случаев человеческого бешенства, продемонстрировали, что климатические переменные, такие как среднегодовая температура, существенно коррелируют с риском заболеваемости: по мере роста среднегодовой температуры относительный риск возникновения заболевания увеличивается, тогда как более длительная продолжительность солнечного света и повышение уровня доходов населения оказывают защитный эффект, снижая риск [36]. Аналогично, многомерные модели пространственного распределения показали, что в южных, центральных и восточных регионах страны наблюдались более высокие уровни заболеваемости по сравнению с северными и западными областями, что отражает влияние климатических условий и особенностей ландшафта на эпидемиологию инфекции [34, p. 526].

Анализ социальных и экологических факторов, основанный на данных из 271 пространственно определённой ячейки, также выявил, что климатические параметры (в том числе средняя температура, расстояние до центров сёл и дорог) и географические факторы положительно связаны с локальной заболеваемостью бешенства, тогда как расстояние до недавно появившихся очагов имеет отрицательную корреляцию с интенсивностью заболевания; это подчёркивает значимость сочетания климатических и экологических детерминант в формировании паттернов распространения инфекции [34, p. 526]. В частности, температурные показатели повышали локальную частоту случаев, что согласуется с данными других исследований, где летом и осенью отмечались пиковые уровни инфекционной активности, тогда как регионы с более прохладным климатом демонстрировали более низкие уровни риска [37]. Указанные факторы воздействуют как на популяции основных хозяев вируса (домашние собаки и дикие плотоядные), так и на межвидовые взаимодействия, поскольку климатические условия определяют поведение животных, их миграционные перемещения, плотность популяций и эффективность контактов между восприимчивыми и инфицированными особями [36, p. e0012557]. Повышение среднегодовых температур ассоциируется с ростом заболеваемости бешенством, поскольку в условиях более тёплого климата увеличивается подвижность животных-хозяев, расширяются их индивидуальные участки и возрастает частота контактов, способствующих передаче вируса. Одновременно сезонное потепление влияет и на поведение человека: облегчённая одежда и большая открытость кожных покровов повышают риск укусов, прежде всего со стороны собак, что дополнительно усиливает вероятность инфицирования [34, p. 526]. Выживаемость популяций бездомных собак, как правило, возрастает при более высоких температурах окружающей среды, поскольку снижаются затраты энергии на терморегуляцию и уменьшается зимняя смертность. В результате увеличивается численность и плотность этих животных, продлевается период их активности и контактов, что создаёт более благоприятные условия для поддержания и распространения вируса бешенства в антропогенных и пригородных экосистемах [34, p. 526].

Исследования китайских ученых (Danhuai Guo, 2018) установили отрицательную связь между относительным риском заболевания бешенством у человека и годовой продолжительностью солнечного сияния. Регионы с более длительным солнечным освещением, преимущественно расположенные в северных провинциях, характеризовались меньшим уровнем риска по сравнению с южными территориями, где показатели заболеваемости оставались более высокими [34, р. 526]. Полученная зависимость, по-видимому, обусловлена не прямым инактивационным действием ультрафиолетового излучения на вирус бешенства, а опосредованными поведенческими механизмами. Продолжительность солнечного сияния способна влиять на активность и пространственное поведение как людей, так и животных-переносчиков, изменяя частоту и характер контактов, что в конечном итоге отражается на вероятности передачи инфекции [38].

В других исследованиях, на примере Поволжского региона показано, что пространственная пригодность территорий для циркуляции вируса бешенства у диких животных статистически ассоциирована с комплексом климатических и ландшафтных факторов, прежде всего со среднегодовой температурой $\geq 20^{\circ}\text{C}$, температурной сезонностью около $\pm 11,5^{\circ}\text{C}$, температурой самой влажной четверти $\geq 15^{\circ}\text{C}$ и изотермальностью порядка 20%, при этом максимальный риск выявлялся в зонах с плотностью населения свыше 1000 чел./км² [39]. Наиболее благоприятные условия для формирования очагов бешенства в исследуемый период (2010-е годы) были характерны для мозаичных ландшафтов, включающих застроенные территории, лесные и степные экосистемы, пахотные земли и пастбища, а также для почв, типичных для местообитаний рыжей лисицы - основного резервуара вируса в регионе [39, р. 1650834]. По результатам проведенного авторами моделирования (Maxent) установлено, что устойчивое формирование эпизоотических очагов бешенства в Поволжье обусловлено не отдельными факторами, а их сочетанием, при котором умеренно тёплый климат, выраженная сезонность и антропогенно трансформированные ландшафты создают оптимальные условия для поддержания высокой плотности популяций рыжей лисицы [39, р. 1650834; 40, 41]. Отклонение ключевых климатических показателей от выявленных оптимумов сопровождалось снижением потенциальной пригодности территории для циркуляции вируса, что подчёркивает определяющую роль экологической ниши хозяина в пространственном распределении эпизоотического процесса [41, р. 197-213; 42].

Кроме того, исследования показали, что изменение климата и связанные с ним экологические изменения могут оказывать существенное влияние на устойчивость природно-очаговых форм бешенства через трансформацию экосистем и изменение пространственных границ ареалов видов-резервуаров [43, 44]. Например, модели риск-зонирования на основе климатических переменных продемонстрировали, что регионы с более высокой температурой и низкой продолжительностью солнечного света характеризуются более высоким уровнем относительного риска заболевания, что требует целенаправленного контроля и адаптации профилактических мер [45].

Установленные закономерности подчеркивают, что климатические детерминанты могут усиливать восприимчивость животного сообщества к циркуляции вируса и способствовать трансформации очагов заболевания с сезонными вспышками, особенно в сочетании с социально-экономическими факторами, такими как доступ к ветеринарным услугам и уровень жизни населения [34, p. 526; 36, p. e0012557; 39, p. 1650834; 45, p. 212].

Географические и ландшафтные особенности играют ключевую роль в формировании пространственного распределения бешенства среди животных, определяя вероятность контактов между резервуарными и восприимчивыми видами, а также влияя на распространение вируса в природных и трансформированных экосистемах [40, p. 174-180; 46]. Водоёмы, горные хребты и лесные массивы часто выступают естественными барьерами для движения животных и сдерживают распространение инфекции. Например, в северных регионах России наличие крупных рек снижало вероятность межпопуляционной передачи вируса среди лис и енотовидных собак почти в 7 раз по сравнению с открытыми равнинными участками, замедляя эпидемический фронт на десятки километров [40, p. 174-180; 47]. Аналогично, горные хребты в североамериканских популяциях скунсов ограничивали интенсивность локальной передачи, создавая пространственную фрагментацию очагов [41, p. 197-213; 46, p. 3668-3671; 47, p. 773-787; 48]. В то же время, открытые степные и лесостепные территории, а также культурные ландшафты, включающие пахотные поля и пастбища, способствуют более высокому уровню взаимодействий между животными-хозяевами, увеличивая частоту контактов между инфицированными и восприимчивыми особями. Модели экологической пригодности, основанные на данных о типах земельного покрова, показали, что риск появления очагов бешенства наиболее высок в районах с чередованием сельскохозяйственных угодий и открытых лесных массивов, где плотность диких плотоядных превышает 15-20 особей на км², а наличие человеческих поселений создаёт дополнительные возможности для передачи вируса [42, p. 1083-1091; 46, p. 3668-3671; 47, p. 773-787; 48, p. 388-405].

Типы земельного покрова, тесно связанные с повышенным риском, включают широколиственные и хвойные леса, степи и открытые пастбища, а также водно-болотные угодья, которые могут служить как местом кормления, так и коридорами для передвижения животных [40, p. 174-180; 49]. Почвенные характеристики также оказывают влияние на расселение резервуарных видов. В районах Поволжья почвы варьировались от темно-серых лесных и подзолистых с глубоким гумусовым горизонтом до каштановых и солонцевых, что отражало разнообразие экосистемных условий, поддерживающих устойчивые популяции лисиц - основных переносчиков вируса [39, p. 1650834; 50].

Антропогенные изменения среды, такие как вырубка лесов, расширение сельхозугодий и урбанизация, модифицируют естественные экологические барьеры и способствуют увеличению контактов между дикими и домашними животными. В городских условиях чаще регистрируются случаи бешенства среди бродячих собак, тогда как в пригородных и сельских районах очаги чаще

связаны с дикими плотоядными, включая енотовидных собак и шакалов. Такое смешение биотопов увеличивает вероятность перемещения заражённых особей на новые территории и формирует новые очаги заболевания [42, p. 1083-1091; 49, p. 285; 50, p. 742; 51].

Разнообразие видов в экосистеме играет двойственную роль: в биоразнообразных зонах конкуренция между хищниками может ограничивать численность ключевых резервуарных видов и снижать вероятность передачи вируса, тогда как сокращение биоразнообразия, вызванное разрушением естественных местообитаний, приводит к доминированию одного вида и увеличению частоты случаев бешенства [40, p. 174-180; 40, p. 174-180; 52]. Современные методы пространственного анализа и эпидемиологического моделирования позволяют количественно оценивать влияние этих экологических факторов и выявлять территории с наибольшим риском распространения вируса, что является важным для адаптации профилактических стратегий и целенаправленного контроля [42, p. 1083-1091; 53].

Важным выводом этих исследований является то, что экологические и климатические факторы не действуют изолированно, а находятся в сложной взаимосвязи с другими детерминантами эпидемического процесса: они определяют пространственную неоднородность заболеваемости, способствуют развитию устойчивых очагов, а также влияют на динамику распространения инфекции в условиях изменения климата и антропогенного давления на природные экосистемы. Таким образом, интегрированный подход к анализу бешенства, включающий учет климатических показателей, географии ландшафтов и экологических характеристик популяций животных-резервуаров, является ключевым элементом для понимания и прогнозирования эпизоотического процесса, а также для разработки адаптированных мер контроля и профилактики на уровне региональных стратегий здравоохранения.

1.3 Социально-экономические детерминанты распространения бешенства

Социально-экономические условия играют критическую роль в эпидемиологии бешенства, влияя на доступ к медицинской помощи, эффективность профилактических программ, охват вакцинацией животных и поведенческие реакции населения после контактов с потенциально заразными животными. Анализ ряда ретроспективных и популяционных исследований демонстрирует, что показатели дохода, уровень образования, доступ к услугам здравоохранения и экономическое развитие регионов прямо коррелируют с вероятностью своевременного получения постконтактной профилактики (PEP), охватом вакцинации собак и других домашних животных, а также с частотой возникновения случаев заболевания у людей и животных, что подчёркивает значимое влияние социально-экономических детерминант на эпизоотический статус и профилактическую реакцию в популяциях животных (например, низкий охват вакцинации собак обусловлен неблагоприятными социодемографическими характеристиками населения) [54].

Исследование, проведённое в уезде Сан Шэн (провинция Сычуань, Китай), охватившее 11 670 лиц с риском заражения бешенством в период 2002–2009 гг., демонстрирует выраженную зависимость доступа к профилактическим мероприятиям от социально-экономического статуса. Так, доля укушенных, получивших антирабический иммуноглобулин (RIG), среди людей с высоким уровнем дохода составляла 49,38%, тогда как в группах со средним и низким доходом этот показатель снижался до 8,08 и 1,46% соответственно ($P < 0,05$) [55]. Кроме того, лица с образованием выше средней школы получали RIG в 23,08% случаев, что значительно выше, чем у людей с лишь начальным образованием (3,01%) или без образования (2,08%) [55, р. 6847-6850]. Логистический регрессионный анализ показал, что социально-экономический статус был самым сильным предиктором получения РЕР (95% CI 1,20–2,04), превосходя по влиянию конкретные медицинские факторы [55, р. 6847-6850].

Социально-демографические характеристики также влияют на практики вакцинации собак - ключевое звено в контроле зооозного распространения бешенства. В исследовании по вакцинации собак в Юго-Мугуранго (Кения) выявлено, что такие факторы, как уровень дохода, занятость, уровень образования и доступ к ветеринарным услугам, значительно ассоциированы с прививочным статусом животных: более обеспеченные и образованные владельцы демонстрировали лучшие показатели вакцинации собак против бешенства по сравнению с экономически уязвимыми группами [56]. Аналогичные закономерности отмечаются в других странах региона: более высокий доход домохозяйства способствует большей вероятности охвата вакцинацией питомцев, а низкий доход ограничивает возможность доступа к этим услугам из-за стоимости вакцин, расстояния до ветеринарной помощи и дефицита информации о важности регулярной вакцинации [56, р. 1-14; 57].

Экономические факторы влияют не только на поведение владельцев собак, но и на исходы у людей после укусов животных. В обзоре, включающем данные по низко- и средне-доходным странам (LMICs), подчёркивается, что экономическое развитие прямо коррелирует с доступностью профилактических мер: регионы с более низким ВВП демонстрируют высокие барьеры для получения полной РЕР, что связано с высокой стоимостью жизненно важных вакцин и иммуноглобулинов, а также низкой доступностью этих препаратов в сельских районах [37, р. 979-985; 57, р. e0011204]. В ряде стран стоимость полного курса РЕР может превышать сумму, которая недоступна большинству семей, особенно если уровень дохода ниже национального среднедушевого [57, р. e0011204; 58].

Образование и осведомлённость населения - ещё один значимый социально-экономический детерминант. Исследования КАР (knowledge, attitudes, practices) показывают, что низкий уровень образования связан как с низким уровнем знания о бешенстве, так и с ограниченной готовностью инвестировать в профилактическую вакцинацию животных или полностью пройти курс РЕР после укуса [57, р. e0011204; 58, р. 699352]. Так, в исследованиях сообщается, что люди с более высоким уровнем знаний о заболевании имеют более позитивные практики обращения за медицинской

помощью и более высокую вероятность привить своих собак, тогда как лица с низким уровнем образования и дохода реже предпринимают своевременные профилактические действия [57, р. e0011204; 58, р. 699352].

Наконец, социально-экономические неравенства могут усиливать эпидемиологические риски при колебаниях охвата вакцинацией и снижении доступности медицинской помощи. Данные по глобальному бремени бешенства подтверждают, что до 59 000 смертей ежегодно происходят преимущественно в Африке и Азии, где экономические и социальные барьеры ограничивают доступ к профилактике и лечению [59]. Борьба с этими неравенствами требует межсекторальных подходов, учитывающих уровень благосостояния, инфраструктуру здравоохранения, доступ к образованию и разработку целевых социальных программ, направленных на устранение барьеров, мешающих эффективному контролю бешенства.

Считается, что экономический рост является еще одним антропогенным элементом, способствующим распространению бешенства [60], которое чаще встречается в менее развитых районах [5, р. e0003709; 61]. Было обнаружено, что бешенство у собак имеет положительную корреляцию с плотностью человеческой популяции [62], но его местная передача также связана с размером и распределением популяции собак [63-65]. Занос бешенства в районы, близкие к населенным пунктам, приводит к более крупным эпидемиям [66]. Эффективность кампаний вакцинации, состояние поставок вакцин и плохая осведомленность о бешенстве также должны быть включены в список социально-экономических переменных [67, 68].

Транспортный трафик может способствовать передаче бешенства у собак [63, р. 742-752]. Расстояние до ближайшей дороги связано с распространением вируса [69]. Набор переменных расширился и теперь включает параметры доступности и транспорта, такие как евклидовы расстояния от деревни до дорожной сети, ближайший центр города и ближайшая больница или клиника. Инициативы в области общественного здравоохранения, такие как различные программы по профилактике заболеваний и борьбе с ними, ограничены схемами движения транспорта и доступностью. В Тунисе было замечено, что собаки с положительным результатом теста на вирус бешенства пространственно связаны с дорогами и орошаемыми территориями [70]. Поскольку бытовой мусор в Тунисе обычно сбрасывается вдоль главных и второстепенных дорог, он служит основным источником пищи для бездомных собак, как и официальные свалки отходов. Привлечение стаи собак в такие места способствует распространению вируса бешенства у собак. И наоборот, высокая интенсивность дорожного движения выступает в качестве функциональных барьеров для миграции собак [70, р. 667804; 71].

1.4 Пространственный подход в изучении бешенства: от картирования к анализу риска

В современных условиях эффективное противодействие бешенству в ряде стран опирается на использование информационно-коммуникационных технологий, обеспечивающих эффективный географический надзор за

случаями заболевания в реальном времени; примером такой системы является интернет-доступная платформа RabID, демонстрирующая возможности интеграции пространственных данных для эпидемиологического мониторинга зоонозов [72, 73]. В другом исследовании на основе национальных данных Китая о заболеваемости за 2004-2019 годы была использована байесовская иерархическая пространственно-временная модель для оценки влияния экологических, экономических и демографических факторов на динамику распространения бешенства, что позволило выделить приоритетные провинции с повышенным риском, где целесообразно усилить мероприятия по вакцинации животных [74].

Комплексный подход к эпидемиологии бешенства должен включать раннее выявление новых очагов и оперативное реагирование посредством систем эпиднадзора, поскольку своевременное получение информации о распространении заболевания в пространстве и времени значительно облегчает координацию действий ветеринарных служб и органов общественного здравоохранения. В настоящее время в эпидемиологии и ветеринарии доступны разнообразные методы пространственно-временного анализа и визуализации, которые используются для анализа распределения вспышек и эффективности профилактических программ [75-79].

Использование отдельных пространственно-временных аналитических подходов ранее продемонстрировало высокую эффективность при изучении эпизоотического процесса бешенства. В частности, в наших ранее проведенных исследованиях, применение методов пространственно-временного сканирования с использованием специализированного программного обеспечения Satscan в период 2013–2022 гг. позволило выявить устойчивые очаги повышенного риска и внести значимый вклад в оптимизацию профилактических мероприятий. Полученные результаты включали установление видоспецифичных кластеров в ряде регионов страны, что послужило основой для формирования адресных предложений по проведению вакцинации животных [29, р. 1252265; 80].

Другим перспективным ГИС-ориентированным инструментом является анализ с использованием пространственно-временного куба, ранее успешно применённый для оценки долгосрочной динамики особо опасных инфекционных заболеваний животных на территории Казахстана. Использование данного подхода позволило наглядно отразить пространственно-временные тенденции и закономерности распространения инфекции на протяжении значительного исторического интервала [29, р. 1252265; 81]. Несмотря на высокую аналитическую и визуализационную ценность, методы пространственно-временного моделирования и визуализации, включая пространственно-временной куб, до настоящего времени остаются недостаточно широко внедрёнными в практику ветеринарной эпидемиологии [81, р. 1-8; 82].

Повышение устойчивости и результативности эпиднадзора за бешенством приобретает особую актуальность на фоне динамических изменений эпизоотической ситуации, обусловленных как природными, так и

антропогенными факторами. В этих условиях информационно-коммуникационные технологии становятся неотъемлемым инструментом интеграции эпидемиологических данных, обеспечивая систематизацию, оперативную обработку и аналитическую интерпретацию информации, необходимой для научно обоснованного планирования профилактических мероприятий [72, p. 47; 80, p. 100504; 83]. Современные цифровые платформы и геоинформационные подходы позволяют не только отслеживать пространственно-временную динамику заболеваемости, но и выявлять устойчивые очаги риска, а также оценивать влияние демографических и инфраструктурных факторов на распространение инфекции [83, p. 73-83]. Использование таких методов существенно расширяет возможности прогностического анализа и повышает точность идентификации территорий с потенциальной эпизоотической нестабильностью [83, p. 73-83].

Современные эпизоотологические исследования бешенства всё чаще опираются на пространственные методы анализа, которые позволяют не только визуализировать географическое распределение случаев, но и выявлять статистически значимые зоны повышенного риска распространения вируса. С переходом от простого картографирования к сложным моделям оценки риска становятся возможными количественные выводы о том, какие территории, виды животных и социально-экологических условий наиболее способствуют циркуляции вируса в пространстве и времени, что принципиально важно для оптимизации профилактических стратегий и целевого контроля [29, p. 1252265; 79, p. 45-57; 80, p. 100504; 81, p. 1-8; 82, p. 585; 83, p. 73-83; 84].

Одним из первых инструментов, продемонстрировавших эффективность пространственных подходов, стал RabID - географически привязанный интернет-сервис для мониторинга бешенства в Соединённых Штатах. Эта система объединяет диагностические и демографические данные о случаях бешенства с географической информацией и позволяет отображать распространение болезни в разных экологических зонах и относительно зон вакцинации, обеспечивая оперативный визуальный анализ и поддержку принятия решений для управления программами оральной вакцинации диких животных [72, p. 47]. Такой подход наглядно показывает, что пространственное картирование может отражать реальные эпизоотические процессы и служить информационной основой для адаптации технологий контроля.

Однако от визуального картирования эпизоотического ландшафта исследователи быстро перешли к статистическому пространственному анализу, который включает вычисление пространственной автокорреляции и выявление кластеров высокого риска. Например, в ряде региональных исследований таких как в штате Нью-Джерси (США), использование индекса Морана (Global Moran's I) и локальных индикаторов пространственной ассоциации (LISA) позволило обнаружить значимые пространственные кластеры бешенства среди различных видов животных - енотов (Moran's I=0.32; p=0.012), лисиц (I=0.29; p=0.011) и сурков (I=0.37; p=0.005) - в отдельных административных единицах [85]. Эти находки не только уточняют географию эпизоотического процесса, но и позволяют целенаправленно распределять ресурсы профилактических

мероприятий, таких как распространение оральных вакцин или усиленные инспекции в зонах повышенного риска [77, р. 577-586; 85, р. 1190-1194].

Пространственное моделирование также выходит за рамки кластерного анализа и включает интеграцию в прогностические модели, которые учитывают влияние физических и социально-экологических факторов на риск заболевания. Так, в Казахстане применение максимального энтропийного моделирования (MaxEnt) для оценки риска заболеваемости диких животных выявило ключевые предикторы - от температуры воздуха и плотности населения до типа почвы и растительности - и позволило создать карты риска распространения бешенства с высокой точностью ($AUC = 0.85$) [40, р. 174-180]. Эти карты, в свою очередь, дают возможность выделять территории с высоким прогнозируемым риском вспышек, что принципиально для оптимизации вакцинации и мониторинга популяций дикого и сельскохозяйственного скота.

Важной эволюцией пространственного подхода стало объединение пространственной и временной информации в единую аналитическую структуру. В работе с байесовским иерархическим регрессионным моделированием на данных по животным в Казахстане за 2013–2023 годы были выявлены устойчивые зоны повышенного риска бешенства, связанные как с окружением дикой природы, так и с социально-демографическими переменными, такими как плотность населения и доходы регионов [29, р. 1252265; 80, р. 100504]. Методы анализа риска также включают поисковые статистические подходы, такие как пространственно-временной анализ с использованием скан-статистики (например, SaTScan), которые позволяют идентифицировать зоны и периоды повышенного распространения заболевания и формируют основу для стратегий активного наблюдения и быстрых ответных мер. Такие методы позволяют, например, анализировать не только пространственные кластеры, но и их динамику во времени, определяя устойчивые элементы эпизоотического процесса, а также изменяющиеся паттерны [29, р. 1252265].

Таким образом, современные пространственные подходы эволюционировали от простого отображения точек на карте к сложным статистическим и прогнозным моделям, которые используют геопространственные данные, демографические переменные, экологические показатели и эпидемиологические параметры для оценки риска распространения бешенства. Это превращает пространственный анализ из вспомогательного в неотъемлемый инструмент эпизоотологического исследования», обеспечивая научно обоснованную основу для принятия оперативных решений, планирования профилактических программ и рационального распределения ресурсов в борьбе с бешенством на региональном и национальном уровнях.

1.5 Профилактика бешенства в условиях пространственной неоднородности

Профилактика бешенства основана на двух ключевых стратегиях: предупреждении передачи вируса на уровне источника инфекции - через

массовую вакцинацию животных, особенно собак, и постконтактной иммунизации людей после укусов. Эффективность этих мероприятий существенно зависит от пространственного распределения охвата вакцинацией, логистических возможностей и социально-географических факторов, что делает анализ пространственной неоднородности критическим компонентом планирования и оценки профилактических кампаний [86].

Массовая вакцинация собак считается основным компонентом профилактики: её успех определяется достижением порога $\geq 70\%$ охвата среди восприимчивых собак, при котором передача вируса существенно затрудняется и возможна локальная или региональная элиминация болезни [87]. Однако на практике даже при достижении среднего уровня охвата эта цель может быть не выполнена из-за пространственной неоднородности - неравномерного распределения вакцинированных собак в населённых пунктах и между ними.

Ключевое эмпирическое исследование из Танзании на основе данных о вакцинации собак и регистрации случаев бешенства 2002–2022 гг. продемонстрировало, что повышение разнородности охвата вакцинацией в соседних деревнях связано с увеличением локального уровня заболеваемости бешенством у собак [88]. В частности, когда неоднородность охвата между деревнями была высокой, вспышки заболевания следовали за годами, когда кампании не охватывали многие населённые пункты. Напротив, при снижении пространственной неоднородности общий уровень заболеваемости снижался до < 0.4 случаев на 1 000 собак в год, что сопровождалось отсутствием смертельных исходов у людей [88, p. e0012405]. Это подтверждает, что неравномерное покрытие вакцинацией уменьшает эффективность кампаний даже при высоком среднем уровне охвата, что ведёт к неустойчивому контролю и поддержанию вируса в популяции животных.

Эти результаты показывают, что стратегии вакцинации должны учитывать не только общий процент вакцинированных собак, но и их пространственное распределение. При прочих равных, охват 70% в целом по региону может не обеспечивать гомогенного распределения вакцин в каждом населённом пункте или кластере, в результате чего сохраняются «пробелы» - зоны с низким уровнем вакцинации, которые могут служить источниками возобновления передачи вируса. Такие пробелы особенно опасны в регионах с высокой мобильностью собак или популяциями свободно бродячих животных, где частые контакты между населёнными пунктами усиливают эпидемическую связь между «вакцинированными» и «невакцинированными» пространствами.

Пространственное планирование кампаний также должно учитывать логистические аспекты и географические барьеры. В перуанском городе Арекипа исследование на $> 6\,000$ домов показало, что каждые дополнительные 100 м расстояния от дома владельца собаки до ближайшего пункта вакцинации снижали шансы участия в кампании на 16% ($p=0.041$) [89]. Кроме того, социально-демографические факторы, такие как наличие маленьких детей в семье и продолжительность проживания в районе, также статистически значимо снижали участие владельцев в массовой вакцинации - на 13 и 8% соответственно за каждое соответствующее изменение [89, p. e0007600].

Аналогичные закономерности пространственно-социальной неоднородности кампаний ведут к скоплению невакцинированных собак более чем 500 м от пунктов вакцинации, создавая очаги незащищённых животных, которые продолжают поддерживать циркуляцию вируса [89, p. e0007600].

Моделирование стратегий вакцинации дикого животного населения показывает, что пространственное развертывание и сезонность кампаний существенно влияют на шансы элиминации бешенства, в том числе для ORV-кампаний (оральной вакцинации диких хищников, например лисиц) в Германии: комплексные кампании дважды в год во всех регионах обеспечивали более быстрое подавление заболевания и повышали вероятность достижения элиминации, чем неполные программы, которые часто не охватывали отдельные зоны [90]. Эти результаты позволяют заключить, что рациональная пространственная логистика и частота вакцинации являются необходимыми условиями успешной профилактики в неоднородных ландшафтах.

Таким образом, профилактика бешенства в условиях пространственной неоднородности требует мультиуровневого подхода, ориентированного на микропланирование покрытия, уменьшение географических пробелов и повышение доступности точек вакцинации для владельцев животных. Это включает оптимизацию расположения вакцинационных пунктов, частые повторные кампании, равномерное распределение ресурсов и активное привлечение населения, особенно в удалённых или маргинальных районах. Без такого подхода даже высокие средние показатели охвата остаются недостаточными для устойчивого подавления передачи бешенства как среди животных, так и среди людей, что отражает усиливающуюся роль пространственно-эпидемиологических факторов в современных программах контроля зоонозов.

Эпидемиологическая картина бешенства в Казахстане соответствует эндемичной передаче с устойчивым базовым уровнем и повторяющимися, поддающимися анализу скоплениями, а не эпизодическим общенациональным всплескам. За 2013–2025 гг. зарегистрировано 985 случаев у животных; их стабильная пространственно-временная структура поддерживает целесообразность адресных стратегий вмешательства на районном уровне. Риск-стратификация с использованием подхода Forest-Based Time Series Forecast [91] выделила три категории районов:

- районы высокого риска ($n=7$), преимущественно приграничные (напр., Западно-Казахстанская, Восточно-Казахстанская, Павлодарская, Жетысуская, Жамбылская области);
- районы среднего риска (фокус на вакцинации) ($n=118$);
- районы низкого риска (усиленный мониторинг) ($n=51$).

Пространственно-временной анализ с применением «пространственно-временного куба» и статистики пространственного сканирования выявил различимые паттерны кластеризации. Городские территории с высокой численностью собак, такие как Туркестан и Шымкент, демонстрировали выраженные кластеры с отношением «наблюдаемое/ожидаемое» (O/E) выше 2,0 (рисунок 1). Напротив, сельские кластеры пролива в Восточно-

Казахстанской и Павлодарской областях были согласованы с путями передачи «лиса → сельхозживотные» [29, р. 1252265; 91, р. 1-14].

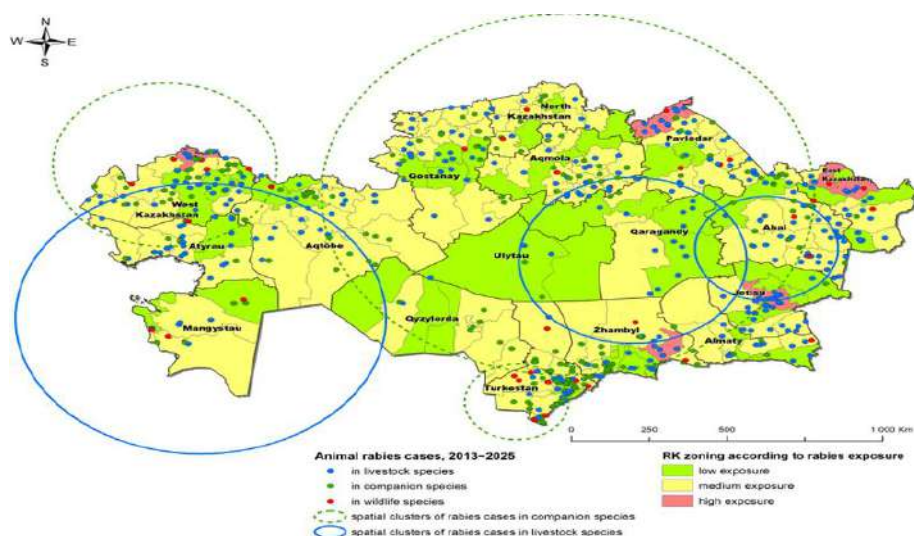


Рисунок 1 – Распределение животного бешенства и зонирование риска в Казахстане, 2013–2025 гг.

Сезонность особенно заметна у КРС: пики приходятся на весенне-летние периоды выпаса. У собак случаи регистрируются круглый год, что указывает на более непрерывный цикл передачи.

По видам (2013–2025, $n=985$) на крупный рогатый скот приходилось большинство случаев (55,8%; $n=550$), далее собаки и кошки - 38,4% ($n=378$), и дикие псовые (лисы и волки) – 5,8% ($n=57$). Данные указывают на более высокую заболеваемость среди сельхозживотных в восточных регионах страны по сравнению с южными, где относительно чаще регистрируются случаи у домашних животных (собак и кошек) [29, р. 1252265; 91, р. 1-14]. Молекулярная характеристика изолятов показала, что все казахстанские штаммы относятся к космополитическому кладу (Cosmopolitan), что говорит об укоренившихся локальных циклах передачи, а не о повторных заносах новых вариантов вируса [29, р. 1252265].

Сообщения о лиссавирусах у рукокрылых, таких как *Eptesicus serotinus* и *Vespertilio murinus*, обосновывают целевой эпиднадзор за летучими мышами; однако относительно малое число таких случаев предполагает, что они, вероятно, не являются основным резервуаром для наземных циклов бешенства.

Долговременная стабильность распространения бешенства в Казахстане подчёркивает важность интеграции экологических, ветеринарных и социальных детерминант в комплексные стратегии контроля. Сохраняющаяся кластеризация случаев у сельхозживотных указывает на глубинные структурные уязвимости, требующие адресных локальных решений. Иначе говоря, стабильность передачи бешенства - не только вызов, но и возможность для более прицельного и результативного управления за счёт продвинутых аналитических инструментов и межсекторального взаимодействия [91, р. 1-14].

Контроль бешенства в Казахстане функционирует в системе, выросшей из

советских основ и адаптированной к современным требованиям. Базовая стратегия надзора остаётся преимущественно пассивной: ветеринарные службы реагируют на сообщения о подозрительных случаях у животных или об укусах людей, изымают (умерщвляют) подозрительных животных и подтверждают диагноз методом dFAT или ПЦР (RT-PCR) в референс-лабораториях. Хотя такой реактивный подход соответствует стандартам Территориального руководства ВОАН, он не обеспечивает выявления инфекций в инкубационном периоде - особенно в удалённых районах - что системно занижает реальную распространённость [91, р. 1-14].

С 2000-х годов элементы активного надзора, такие как целевой отбор проб в пери-фокальных зонах, были внедрены, хотя пассивный каркас по-прежнему доминирует в схеме надзора. Значительная модернизация произошла в 2024–2025 гг. с интеграцией ГИС-прогнозирования, что снизило медианную прогнозируемую заболеваемость до менее одного случая на район; однако точность этих прогнозов по-прежнему зависит от полноты исходных данных [29, р. 1252265; 91, р. 1-14].

Эти мероприятия регламентируются Приказом №7-1/587 от 29 июня 2015 г., предписывающим ежегодную парентеральную вакцинацию собак, кошек и сельскохозяйственных животных в объявленных эндемичных зонах. Однако параметры, применяемые для признания зон, чётко не определены, что затрудняет различение территорий с действительно низкой заболеваемостью бешенством и территорий с неэффективным надзором - существенное ограничение как для Казахстана, так и для других неблагополучных по бешенству стран.

Некоторые важные особенности администрирования программы вакцинации в Казахстане суммированы в таблице 1. В 2013–2015 гг. по программе парентеральной вакцинации ежегодно вводилось около 4,7 млн. доз при стоимости 1,7 млн. долл. США; из них вакцинация КРС (0,35 долл./доза) составляла 1,4 млн. долл. Распределение доз было приоритетным: 60% направлялось в южные и восточные регионы высокого риска и по 20% - на север и запад. Целевой показатель охвата - $\geq 70\%$ для достижения популяционного иммунитета - соответствует рекомендациям ВОАН/WHO [6, р. 959-969].

Таблица 1 – Реализация плана вакцинации против бешенства в Казахстане

Категория	Подкатегория	Значение	Ед. изм.	Примечание
1	2	3	4	5
Парентеральная вакцинация	Общее число доз	4,7 млн.	доз/год	2013–2015
	Общая стоимость	1,7 млн. долл. США	долл./год	-
	КРС (стоимость)	1,4 млн. долл. США	долл./год	Цена 0,35 долл./доза
	Распределение (Юг/Восток)	60%	%	-

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
	Распределение (Север)	20%	%	-
	Распределение (Запад)	20%	%	-
	Целевой охват	70%	%	Рекомендация ВОАН/WHO
Пероральная вакцинация (ORV)	Число приманок	736 тыс.	приманок/год	С 2000-х
	Общая стоимость	719 тыс. долл. США	долл./год	Цена 0,97 долл./приманку
	Рекомендуемая плотность	25–30	приманок/км ²	-
Контроль численности	Стоимость отлова/эвтаназии	3,4 млн. долл. США	долл./год	-
Постэкспозиционная профилактика (ПЭП)	Затраты в Казахстане	9,1 млн. долл. США	долл./год	Глобально - 29 млн. доз/год
Охват вакц. собак	Костанайская область	21,1%	%	2024–2025
Снижение заболеваемости	Сельхозживотные	68,1%	%	За 1-е полугодие 2025 г.

Наряду с вакцинацией домашних животных с начала 2000-х действует программа пероральной вакцинации (ORV) лис. Первоначально ежегодно раскладывалось 736 тыс. приманок (0,97 долл./приманку; всего 719 тыс. долл.), но программа сталкивалась с проблемой плотности приманивания. Рекомендуемый уровень 25-30 приманок/км² редко достигался, а кампании, ограниченные ноябрём, субоптимальны с учётом сезонности болезни, как указано в Территориальном кодексе ВОАН [92].

В 2016-2023 гг. парентеральная вакцинация оставалась стабильной на уровне 4,5-5,0 млн. доз/год, до 65% направлялось в эндемичные южные и восточные приграничные области. Эти устойчивые усилия сопровождалось снижением числа случаев у животных со 120 (в 2016 г.) до 70 (в 2023 г.) [93]. Программа ORV существенно расширилась: с 736 тыс. приманок в 2015 г. до 1,2 млн. ежегодно в 2020-2023 гг., при этом была внедрена более эффективная вакцина VRC-RZ2 [94].

Анализ ситуации по бешенству в соседних с Казахстаном странах демонстрирует важность трансграничной передачи и необходимость укрепления регионального взаимодействия. В частности, национальный надзор в Китае свидетельствует о постоянной циркуляции вируса: в 2004–2024 гг. лабораторно подтвержден 331 случай у животных, преимущественно у собак (47%) и КРС (43%) [95]; основной бременем поражены северные провинции. Аналогично, по данным Россельхознадзора, в период с января по октябрь 2025 г. было выявлено не менее 200 случаев в 15 регионах [23, р. 1235-1239];

главным резервуаром выступают дикие животные, прежде всего лисицы [96]. В Узбекистане ежегодно регистрируется 20–30 случаев бешенства у людей, основной источник - укусы безнадзорных собак [97]; в 2025 г. вспышка отмечена в Джизакской области [97, р. 1079; 98], причём 80-90% резервуара вируса составляют безнадзорные собаки [97, р. 1079; 98, р. 247-254]. В Кыргызстане регистрируется высокий уровень обращений по поводу укусов животных: только в Бишкеке с января по август 2025 г. за медицинской помощью обратились 2318 человек, что на 20 % превышает аналогичный показатель за тот же период 2024 г., при этом основным источником заражения остаются собаки [99, 100].

Эти наблюдения, наряду с ограниченностью данных на сайтах международных организаций, подчёркивают необходимость международной координации для поддержки контроля болезни в регионе.

2 СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материалы и методы исследований

2.1.1 Материалы исследований

Материалами исследования послужили официальные эпизоотологические данные по бешенству животных на территории Республики Казахстан за 2013–2024 гг., включающие сведения о локализации очагов, видовой принадлежности и численности заболевших животных.

В работе использованы данные ведомственной ветеринарной отчётности, материалы региональных ветеринарных служб, а также статистические и геопространственные данные. Дополнительно применялись метеорологические данные о среднегодовых и сезонных температурных показателях и их аномалиях, использованные для оценки влияния климатических условий на эпизоотический процесс.

2.1.2 Методы исследований

Создание информационной базы данных об эпизоотической ситуации по бешенству животных за последние 10 лет (2013-2024)

Сбор и обработка эпизоотологических данных по бешенству осуществлялась в формате файла MS Excel, куда вносились все данные об очагах на территории республики за период с 2013 по 2024 гг. Использование инструментов MS Excel позволило провести различные математические анализы, подсчёты очагов по видам животных, рассчитать территориальное распространение вплоть до подсчёта очагов на наименьшую административно-территориальную единицу, отразить результаты с применением соответствующего типа диаграммы. Анализ выполнен на основе полностью доступных и официально зарегистрированных данных (очаги бешенства, климатические данные, данные по вакцинации) за 2013–2024 гг., поскольку данные за 2025 год ещё не были обобщены и опубликованы на момент проведения исследования.

Для установления закономерностей распространения бешенства животных были применены ряд математических формул, таких как =СЧЁТЕСЛИ (данные ячеек), СУММЕСЛИ (данные ячеек), что позволило сделать расчеты одновременно по нескольким характеристикам для определенной территории. Для анализа эпизоотического процесса очаги и случаи бешенства были объединены по трём основным категориям животных: сельскохозяйственные (Livestock), дикие (Wild), домашние животные-компаньоны (Companion). На картах и в результатах анализа данные представлены на английском языке, так как используемая программа ArcGIS Pro на момент проведения исследования имела интерфейс и языковой пакет только на английском. Для выявления межвидовой взаимосвязи применен корреляционно-регрессионный анализ.

Созданная база данных послужила основой базы данных в Arcgis Pro, где данные с формата .XLS были преобразованы в формат .CSV. В ArcGIS Pro база

данных о бешенстве животных может использоваться для различных целей, включая:

- мониторинг и отслеживание случаев бешенства: позволяет отслеживать и анализировать распространение заболевания среди животных в различных географических районах. Анализ пространственных данных: помогает выявить паттерны и тенденции в распространении бешенства, что может быть полезно для принятия решений в области здравоохранения и контроля заболеваний;

- анализ ветеринарных мероприятий: проводился для разработки стратегий профилактики и контроля, а также для координации действий при вспышках заболевания;

- визуализация данных: позволяет создавать карты и отчеты, которые могут быть полезны для информирования общественности и заинтересованных сторон.

ArcGIS Pro предоставляет мощные инструменты для анализа и визуализации пространственных данных, что делает его полезным инструментом для управления и анализа данных о бешенстве животных.

Для добавления базы данных в ArcGIS Pro используются различные форматы файлов. Наиболее часто используемые форматы включают:

1. File Geodatabase (.gdb): собственный формат базы данных ArcGIS для хранения и управления географическими данными.

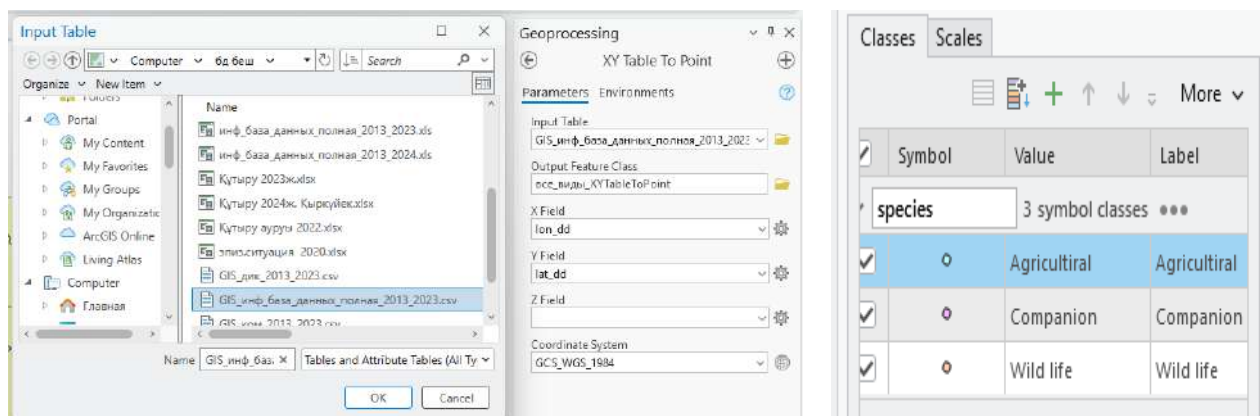
2. Enterprise Geodatabase: формат базы данных, который может быть размещен на сервере баз данных, таком как SQL Server, Oracle или PostgreSQL.

3. Shapefile (.shp), CSV (.csv): можно импортировать в базу данных ArcGIS.

Выявление закономерностей развития эпизоотического процесса бешенства на основе аналитической обработки базы данных по бешенству животных с использованием инструментов ArcGis Pro:

1. *Общая визуализация очагов бешенства с 2013 по 2024 гг.*

По итогам аналитической обработки данных по бешенству животных, следующим этапом для наглядного отображения и лучшего понимания была проведена визуализация очагов бешенства, с целью отображения видовых, территориальных особенностей распространения бешенства. Был создан проект (карта), с указанием соответствующей системы координат WGS 1984 куда внесены данные базы данных по бешенству, предварительно преобразованные в точечные. Редактируя символику, точечные данные по цвету распределены как очаги бешенства среди диких (wildlife), домашних (companions) и сельскохозяйственных (livestock) животных (рисунок 2).



а

б

Рисунок 2 – Настройка параметров анализа и символического представления точечных данных базы данных по бешенству животных

2. Анализ видовых особенностей распространения бешенства животных

Карты, отражающие видовые особенности распространения бешенства, получены с использованием инструмента Kernel Density. На картах представлены точки зарегистрированных вспышек заболевания за 2013–2024 гг. (зелёные маркеры) и градации пространственной плотности очагов, визуализированные цветовой шкалой от светло-серого (низкая плотность) до тёмно-фиолетового (высокая плотность).

3. Мультивариативный анализ очагов бешенства животных

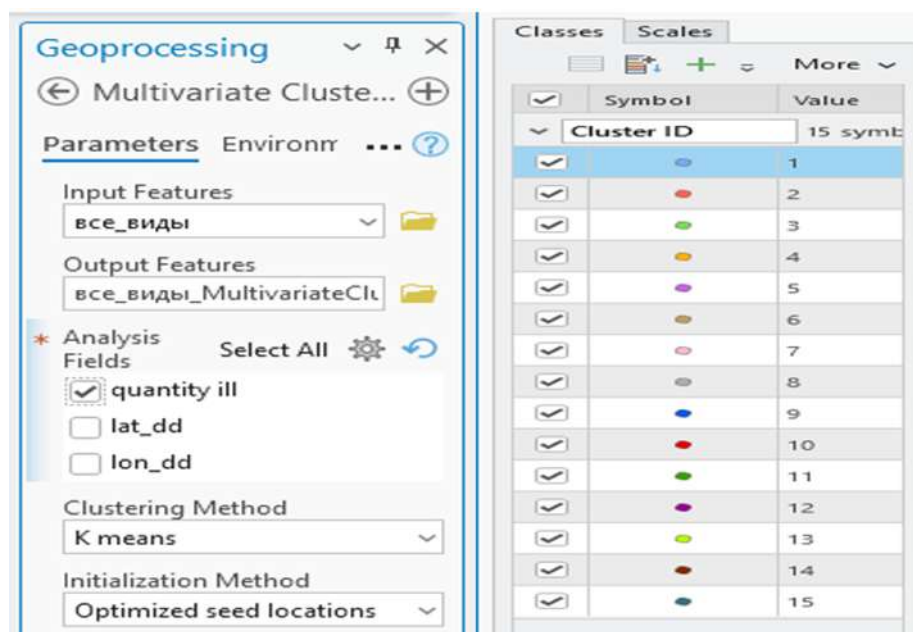


Рисунок 3 – Настройка параметров мультивариативного анализа и символическое представление точечных данных в зависимости от числа зараженных животных

В соответствии с рисунком 3, количество заражённых животных, приходящееся на один очаг дифференцированы по цвету, от 1 до 15, где

каждому числу соответствует определенный цвет, что создает возможность анализировать степень пораженности определённых зон.

4. Анализ сезонности случаев бешенства животных

Данный анализ проведен с использованием инструмента Multivariate clustering of Geoprocessing Tools, где горизонтальная шкала показывает дни месяца (1-31), а вертикальная - месяцы года (январь - декабрь).

Различные оттенки синего цвета обозначают интенсивность случаев бешенства за конкретный день, чем темнее оттенок, тем больше зарегистрированных случаев бешенства в этот день.

Пространственный анализ бешенства животных:

1. Пространственная автокорреляция (индекс Морана I)

Для проведения анализа индекса Морана в ArcGIS Pro, использовался один из инструментов геообработки «Geoprocessing» - «Spatial Autocorrelation (Morans I)», где в качестве входных данных была использована преобразованная в точечные данные база данных по бешенству 2013-2024 гг., в качестве атрибута установлены числовые значения случаев бешенства (рисунок 4). Выполненный анализ формируется в виде документа с полными установленными характеристиками и соответствующей диаграммой.

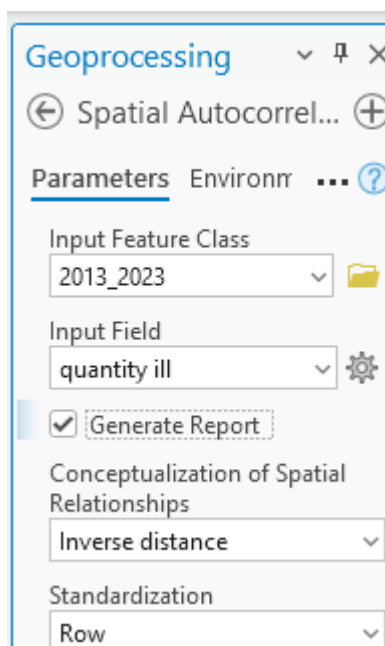


Рисунок 4 – Настройка параметров инструмента - "Spatial Autocorrelation (Morans I)"

2. Кластерный анализ и анализ выбросов (Anselin Local Moran's I)

Кластерный анализ и анализ выбросов (Anselin Local Moran's I) используются в геостатистике для выявления пространственных кластеров и выбросов. Anselin Local Moran's I позволяет определить, есть ли значимые пространственные паттерны в данных, такие как кластеры высоких или низких значений, а также выявить выбросы, которые могут указывать на аномалии или интересные особенности в данных. Этот метод помогает понять

пространственное распределение данных и выявить области, требующие дальнейшего анализа или вмешательства.

High-High кластер (High-High Cluster) в контексте пространственного анализа, такого как Anselin Local Moran's I, означает область, где высокие значения переменной окружены другими высокими значениями. Это указывает на положительную пространственную автокорреляцию, где высокие значения имеют тенденцию группироваться вместе. Такие кластеры могут указывать на зоны с интенсивной активностью или концентрацией определенного явления, требующие дальнейшего изучения. По отношению к бешенству такие зоны представляют собой территории устойчивой и повышенной эпизоотической активности, где формируются и длительно сохраняются очаги инфекции за счёт высокой плотности восприимчивых и резервуарных животных, интенсивных межвидовых контактов и благоприятных природно-климатических условий для циркуляции вируса.

High-Low выброс (High-Low Outlier) в контексте пространственного анализа, такого как Anselin Local Moran's I, означает область, где высокое значение переменной окружено низкими значениями. Это указывает на отрицательную пространственную автокорреляцию, где высокое значение является аномалией среди низких значений. Такие выбросы могут указывать на необычные или интересные особенности в данных, требующие дальнейшего анализа. По отношению к бешенству такие High-Low выбросы отражают изолированные очаги эпизоотической активности, возникающие на фоне общей низкой заболеваемости прилегающих территорий и потенциально связанные с локальными заносами инфекции, миграцией отдельных инфицированных животных либо особенностями эпизоотического надзора и выявляемости случаев.

Low-High выброс (Low-High Outlier) в контексте пространственного анализа, такого как Anselin Local Moran's I, означает область, где низкое значение переменной окружено высокими значениями. Это указывает на отрицательную пространственную автокорреляцию, где низкое значение является аномалией среди высоких значений. Такие выбросы могут указывать на необычные или интересные особенности в данных, требующие дальнейшего анализа. По отношению к бешенству такие Low-High выбросы характеризуют территории с пониженной зарегистрированной эпизоотической активностью, локализованные в пределах зон высокого распространения инфекции, что может свидетельствовать о влиянии эффективных профилактических мероприятий, временном разрыве в эпизоотическом процессе либо недовывлечении случаев на фоне неблагополучного окружения.

Low-Low кластер (Low-Low Cluster) в контексте пространственного анализа, такого как Anselin Local Moran's I, означает область, где низкие значения переменной окружены другими низкими значениями. Это указывает на положительную пространственную автокорреляцию, где низкие значения имеют тенденцию группироваться вместе. Такие кластеры могут указывать на зоны с низкой активностью или концентрацией определенного явления, требующие дальнейшего изучения. По отношению к бешенству Low-Low

кластеры представляют собой пространственно устойчивые благополучные зоны, характеризующиеся низким уровнем эпизоотической активности и отсутствием условий для поддержания циркуляции вируса, что может быть обусловлено эффективной системой профилактики, низкой плотностью восприимчивых животных либо неблагоприятными природно-климатическими условиями для распространения инфекции.

3. Анализ горячих точек бешенства животных

Метод Getis-Ord Gi используется для выявления пространственных кластеров с высокой и низкой интенсивностью проявления бешенства животных, другими словами, определяет районы с повышенной частотой заболевания. Для расшифровки результатов анализа Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi)* в ArcGIS Pro важно понимать значения Z-Score и P-Value:

Z-Score: стандартное отклонение, показывающее, насколько сильно значение отличается от среднего. Высокие положительные значения Z-Score указывают на горячие точки, а высокие отрицательные значения - на холодные точки.

P-Value: вероятность того, что наблюдаемый результат является случайным. Низкие значения P-Value (обычно <0.05) указывают на статистически значимые результаты.

Интерпретация карты: горячие точки - области с высокими значениями Z-Score и низкими значениями P-Value, которые показывают, где случаи бешенства сгруппированы и превышают ожидания; холодные точки - области с низкими значениями Z-Score и низкими значениями P-Value, которые показывают, где случаи бешенства распределены реже, чем ожидалось.

В качестве входных данных для проведения анализа были использованы точечные данные базы данных по бешенству 2013-2024 гг. Оценка данных проводилась по количеству зараженных животных (случаи бешенства)

4. Оценка плотности точечных данных бешенства животных (Kernel Density)

Инструмент «Kernel Density» в ArcGIS используется для оценки плотности точечных или линейных объектов в пространстве. Этот инструмент создает растровую поверхность, где значение каждой ячейки представляет собой оценку плотности объектов в окрестностях этой ячейки.

Расшифровка примененных параметров инструмента «Kernel Density»:

- входные данные для расчета плотности: точечные данные базы данных по бешенству 2013-2024 гг. (рисунок 5);

- population field: поле, содержащее числовые значения, в частности данные о количестве зараженных животных (случаи бешенства).

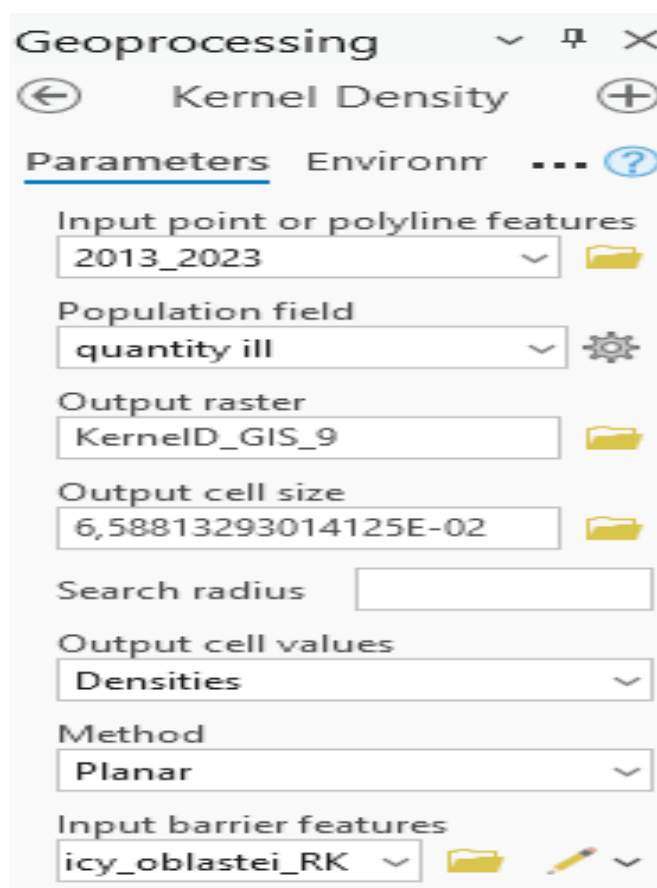


Рисунок 5 – Настройка параметров инструмента «Kernel Density»

Полученные данные визуализируются с помощью применения тепловой карты Heatmap, которая наглядно демонстрирует через интенсивность цвета высокие и низкие значения плотности объектов.

5. Пространственно-временной анализ бешенства животных (Space Time Kernel Density)

Метод Space Time Kernel Density представляет собой расширение традиционного метода Kernel Density (KDE), учитывающее не только пространственное, но и временное распределение данных, что позволяет определить кластеры заболеваемости бешенством с учетом временной динамики.

Для проведения анализа использовались входные точки базы данных по бешенству животных 2013-2024 гг., где оценка проводилась по количеству случаев, устанавливались временные интервалы – «день», радиусы поиска и единицы измерения «метр» (рисунок 6).

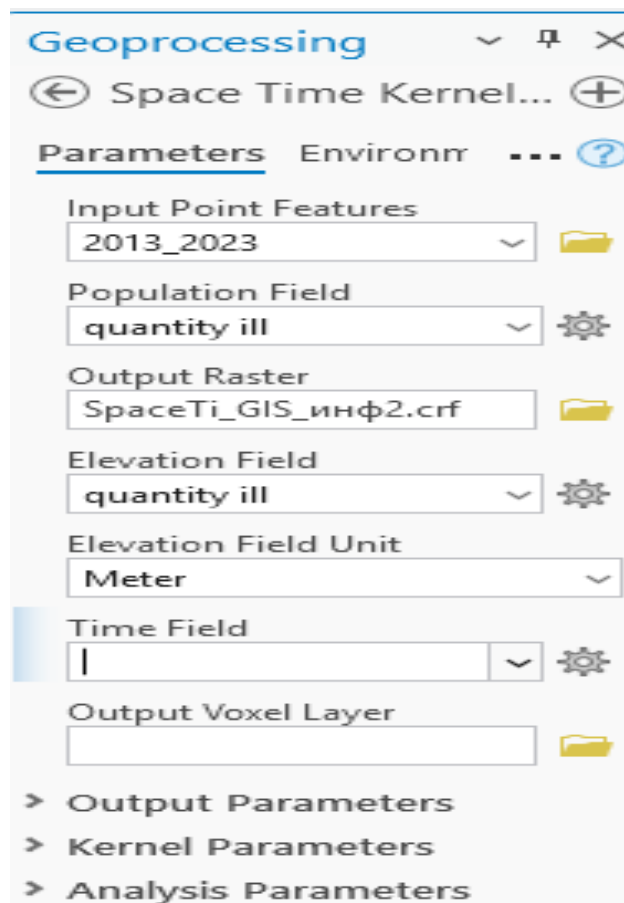


Рисунок 6 – Настройка параметров инструмента Space Time Kernel Density

Интерпретация результатов проводится по определению цветового градиента, где:

- фиолетовые точки – зарегистрированные случаи бешенства животных в течение анализируемого периода;
- градиент фиолетового цвета – зоны с разной плотностью очагов заражения. Чем темнее область, тем выше плотность случаев бешенства;
- пунктирные линии – границы административных областей Казахстана

Факторный анализ бешенства с использованием инструментов Geoprocessing программы Arcgis Pro.

Данный анализ проводился на основе БД бешенства и растровых слоев уклона (slope), растительности (vegetation), землепользования (landcover) и высоты над уровнем моря (digital elevation model). Растровые данные исследуемых характеристик использовались с портала ArcGIS Online, вырезались инструментом «Clip raster» по границам республики, после чего проводился анализ командой «Raster calculate», где точечные данные по бешенству также были преобразованы в растровые слои.

Определение развития эпизоотологического процесса бешенства животных при воздействии природно-климатических факторов

Данные исследования проводились путем подсчета очагов и случаев бешенства в соответствующих временных и территориальных пределах с использованием функций MS Excel «СЧЕТЕСЛИ» и «СУММЕСЛИ». При этом

в анализ уже встроен временной лаг, учитывающий длительность инкубационного периода бешенства (от 2 недель до нескольких месяцев), что соответствует минимальным используемым временным интервалам - от сезона (3 месяца) до года (12 месяцев).

Для оценки влияния природно-климатических факторов применялись методы корреляционно-регрессионного анализа, где независимой переменной выступали климатические показатели (аномалии температуры), а зависимой переменной - количество очагов/случаев бешенства. Климатические данные о годовых и сезонных отклонениях от среднегодовых значений были получены из ежегодных климатических бюллетеней Республики Казахстан.

Идентификация пространственных кластеров с оценкой плотности населения с помощью ПО «SatScan»

Для определения пространственных кластеров бешенства животных в зависимости от видового состава зараженных животных использовалась мультиномиальная и пуассоновская модель статистики пространственного сканирования SatScan.

SatScan – программное обеспечение, используемое для обнаружения статистически значимых кластеров заболеваний, включая бешенство животных. В основе SatScan лежит метод пространственно-временного сканирующего анализа, разработанный Мартином Кулдорфом.

Мультиномиальная модель статистики пространственного сканирования SaTScan - метод пространственного (и пространственно-временного) анализа, применяемый для выявления статистически значимых кластеров, основанный на сравнении распределения нескольких категорий событий (например, видов животных или типов очагов) внутри и вне сканирующего окна при предположении мультиномиального распределения.

Задачи мультиномиальной модели в анализе бешенства:

- выявление пространственно-временных кластеров заболеваемости;
- сравнение зараженности между разными группами (например, дикие vs. домашние животные).

Пространственные кластеры случаев бешенства были выявлены с применением мультиномиальной модели пространственного сканирования, реализованной в программном обеспечении SatScan [29, p. 1252265]. Методология заключалась в поочерёдном наложении круговых окон на все зарегистрированные очаги болезни, с радиусом, варьирующимся до максимума, охватывающего 50% всех случаев. Каждое окно рассматривалось как потенциальный кластер, внутри которого сравнивалось количество наблюдаемых случаев по категориям животных (домашний скот, компаньоны, дикие виды) с ожидаемым распределением при нулевой гипотезе равномерного пространственного распределения. Статистическая значимость каждого кластер-кандидата оценивалась с использованием отношения правдоподобия, полученного посредством 999 последовательных симуляций Монте-Карло.

Выявленные значимые кластеры ($p < 0,01$) были охарактеризованы через:

- а) определение группы восприимчивых видов, для которых наблюдаемое количество случаев превышало ожидаемое значение (O/E);

б) расчёт месячной процентной доли случаев, аккумулированной в течение всего периода существования кластера; в случаях, когда О/Е превышало 1 для нескольких групп видов одновременно, дополнительно оценивалась взаимная корреляция числа зарегистрированных случаев между видами с учётом временных лагов, что позволяло выявлять пространственно-временные взаимодействия между различными популяциями животных;

в) оценка плотности населения (чел./км²) в пределах кластера, которая была рассчитана путем усреднения зональной статистики с использованием растровых данных Gridded Population of the World за 2020 год с пространственным разрешением 30 угловых секунд [101].

Пуассоновская модель статистики пространственного сканирования SaTScan – это статистический метод выявления пространственных и пространственно-временных кластеров, при котором предполагается, что число случаев заболевания в каждой пространственной единице подчиняется пуассоновскому распределению и пропорционально численности популяции (или иной величине риска), что позволяет идентифицировать зоны с статистически значимым превышением или снижением ожидаемого уровня заболеваемости, в том числе при анализе эпизоотического процесса бешенства. Данная модель предполагает нуль-гипотезу о том, что количество случаев бешенства пропорционально численности популяции. Следовательно, местности, в которых число случаев превышает данное ожидаемое количество, требуют повышенного внимания с точки зрения выявления факторов, вызывающих повышенную заболеваемость. В связи с малочисленностью случаев бешенства у диких животных (N=50) и гетерогенностью их пространственного распределения, рассматривались только случаи у сельскохозяйственных животных и животных-компаньонов.

В качестве фоновых данных о численности популяции животных по категориям, необходимых для поиска кластеров с помощью дискретной модели Пуассона, использовались непрерывные растровые данные: для численности населения - полученные с портала Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) за 2020 г. (оригинальное разрешение 30 угловых секунд); для численности популяции крупного рогатого скота – модельные данные FAO с портала Gridded Livestock of the World - GLW 4 за 2015 г. (оригинальное разрешение - 10 км).

Зонирование Республики Казахстан по риску бешенства животных

Данный метод представляет собой зонирование, основанное на оценке пригодности к изучаемым заболеваниям с помощью метода моделирования экологической ниши. Для моделирования использовались ретроспективные данные о вспышках бешенства у животных, разделённых на три видовые категории: домашние, дикие и сельскохозяйственные. В качестве объясняющих переменных рассматривались экологические и ландшафтно-климатические факторы: производные климатических данных BIOCLIM, высота над уровнем моря, тип почвенно-растительного покрова, максимальная доля зеленой растительности и тип почвы [40, p. 174-180; 102].

Для каждого случая фиксировались географические координаты, дата вспышки, количество и вид инфицированных животных, а также административные принадлежности (населённый пункт, район, область). Геообработка и визуализация данных выполнялись с использованием ArcGIS 10.6 (ESRI, США) с надстройкой SDM Toolbox, а моделирование максимальной энтропии проводилось в Maxent (2019). Дополнительная обработка и конвертация файлов выполнялись в Microsoft Excel (Microsoft, США) [40, p. 174-180; 102, p. 134-143].

Метод максимальной энтропии (MaxEnt) использовался для выявления закономерностей распространения вспышек в районах с определённой комбинацией ландшафтно-климатических факторов. Этот подход опирается на данные о присутствии явления, предполагая, что ареал заболевания определяется ареалом возбудителя. В качестве объясняющих переменных применялись геопространственные показатели, отражающие экологические и социально-экономические условия, способствующие поддержанию возбудителя и распространению инфекции. Моделирование позволяет оценить вероятность присутствия возбудителя на каждой территории с учётом максимальной информационной энтропии [40, p. 174-180; 102, p. 134-143].

Прогностическая модель строилась отдельно для трёх категорий животных, с 10 репликациями и до 500 итераций в каждой. В каждой итерации 75% случаев использовались для обучения модели, а 25% - для валидации. Вклад каждой переменной оценивался методом складного ножа, что позволяло выявить наиболее значимые факторы [40, p. 174-180; 102, p. 134-143]. Для компенсации возможной смещённости данных, связанной с повышенной диагностикой вблизи населённых пунктов и дорог [40, p. 174-180; 102, p. 134-143], использовалась сетка плотности основных дорог на основе данных Esri Data & Maps [103], построенная с помощью инструмента «Плотность ядра» в ArcGIS Spatial Analyst [104].

Предсказательная способность модели MaxEnt обычно оценивается по площади под кривой ROC (значение AUC), которая указывает на вероятность того, что случайно выбранная точка присутствия будет оценена моделью как «подходящая», а не «непригодная» [40, p. 174-180; 102, p. 134-143]. AUC >0,7 считается хорошим показателем, а AUC >0,8 - отличным показателем [40, p. 174-180; 102, p. 134-143].

После получения карт рисков, которые представляют собой регулярное распределение по сетке вероятностей вспышек бешенства в РК, карты были обобщены для зонирования на районном уровне в соответствии с практикой ветеринарной службы РК. Для этого уровни риска были интегрированы по районам путем определения среднего значения по каждому району. В дальнейшем полученные значения ранжировали в соответствии с таблицей 2 [30, p. e0004889; 40, p. 174-180; 102, p. 134-143]. Результаты зонирования представлены в виде карт риска по каждому заболеванию.

Таблица 2 – Категории риска распространения бешенства по уровням пригодности территории

Уровень риска (пригодность)	Категория риска
< 10%	Низкий риск
10-25%	Средний риск
25-50%	Высокий риск
>50%	Очень высокий риск

Пространственное прогнозирование и моделирование бешенства животных

С целью оценки подверженности районов РК возникновению случаев бешенства в 2024-2025 г., был применен метод пространственно-временного прогнозирования, основанный на построении временной кривой за весь период наблюдения для каждого района и экстраполяции этой кривой на последующий временной шаг. В основе работы данного метода лежит построение так называемого пространственно-временного куба, где пространственными единицами являются районы РК, а временными шагами - периоды в 1 год с соответствующим количеством случаев бешенства. После построения прогноза для каждого из районов, было проведено пространственное сглаживание полученного результата с помощью поиска пространственных кластеров районов со сходными значениями риска. Степень подгонки кривой к каждому временному ряду измеряется величиной среднеквадратичной ошибки прогноза (RMSE), которая равна квадратному корню из среднего квадрата разницы между значениями кривой и значениями временного ряда. Далее, к каждому ряду была применена модель на основе случайного леса. В основе принципа лежит использование ансамбля многочисленных «деревьев решений», в котором классифицируемые объекты относятся к тому или иному классу на основании «голосования большинства деревьев» (Breiman L. Random Forests. Machine Learning, 2001.). По сравнению с традиционным регрессионным моделированием, данный подход не накладывает существенных ограничений на используемые переменные в отношении их распределения и относительного масштаба. Кроме того, данный инструмент встроен в популярные ГИС-пакеты (в частности, ArcGIS Pro), что позволяет анализировать данные и строить модели в единой среде, не прибегая к дополнительной конвертации данных.

Для построения прогноза был применен метод «случайное блуждание с трендом» (Random Walk with Drift). Данная модель апробирована на предыдущих этапах выполнения проекта и оптимальна для описания временных рядов, последовательные значения которых испытывают случайные колебания вокруг детерминированного тренда.

Процедура моделирования: расчеты проводились с использованием метода Монте-Карло в программной среде @Risk. Было выполнено 10 000 итераций, что обеспечило статистическую устойчивость результатов и позволило оценить не только точечный прогноз, но и диапазон возможных отклонений.

*Анализ ветеринарных мероприятий против бешенства животных в
Казахстане в 2021-2024 гг.*

Программное обеспечение ArcGIS Pro предоставляет мощные инструменты пространственного анализа, с использованием одного из которых (анализ точечных данных) была проведена географическая визуализация очагов инфекции и объемов проводимых ветеринарных мероприятий, в частности вакцинации животных (голов) на определенной административной территории.

Для проведения анализа были использованы сведения из базы данных по бешенству животных 2013-2024, информация о ветеринарных мероприятиях 2021-2024 (на основе информации ВКН МСХ РК), геопространственные методы анализа Arcgis PRO.

Данный анализ проводился с применением инструмента «XY table to point», который позволяет преобразовывать координаты X и Y в точечный слой на карте, в частности были переведены данные по заболеваемости бешенством животных и количество вакцинируемых животных, согласно ежегодным планам проведения ветеринарных мероприятий.

Предварительно, для корректного отображения, была проведена обработка и подготовка данных, произведён подсчет очагов бешенства за последние 3 года, предшествующих проведенной вакцинации, также отражены сведения по эпизоотической ситуации в год проведения вакцинации, на основании ранее перечисленных данных созданы основополагающие табличные данные, включающие информацию о зарегистрированных очагах и объемах вакцинации, согласно плана проведения ветеринарных мероприятий (за предшествующие 3 года и в год проведения вакцинации), затем данные сгруппированы для трех категорий животных: домашние (кошки, собаки), сельскохозяйственные (КРС, МРС, лошади, верблюды), дикие животные (оральная вакцинация) за каждый рассматриваемый год (рисунок 7).

The figure displays three screenshots of an Excel spreadsheet, showing data for various regions. The data is organized into columns for Region, Lat, Lon, and various metrics. The regions listed include Armenia, Azerbaijan, Georgia, and others. The data is presented in a structured table format with multiple rows and columns.

Region	Lat	Lon	Population	Total	Population	Total
Armenia	32.205152	45.755520	4	40,302	1	1,257,282
Azerbaijan	39.000075	47.154505	9	30,762	1	81,020
Georgia	41.854248	43.262181	1	70,000	0	16,946
Abkhazeti	43.277964	38.843860	0	40,302	0	4,000
Abkhazeti	47.106799	51.888881	0	8,000	0	13,153
Abkhazeti	49.607734	43.262181	0	30,762	0	7,137
Abkhazeti	53.214498	47.154505	1	42,250	0	13,153
Abkhazeti	54.842344	45.755520	0	30,762	0	14,500
Abkhazeti	56.138781	47.154505	0	30,762	0	4,000
Abkhazeti	61.655349	51.888881	0	2,450	0	15,546
Abkhazeti	62.205179	55.947725	0	11,812	0	16,418
Abkhazeti	63.000000	54.842344	0	21,241	0	9,343
Abkhazeti	64.215201	55.947725	0	142,250	0	21,241
Abkhazeti	65.000000	57.154505	0	15,546	0	21,241
Abkhazeti	66.000000	58.262181	0	20,762	0	14,500
Abkhazeti	67.000000	59.370000	0	30,762	0	13,153
Abkhazeti	68.000000	60.477725	0	40,302	0	15,546

Рисунок 7 – Предварительный подсчет и формирование табличных данных для каждой категории животных по очагам бешенства (за последние 3 года и в год вакцинации), планируемой вакцинации за 2021 год

Впоследствии эти дифференцированные данные преобразованы в слои карт, где, регулируя символику настроили графические обозначения для рассматриваемых показателей: очаги бешенства за последние 3 года отражены в виде столбчатой диаграммы, план вакцинации в виде тепловой карты «Heatmap», интенсивность цвета которой обозначает высокие значения вакцинации. Ситуация по бешенству в год проведения вакцинации совокупности с остальными рассматриваемыми показателями представлена в виде комбо-диаграммы (рисунки 8, 9).

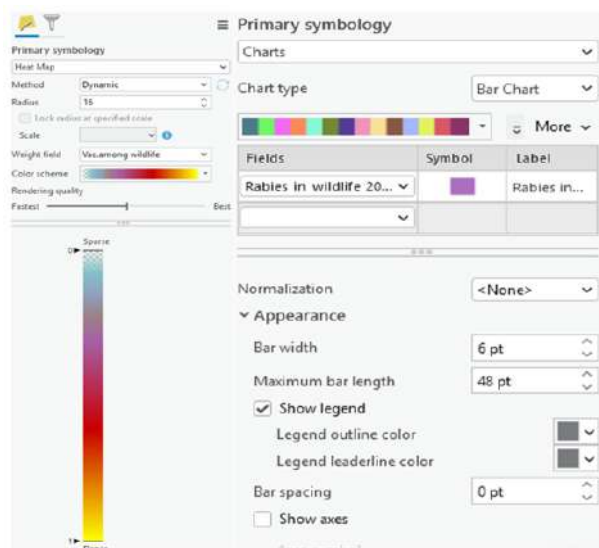


Рисунок 8 – Настройка графических обозначений для рассматриваемых показателей, очаги бешенства – столбчатая диаграмма (bar chart), вакцинация – тепловая карта (heatmap)

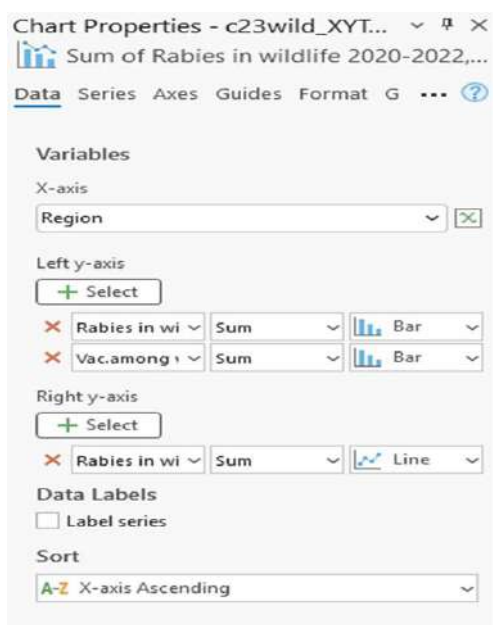


Рисунок 9 – Настройка значений для комбо-диаграммы: очаги бешенства в год проведения вакцинации и вакцинация - столбчатые диаграммы (дифференцированы по цвету), очаги за последние 3 года до вакцинации - линейная диаграмма

2.2 Результаты исследований

2.2.1 Создание информационной базы данных об эпизоотической ситуации по бешенству животных за последние 10 лет (2013-2024)

База данных по бешенству животных представляет собой структурированный набор информации об очагах бешенства в Казахстане с 2013 по 2024 гг. (рисунок 10), распределенный по столбцам и строкам листа, в соответствии с указываемыми показателями MS Excel. В базу данных внесены такие показатели, как: тип местности/населённого пункта (город, село, крестьянское хозяйство и др.), наименование административно-территориальной единицы (село, сельский округ, район, область), где были зарегистрированы очаги бешенства, дата установления очага, пораженный вид, количество животных, координаты неблагополучия местности.

На данный момент база данных насчитывает 998 очага бешенства, в которых бешенство было установлено у 1299 голов животных в период с 2013 по 2024 гг.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	type of county	rural county	district	oblast	year	species	quantity ill	lat_dd	lon_dd	
2	Farm	Karaturyk Orazaly	Yenbeksikazakh	Almaty	04.01.2013	Agricultural	1	43.553735	78.004354	
3	Village	Karamyrza	Karasu	Kostanay	14.01.2013	Agricultural	1	52.547502	65.819624	
4	City	Taraz city	Taraz city	Zhambyl	16.01.2013	Agricultural	1	42.899657	71.392727	
5	Village	Karabulak	Zaisan	Vostochno-Kazakhstanskaya	16.01.2013	Agricultural	3	47.551434	84.682376	
6	Village	Sazdy	Aktobe city	Aktobe	17.01.2013	Companion	2	50.171291	57.071722	
7	Village	Komsomol	Hromtau	Aktobe	24.01.2013	Companion	1	50.160334	57.609399	
8	Village	Berezovka	Burli	Zapadno-Kazakhstanskaya	25.01.2013	Companion	1	51.206457	53.341494	
9	Village	Zhyly su	Zhetysay	Yuzhno-Kazakhstanskaya	31.01.2013	Companion	1	40.815282	68.174009	
10	Village	Sarga	Beineu	Mangystau	31.01.2013	Companion	1	45.464290	55.068991	
11	City	Taraz city	Taraz city	Zhambyl	06.02.2013	Companion	1	42.899657	71.392727	
12	Farm	Karaarna	Zhylyoi	Atyrau	07.02.2013	Agricultural	1	46.232276	53.371292	
13	Farm	Kenbidaiyk	Korgalzhyn	Akmola	09.02.2013	Agricultural	17	50.739723	70.609612	
14	Farm	Koram	Yenbeksikazakh	Almaty	11.02.2013	Agricultural	1	43.540955	78.169502	
15	Village	Berezovka	Burli	Zapadno-Kazakhstanskaya	12.02.2013	Companion	1	51.206457	53.341494	
16	Farm	Kosoba	Syrym	Zapadno-Kazakhstanskaya	12.02.2013	Agricultural	1	50.082339	52.319445	
17	City	Taraz city	Taraz city	Zhambyl	12.02.2013	Companion	1	42.899657	71.392727	
18	Village	Arykty	Korgalzhyn	Akmola	12.02.2013	Companion	2	50.637062	70.563276	
19	Village	Kyigan	Tarbagatai	Vostochno-Kazakhstanskaya	13.02.2013	Agricultural	5	47.451034	83.535228	
20	Village	Kushum	Baiterek	Zapadno-Kazakhstanskaya	14.02.2013	Companion	1	50.872731	51.132079	
21	Farm	Abay akm	Yegindykol	Akmola	14.02.2013	Companion	1	50.719973	69.519838	
22	Village	Algabas syrym	Syrym	Zapadno-Kazakhstanskaya	14.02.2013	Agricultural	12	50.664972	52.111665	
23	Village	Sulukol baiterek	Baiterek	Zapadno-Kazakhstanskaya	14.02.2013	Agricultural	1	51.652422	52.177260	

Рисунок 10 – База данных по регистрации бешенства животных на территории РК в 2013-2024 г.

Для полного и разностороннего анализа бешенства проводились различные расчёты, как и по количеству очагов, так и по количеству зараженных животных в зависимости от административной территории (область, район, населенный пункт), для определения месячного, квартального, годового распределения, видовые характеристики, также рассчитанные по определённым областям и регионам (рисунок 11).

№ п/п	наим	регионы	область	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047		2048		2049		2050		2051		2052		2053		2054		2055		2056		2057		2058		2059		2060		2061		2062		2063		2064		2065		2066		2067		2068		2069		2070		2071		2072		2073		2074		2075		2076		2077		2078		2079		2080		2081		2082		2083		2084		2085		2086		2087		2088		2089		2090		2091		2092		2093		2094		2095		2096		2097		2098		2099		2100		2101		2102		2103		2104		2105		2106		2107		2108		2109		2110		2111		2112		2113		2114		2115		2116		2117		2118		2119		2120		2121		2122		2123		2124		2125		2126		2127		2128		2129		2130		2131		2132		2133		2134		2135		2136		2137		2138		2139		2140		2141		2142		2143		2144		2145		2146		2147		2148		2149		2150		2151		2152		2153		2154		2155		2156		2157		2158		2159		2160		2161		2162		2163		2164		2165		2166		2167		2168		2169		2170		2171		2172		2173		2174		2175		2176		2177		2178		2179		2180		2181		2182		2183		2184		2185		2186		2187		2188		2189		2190		2191		2192		2193		2194		2195		2196		2197		2198		2199		2200		2201		2202		2203		2204		2205		2206		2207		2208		2209		2210		2211		2212		2213		2214		2215		2216		2217		2218		2219		2220		2221		2222		2223		2224		2225		2226		2227		2228		2229		2230		2231		2232		2233		2234		2235		2236		2237		2238		2239		2240		2241		2242		2243		2244		2245		2246		2247		2248		2249		2250		2251		2252		2253		2254		2255		2256		2257		2258		2259		2260		2261		2262		2263		2264		2265		2266		2267		2268		2269		2270		2271		2272		2273		2274		2275		2276		2277		2278		2279		2280		2281		2282		2283		2284		2285		2286		2287		2288		2289		2290		2291		2292		2293		2294		2295		2296		2297		2298		2299		2300		2301		2302		2303		2304		2305		2306		2307		2308		2309		2310		2311		2312		2313		2314		2315		2316		2317		2318		2319		2320		2321		2322		2323		2324		2325		2326		2327		2328		2329		2330		2331		2332		2333		2334		2335		2336		2337		2338		2339		2340		2341		2342		2343		2344		2345		2346		2347		2348		2349		2350		2351		2352		2353		2354		2355		2356		2357		2358		2359		2360		2361		2362		2363		2364		2365		2366		2367		2368		2369		2370		2371		2372		2373		2374		2375		2376		2377		2378		2379		2380		2381		2382		2383		2384		2385		2386		2387		2388		2389		2390		2391		2392		2393		2394		2395		2396		2397		2398		2399		2400		2401		2402		2403		2404		2405		2406		2407		2408		2409		2410		2411		2412		2413		2414		2415		2416		2417		2418		2419		2420		2421		2422		2423		2424		2425		2426		2427		2428		2429		2430		2431		2432		2433		2434		2435		2436		2437		2438		2439		2440		2441		2442		2443		2444		2445		2446		2447		2448		2449		2450		2451		2452		2453		2454		2455		2456		2457		2458		2459		2460		2461		2462		2463		2464		2465		2466		2467		2468		2469		2470		2471		2472		2473		2474		2475		2476		2477		2478		2479		2480		2481		2482		2483		2484		2485		2486		2487		2488		2489		2490		2491		2492		2493		2494		2495		2496		2497		2498		2499		2500		2501		2502		2503		2504		2505		2506		2507		2508		2509		2510		2511		2512		2513		2514		2515		2516		2517		2518		2519		2520		2521		2522		2523		2524		2525		2526		2527		2528		2529		2530		2531		2532		2533		2534		2535		2536		2537		2538		2539		2540		2541		2542		2543		2544		2545		2546		2547		2548		2549		2550		2551		2552		2553		2554		2555		2556		2557		2558		2559		2560		2561		2562		2563		2564		2565		2566		2567		2568		2569		2570		2571		2572		2573		2574		2575		2576		2577		2578		2579		2580		2581		2582		2583		2584		2585		2586		2587		2588		2589		2590		2591		2592		2593		2594		2595		2596		2597		2598		2599		2600		2601		2602		2603		2604		2605		2606		2607		2608		2609		2610		2611		2612		2613		2614		2615		2616		2617		2618		2619		2620		2621		2622		2623		2624		2625		2626		2627		2628		2629		2630		2631		2632		2633		2634		2635		2636		2637		2638		2639		2640		2641		2642		2643		2644		2645		2646		2647		2648		2649		2650		2651		2652		2653		2654		2655		2656		2657		2658		2659		2660		2661		2662		2663		2664		2665		2666		2667		2668		2669		2670		2671		2672		2673		2674		2675		2676		2677		2678		2679		2680		2681		2682		2683		2684		2685		2686		2687		2688		2689		2690		2691		2692		2693		2694		2695		2696		2697		2698		2699		2700		2701		2702		2703		2704		2705		2706		2707		2708		2709		2710		2711		2712		2713		2714		2715		2716		2717		2718		2719		2720		2721		2722		2723		2724		2725		2726		2727		2728		2729		2730		2731		2732		2733		2734		2735		2736		2737		2738		2739		2740		2741		2742		2743		2744		2745		2746		2747		2748		2749		2750		2751		2752		2753		2754		2755		2756		2757		2758		2759		2760		2761		2762		2763		2764		2765		2766		2767		2768		2769		2770		2771		2772		2773		2774		2775		2776		2777		2778		2779		2780		2781		2782		2783		2784		2785		2786		2787		2788		2789		2790		2791		2792		2793		2794		2795		2796		2797		2798		2799		2800		2801		2802		2803		2804		2805		2806		2807		2808		2809		2810		2811		2812		2813		2814		2815		2816		2817		2818		2819		2820		2821		2822		2823		2824		2825		2826		2827		2828		2829		2830		2831		2832		2833		2834		2835		2836		2837		2838		2839		2840		2841		2842		2843		2844		2845		2846		2847		2848		2849		2850		2851		2852		2853		2854		2855		2856		2857		2858		2859		2860		2861		2862		2863		2864		2865		2866		2867		2868		2869		2870		2871		2872		2873		2874		2875		2876		2877		2878		2879		2880		2881		2882		2883		2884		2885		2886		2887		2888		2889		2890		2891		2892		2893		2894		2895		2896		2897		2898		2899		2900		2901		2902		2903		2904		2905		2906		2907		2908		2909		2910		2911		2912		2913		2914		2915		2916		2917		2918		2919		2920		2921		2922		2923		2924		2925		2926		2927		2928		2929		2930		2931		2932		2933		2934		2935		2936		2937		2938		2939		2940		2941		2942		2943		2944		2945		2946		2947		2948		2949		2950		2951		2952		2953		2954		2955		2956		2957		2958		2959		2960		2961		2962		2963		2964		2965		2966		2967		2968		2969		2970		2971		2972		2973		2974		2975		2976		2977		2978		2979		2980		2981		2982		2983		2984		2985		2986		2987		2988		2989		2990		2991		2992		2993		2994		2995		2996		2997		2998		2999		3000		3001		3002		3003		3004		3005		3006		3007		3008		3009		3010		3011		3012		3013		3014		3015		3016		3017		3018		3019		3020		3021		3022		3023		3024		3025		3026		3027		3028		3029		3030		3031		3032		3033		3034		3035		3036		3037		3038		3039		3040	
-------	------	---------	---------	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--

В соответствии с таблицей 3, по результатам подсчета был проведен межвидовой анализ с использованием методов корреляционно-регрессионного анализа, где между домашними и сельскохозяйственными животными коэффициент корреляции $R^2=0,5$, что свидетельствует о положительной взаимосвязи, между сельскохозяйственными и дикими $R^2=0,1$, между домашними и дикими животными установлена отрицательная корреляция $R^2=-0,5$, что означает, что при возможном увеличении числа случаев бешенства среди диких животных установлено уменьшение числа случаев среди домашних животных.

На основе рассчитанных данных для оперативного восприятия информации и принятия соответствующих выводов данные были преобразованы в диаграммы (рисунок 12).

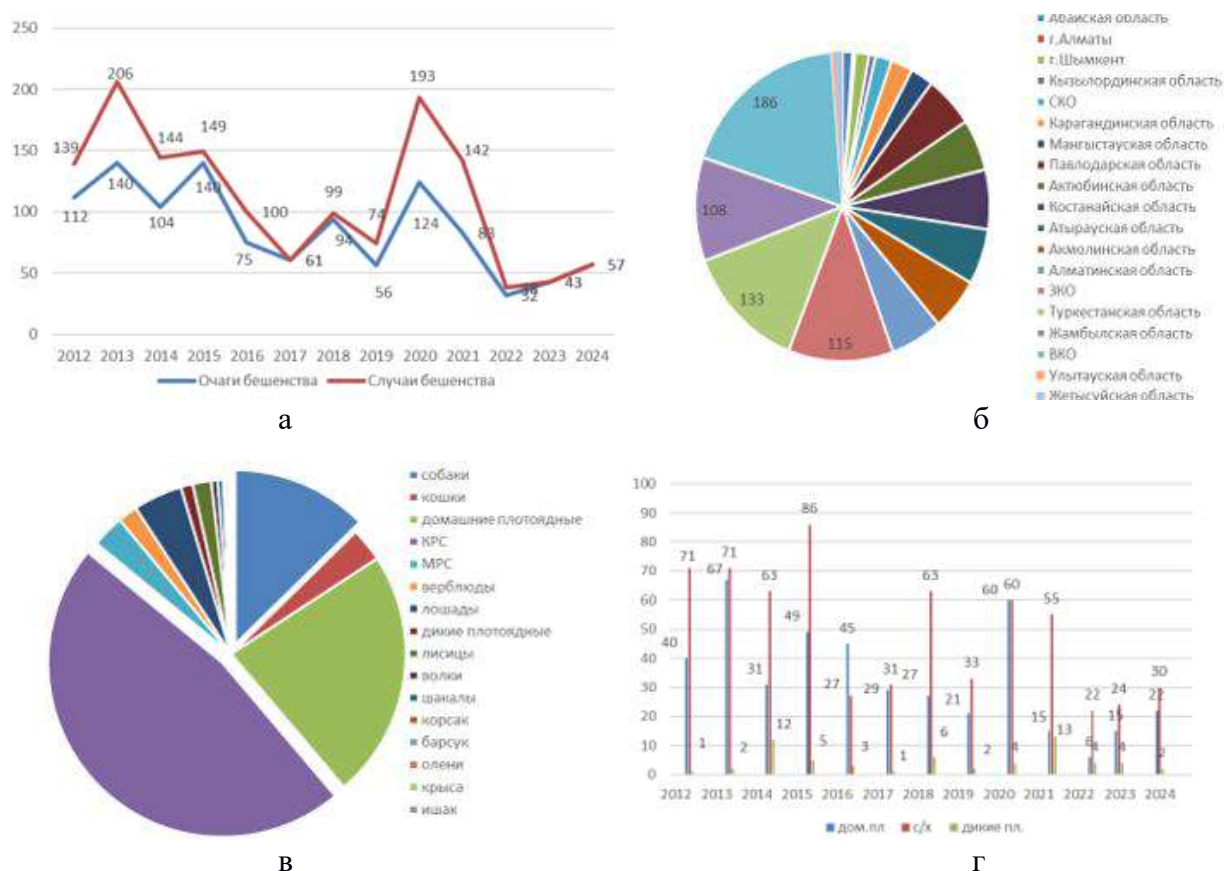


Рисунок 12 – Диаграммы эпизоотологических характеристик распространения бешенства

На основании собранных и обработанных данных по бешенству также была создана БД в Arcgis PRO в форматах Geodatabase (.gdb) и CSV (.csv), с использованием которой были проведены пространственный и другие виды анализа (рисунок 13).

OBJECTID	name of county	rural county	district	animal	year	species	quantity	ill	fat	fat	fat	fat	fat	fat	fat	fat	fat	fat	fat	fat	fat	fat
1	Form	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	45.55777	75.544354	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
2	Village	Kazakhstan	Kazakhstan	Kazakhstan	2013	Agroclimatic	1	52.54752	85.81804	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
3	City	Taraz city	Taraz city	Zharkent	2013	Agroclimatic	1	42.89457	71.54777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
4	Village	Kazakhstan	Zharkent	North Kazakhstan	2013	Agroclimatic	3	47.55434	84.84376	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
5	Village	South	South city	Almaty	2013	Agroclimatic	2	50.57181	82.07777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
6	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	46.58814	82.84888	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
7	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	51.58411	83.54184	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
8	Village	Zharkent	Zharkent	North Kazakhstan	2013	Agroclimatic	1	49.51281	88.14588	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
9	Village	South	South city	Almaty	2013	Agroclimatic	1	46.58428	88.14588	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
10	City	Taraz city	Taraz city	Zharkent	2013	Agroclimatic	1	42.89457	71.54777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
11	Form	Kazakhstan	Zharkent	North Kazakhstan	2013	Agroclimatic	1	46.58428	88.14588	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
12	Form	Kazakhstan	Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	17	50.57181	82.07777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
13	Form	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	43.54555	75.14555	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
14	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	46.58428	88.14588	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
15	Form	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	50.57181	82.07777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
16	City	Taraz city	Taraz city	Zharkent	2013	Agroclimatic	1	42.89457	71.54777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
17	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	2	50.57181	82.07777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
18	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	5	47.55434	84.84376	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
19	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	50.57181	82.07777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
20	Form	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	50.57181	82.07777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
21	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	12	50.57181	82.07777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
22	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	51.58411	83.54184	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>
23	Village	Kazakhstan	North Kazakhstan	Almaty	2013	Agroclimatic	1	50.57181	82.07777	Nafta	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>	<Nafta>

Рисунок 13 – База данных (Gdb) бешенства животных в Arcgis Pro

В ArcGIS Pro есть удобные инструменты подсчета данных с последующей графической визуализацией. Вызов атрибутивной таблицы точечных данных по бешенству животных показал, что наибольшее количество очагов среди сельских и городских населенных пунктов приходится на г. Семей (35 очагов), как показано на рисунке, такие же расчеты и графические отображения можно сделать по районам и областям, где среди областей наибольшее число очагов установлено в Восточно-Казахстанской области - 186 очаг, наименьшее в Кызылординской - 7 очагов (рисунки 14, 15).



Рисунок 14 – Подсчет количества неблагополучных по бешенству населенных пунктов

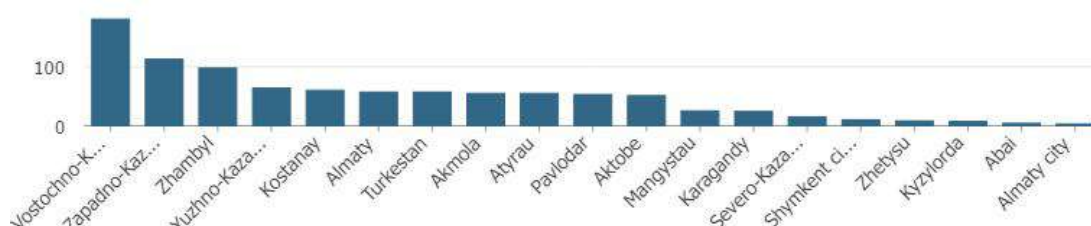


Рисунок 15 – Подсчет количества неблагополучных по бешенству областей и городов республиканского значения

2.2.2 Выявление закономерностей развития эпизоотического процесса бешенства на основе аналитической обработки базы данных по бешенству животных с использованием инструментов ArcGis Pro

2.2.2.1 Общая визуализация очагов бешенства с 2013 по 2024 гг.

На карте (рисунок 16) представлены очаги бешенства животных в Казахстане, распределенные по категориям: сельскохозяйственные (Agricultural) - голубые точки; домашние (Companion) - фиолетовые точки; дикие животные (Wild life) - оранжевые точки.

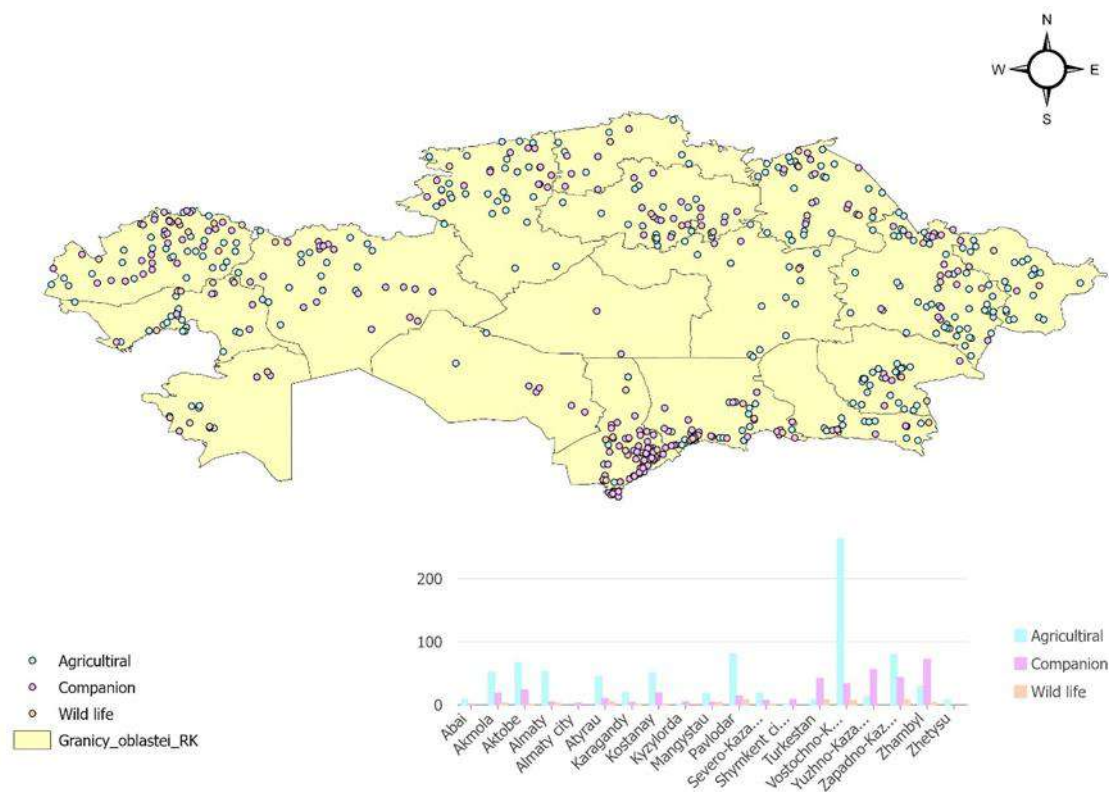


Рисунок 16 – Распределение очагов бешенства животных в 2013-2024 гг.

В соответствии с данными карты наблюдается географически повсеместное распространение очагов бешенства, с наибольшей концентрацией на западе, севере, востоке и юго-востоке, и юге страны, тогда как в центральной и юго-западной части страны отмечено гораздо меньшее количество очагов.

Ранжируя по категориям животных и регионам страны, можно заметить, что очаги бешенства среди сельскохозяйственных животных распространены на западе, севере, северо-востоке и юго-востоке страны. Очаги бешенства среди животных-компаньонов чаще регистрируются в городах и в южной части страны. Очаги бешенства среди диких животных установлены также повсеместно, однако в меньших количествах.

Согласно гистограмме очевидны выраженные количественные показатели случаев бешенства в Восточно-Казахстанской области среди сельскохозяйственных животных, 77% от общего числа очагов по данной области приходится на сельскохозяйственных животных.

Очаги бешенства среди животных-компаньонов разнятся по сравнению с другими областями в Туркестанской (Южно-Казахстанской), Жамбылской областях, что в общей сумме составляет 30% от территории страны, также регистрируются в Восточно-Казахстанской и Западно-Казахстанской областях.

Бешенство среди диких животных установлено в Атырауской, Павлодарской, Туркестанской, Восточно-Казахстанской, Западно-Казахстанской областях.

На основании карты очагов бешенства животных в Казахстане выявлено повсеместное распространение заболевания с различной концентрацией по регионам и категориям животных. Наибольшая плотность очагов зафиксирована на западе, севере, востоке и юге страны. Очаги среди сельскохозяйственных животных преобладают в северо-восточных и западных регионах, животных-компаньонов – преимущественно в южных областях и городских центрах, диких животных – повсеместно, но в меньшем количестве. Такие различия отражают видоспецифические особенности распространения бешенства и позволяют выделить приоритетные территории для профилактических мероприятий и адресной вакцинации.

2.2.2.2 Анализ видовых особенностей распространения бешенства животных

Полученные ниже карты представляют собой результат анализа плотности очагов бешенства среди 3 категорий видов животных, выполненный с помощью инструмента «Kernel Density» (рисунки 17, 18, 19):

1. Сельскохозяйственные животные. На востоке страны зафиксирована наибольшая плотность очагов бешенства среди сельскохозяйственных животных (зона высокой плотности выделена темно-фиолетовым цветом, рисунок 17). В северных и западных регионах очаги менее концентрированы, что указывает на локальные эпидемические очаги. Центральная часть Казахстана демонстрирует минимальную неблагополучность по данному виду животных.

2. Животные-компаньоны. Наибольшая плотность очагов среди домашних животных наблюдается в южных областях с высокой плотностью населения (рисунок 18). В западных и северных регионах отмечается средняя плотность очагов, отражающая периодические вспышки инфекции. Центральные районы страны характеризуются минимальным распространением, что связано с низкой численностью домашних животных и малой плотностью населения.

3. Дикie животные. Наибольшая концентрация случаев бешенства среди диких животных выявлена в западных, южных, восточных и северо-восточных регионах (рисунок 19), что связано с высокой численностью хищников (лисы, шакалы, волки). В остальной территории страны плотность очагов умеренная, низкая или отсутствует полностью.

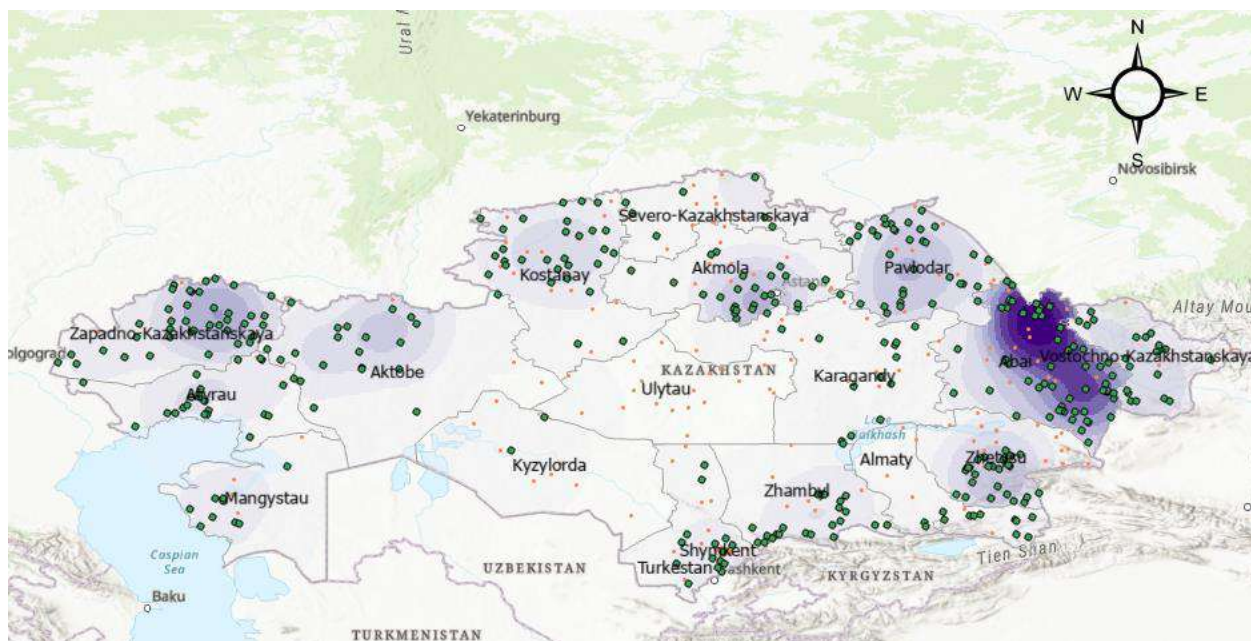


Рисунок 17 – Оценка плотности случаев бешенства среди сельскохозяйственных животных

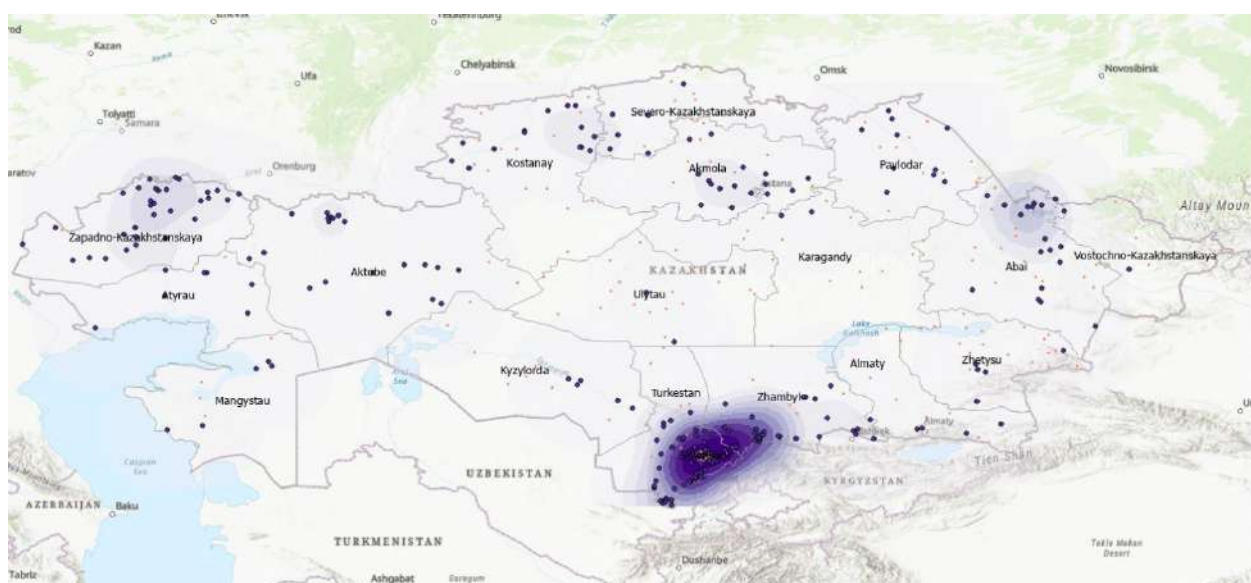


Рисунок 18 – Оценка плотности случаев бешенства среди животных-компаньонов (домашних животных)

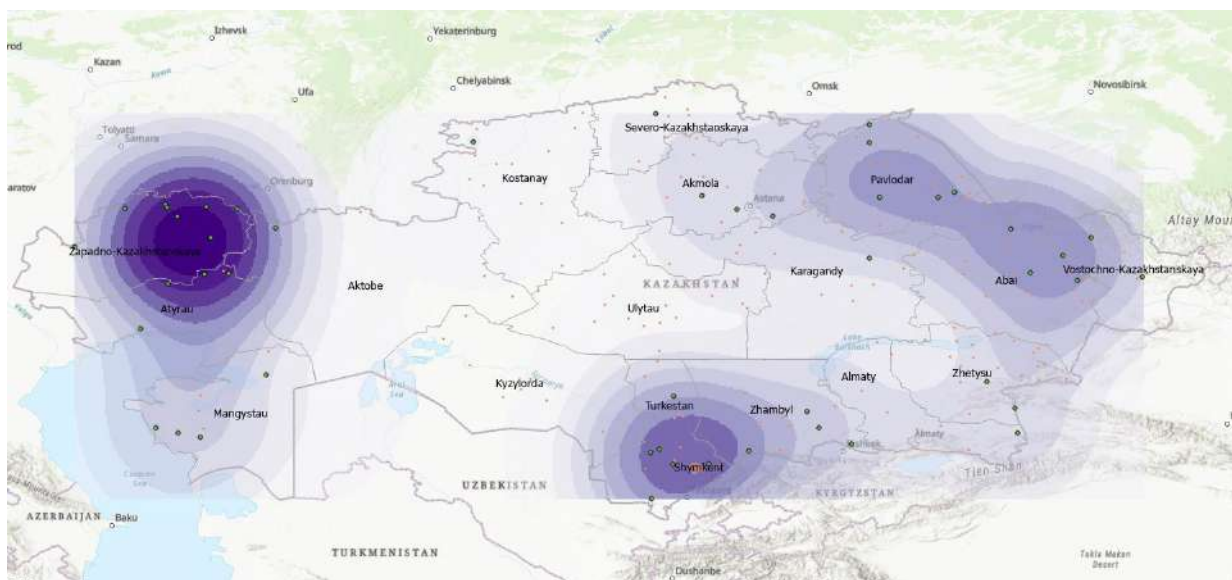


Рисунок 19 – Оценка плотности случаев бешенства среди диких животных

Анализ карт плотности выявил видоспецифические закономерности распространения бешенства: восток и северо-восток страны неблагоприятны среди сельскохозяйственных животных, юг – для домашних животных, а дикие животные формируют очаги в западных, южных и северо-восточных регионах. Центральная часть страны стабильно характеризуется минимальной заболеваемостью по всем категориям. Эти данные позволяют выделить приоритетные территории для адресной профилактики и оптимизации вакцинации с учётом видовой принадлежности животных и региональных особенностей эпизоотического процесса. При этом высокая регистрация очагов бешенства среди сельскохозяйственных животных следует рассматривать лишь как индикатор скрытого эпизоотического процесса, поскольку стойловое содержание и своевременное выявление клинических признаков способствуют оперативной фиксации случаев. Это позволяет предположить о ранее произошедших контактах животных с источником инфекции во время выпаса в весенне-летне-осенний период, в зависимости от природно-климатических условий. Так, 2020 год, характеризующийся высокой заболеваемостью (193 случая), одновременно был одним из самых тёплых лет с аномалией среднегодовой температуры воздуха более $1,5^{\circ}\text{C}$, что могло способствовать активизации эпизоотического процесса.

2.2.2.3 Мультивариативный анализ очагов бешенства животных

Мультивариативный анализ показывает, что на каждый очаг приходится в большинстве случаев 1 зараженное животное. Так, согласно полученной карте (рисунок 20), очаги бешенства с усредненным числом зараженных животных, равным 1, присутствуют по всей территории страны, составляя преобладающее большинство.

Преобладание синих точек (1-3 случая в очаге) возможно говорит о локальных вспышках с ограниченным распространением, при этом в ходе формировании базы данных, при анализе и подсчетах очагов была замечена

последовательная регистрация бешенства в одном населенном пункте или соседних населенных пунктах в течении нескольких дней, недель, месяца, что возможно свидетельствует о едином источнике заражения. Впоследствии на близлежащих территориях, согласно аналитической обработке данных по бешенству, обнаруживается источник спорадических случаев бешенства, в виде зараженного представителя дикой фауны.

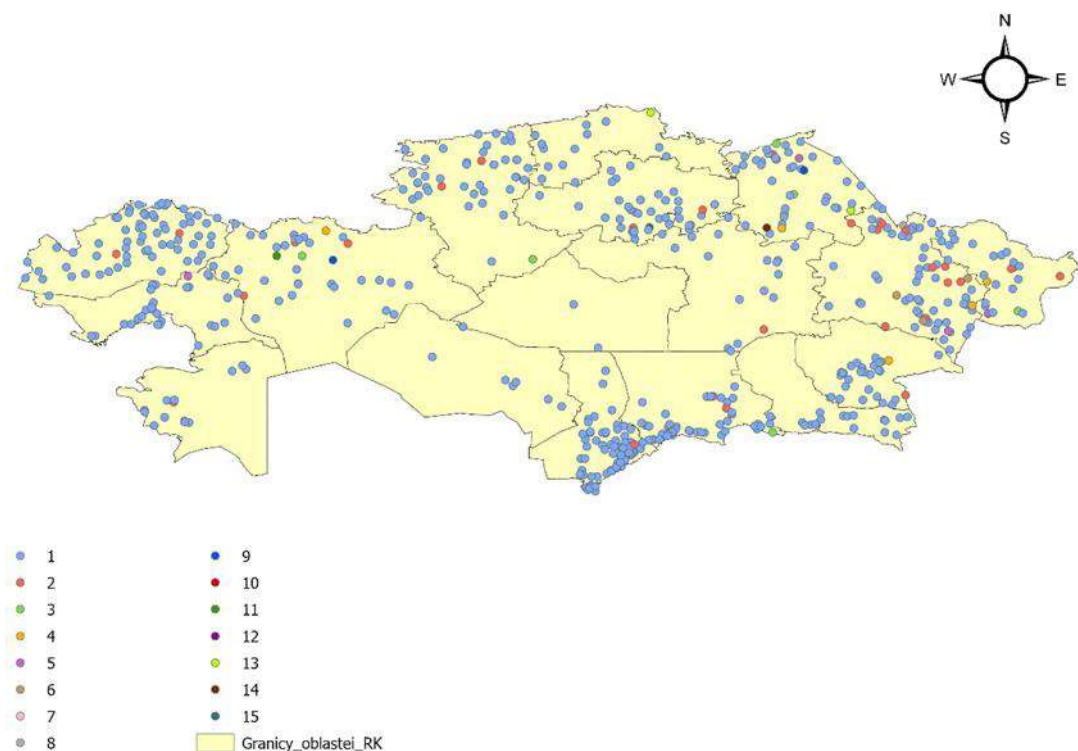


Рисунок 20 – Мультивариативный анализ бешенства животных

Красные, зеленые и черные точки (более 5-10 случаев в одном очаге) наблюдаются реже, но указывают на крупные вспышки, отмеченные на административных территориях Восточно-Казахстанской, Абайской, в последние годы на территории Павлодарской областях, также в некоторых областях западных и южных регионов.

В вышеперечисленных областях также зарегистрированы очаги с количеством зараженных животных от 10 до 15 голов, так в марте 2020 года в Павлодарской области зарегистрирован крупный очаг с количеством зараженных животных = 14, в селе Кундыколь, Баянаульского района, в категории сельскохозяйственные животные.

Анализ карты мультивариативного распределения очагов показывает, что большинство очагов включает по одному заражённому животному, что соответствует локальным вспышкам с ограниченным распространением. Реже встречаются очаги с большим числом заражённых (5-15 животных), которые характеризуют крупные эпизодические вспышки в отдельных административных регионах (Восточно-Казахстанская, Абайская, Павлодарская области, а также в отдельных районах западных и южных областей).

Последовательная регистрация случаев в одном или соседних населённых пунктах указывает на возможное существование единого источника заражения, с последующим распространением на близлежащие территории через представителей дикой фауны. Таким образом, карта демонстрирует как преобладание мелких очагов с ограниченным числом заражённых, так и редкие крупные вспышки, что отражает видоспецифические и территориальные особенности эпизоотического процесса.

2.2.2.4 Анализ по типу местности

Данная карта (рисунок 21) показывает распространение очагов бешенства животных в зависимости от типа местности в Казахстане, где города (City) обозначены синими значками, села (Village) – домики с белым фоном, крестьянские хозяйства/фермы (Farm) в виде черных значков с коровой головой, жилые поселения (Housing estate) как коричневые домики, водоемы (Reservoir) в виде зеленых значков.

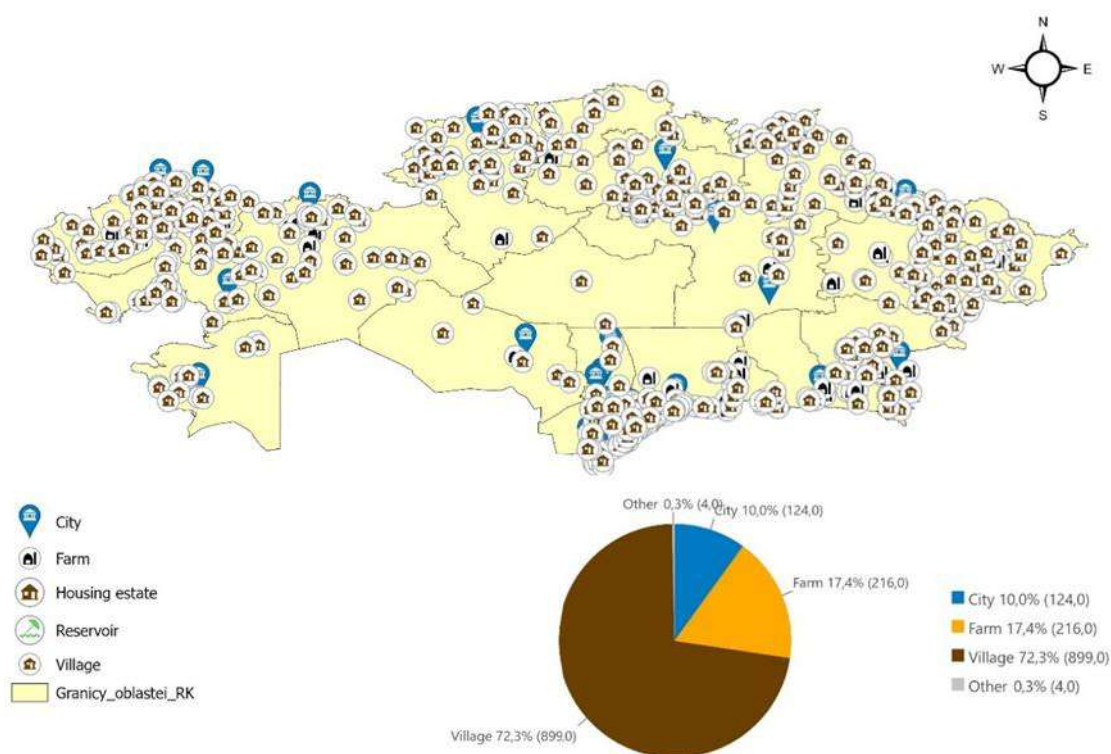


Рисунок 21 – Анализ по типу местности зарегистрированных очагов бешенства животных

Основная концентрация случаев наблюдается в сельской местности (Village, 72,3%), что подтверждает наибольшую уязвимость сельскохозяйственных животных и контакт с дикой природой.

На фермах (Farm, 17,4%) также фиксируется значительное количество очагов, где как ранее отмечалось в мультивариативном исследовании, на один очаг, приходится несколько животных, и зачастую это сельскохозяйственные животные, что в некоторой степени и объясняет высокую регистрацию

бешенства в данной категории, установленную в большинстве случаев в КХ или фермах, логически указывая на один источник вируса, в виде зараженной собаки или дикого животного.

На городские поселения приходится меньшее количество вспышек и очагов в категории домашних животных (City, 10%), что не снижает риск заражения, ввиду наличия неучтенных для проведения плановой вакцинации домашних животных и существующей проблемой бродячих животных.

Регистрация бешенства в остальных типах поселений (0,3%), такие как водоемы зачастую свидетельствуют о случайном обнаружении вируса бешенства при проведении мониторинговых исследованиях, где зараженными животными являются животные-компаньоны или дикие животные.

2.2.2.5 Анализ сезонности случаев бешенства животных

Представленная ниже цветовая карта (рисунок 22) показывает суммарное количество заболевших животных по дням и месяцам года, усредненное за весь период исследования, где сезонные месячные пики заболеваемости распределены следующим образом:

Январь-май: рост очагов бешенства, всплески в начале года; июнь-сентябрь: наблюдается снижение количества случаев; октябрь-декабрь: постепенное увеличение числа заболевших.

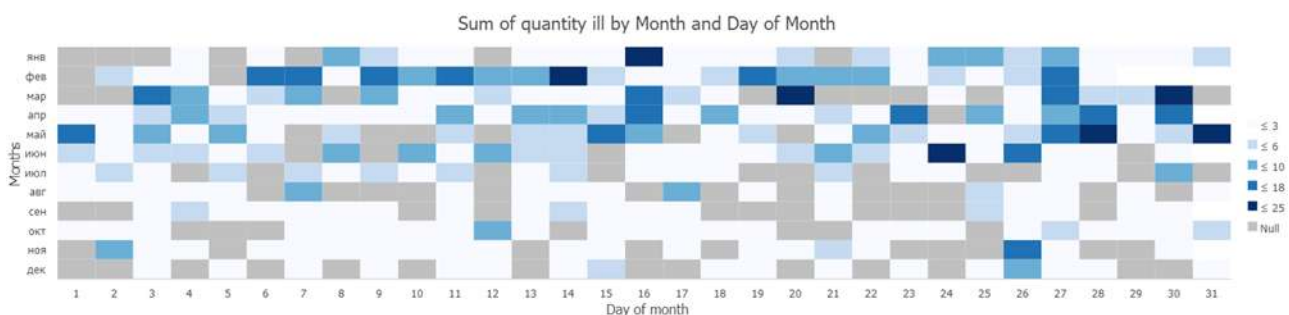


Рисунок 22 – Тепловая карта сезонного проявления бешенства животных

Дневные пики внутри месяцев чаще всего случаи фиксируются в начале и конце месяца, тогда как всплески заболеваемости приходятся на 7-10, 14-16 и 26-28 числа месяца. При этом средние значения варьируются, но видно, что некоторые дни гораздо более подвержены заражению.

2.2.3 Пространственный анализ бешенства животных

2.2.3.1 Пространственная автокорреляция (индекс Морана I)

Проведенный анализ пространственной автокорреляции с использованием z-score (стандартизированного критического значения) и p-value (уровня значимости) установило следующие пространственные особенности:

Высокие z-значения (>2.58 , красные зоны) - свидетельствуют о кластеризации случаев, вероятно, связанные со спорадическими вспышками, согласно статистике, установленными среди сельскохозяйственных (запад,

северо-восток страны) и домашних животных (юг страны), заражение которых зачастую не остается незамеченным

Низкие z-значения (< 2.58 , синие зоны) - свидетельствует о разреженном распределении, что указывает на отсутствие связанных очагов, из-за возможных единичных случаев заражения от мигрирующих животных, этому могут соответствовать вспышки бешенства на территориях ранее благополучных (северная часть республики).

Случайное распределение (жёлтая область) - свидетельствует об отсутствии выраженных закономерностей в передаче вируса, проявленные спорадическими вспышками без явной территориальной привязки (центральные и северные регионы), данные отражены на рисунке 23.

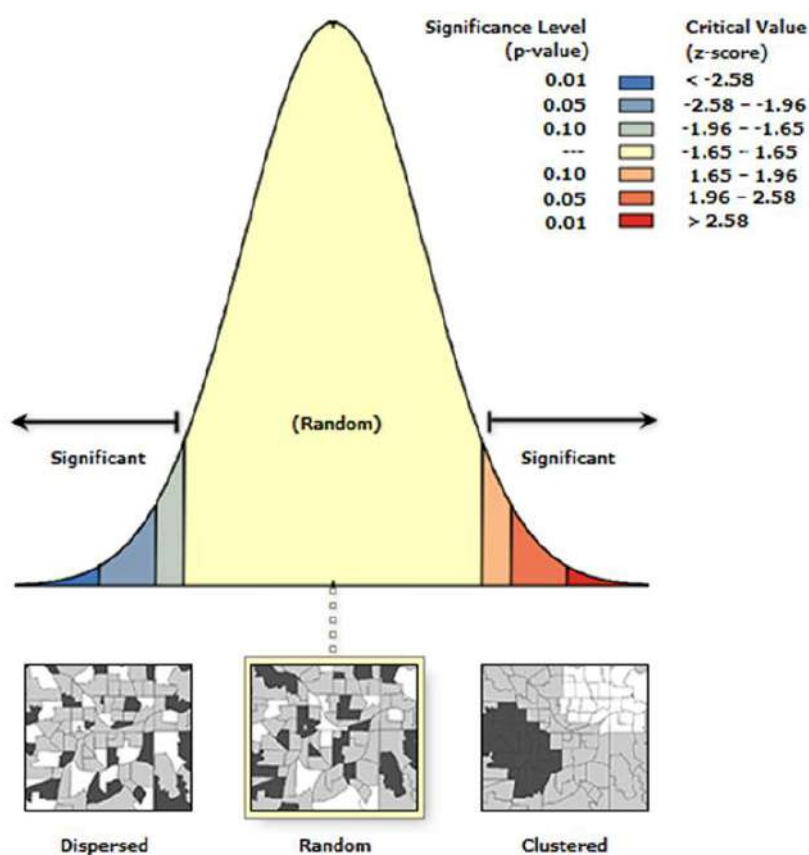


Рисунок 23 – Результаты пространственной корреляции (индекс Морана I)

В ходе проведения анализа пространственной автокорреляции установлены значения и параметры анализа, отраженные в таблицах 4, 5.

Таблица 4 – Global Moran's I краткое содержание

Индекс Морана	0,011556
Ожидаемый индекс	-0,001064
Дисперсия	0,000735
z-оценка	0,465383
p-значение	0,641657

Таблица 5 – Информация о наборе данных

Входной класс пространственных объектов:	GIS_инф_база_данных_все_виды_2013_2023_XYTableToPoint
Поле ввода:	QUANTITY_ILL
Концептуализации:	INVERSE_DISTANCE
Дистанционный метод:	ЕВКЛИДОВО расстояние
Стандартизация ряда:	Истинный
Пороговое расстояние:	196799,8902 метров
Файл матрицы весов:	-
Набор выбора:	Ложный

Анализ пространственной автокорреляции показал наличие территориально выраженных кластеров случаев бешенства среди сельскохозяйственных и домашних животных в западных, северо-восточных и южных регионах, зоны с низкой плотностью указывают на разреженное или случайное распространение, связанное с единичными случаями или миграцией диких животных. Центральные и северные регионы характеризуются спорадическими вспышками без явной территориальной привязки, что отражает неоднородность эпизоотического процесса по территории страны.

2.2.3.2 Кластерный анализ и анализ выбросов (Anselin Local Moran' I)

В ходе данного исследования была получена карта (рисунок 24) с выявленными кластерами и выбросами случаев бешенства животных, где:

High-High clusters (в виде розовых точек) – данные кластеры выявлены на территории западного и северо-восточного регионов (Актюбинская и Абайская области), характеризуются тем, что здесь установлена высокая заболеваемость бешенством, «окруженная» такими же высокими значениями, что означает наличие активных природных очагов инфекции, где вирус активно распространяется дикими животными среди сельскохозяйственных и домашних животных;

High-Low outliers («высокие выбросы», в виде ярко-красных точек) – территории (ЗКО, Атырауская, Костанайская, СКО, Акмолинская, Карагандинская, Туркестанская, Алматинская области), где установлено бешенство, «окруженное» низкими значениями, то есть имеет место регистрация спорадических вспышек бешенства, занесенных на территорию с низкой заболеваемостью;

Low-High outliers («низкие выбросы», в виде тёмно-синих точек) – территории, с низким числом зараженных животных, при «окружении» зонами с высокой зараженностью, что возможно обусловлены эффективностью вакцинации либо наличием природных барьеров виде гор, рек и др. Данные выбросы установлены на территориях западного (ЗКО, Актюбинская области), северного (СКО и Костанайская области) и северо-восточного (Павлодарская, Абайская, ВКО) Казахстана;

Low-Low clusters (в виде голубых точек) – данные территории характеризуются низкой заболеваемостью, «окруженные» такими же низкими

значениями, что возможно свидетельствует о контролируемой эпизоотической обстановке, низкой популяцией зараженных животных либо эффективностью проводимых ветеринарных мероприятий. Данные кластеры установлены на территории южного Казахстана, где распространен городской тип бешенства, источниками которого являются домашние животные. Говоря о возможной эффективности вакцинации стоит отметить, что здесь самые высокие показатели вакцинации бешенства среди домашних животных, кошек и собак, что явно свидетельствует о значительном сдерживании распространения бешенства, но все еще имеющимися пробелами;

Not significant (в виде серых точек) – территории, где не установлена статистически значимая пространственная зависимость, данными значениями обозначена преобладающая территория страны.

No neighbors (в виде чёрных точек) – территории, где возможно отсутствует полная информация для корректного установления соответствующих характеристик.

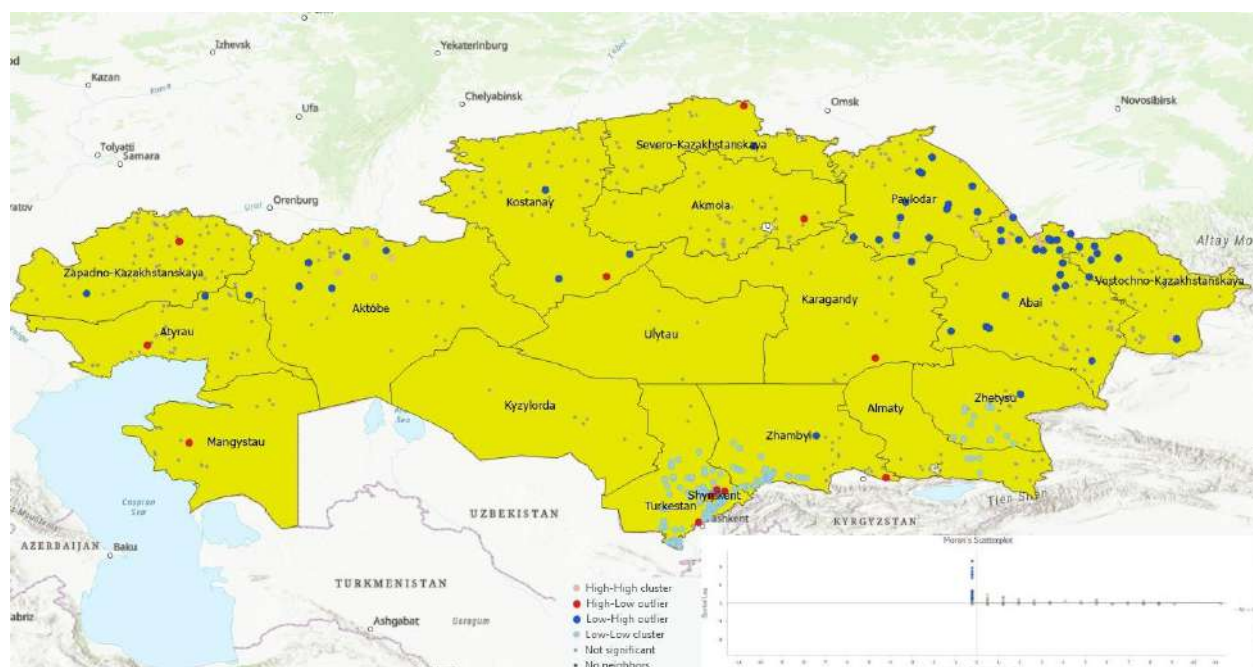


Рисунок 24 – Кластерный анализ и анализ выбросов бешенства животных

График Moran's Scatterplot (анализ пространственной зависимости), на рисунке 24, отображает взаимосвязь между количеством заболевших животных и их пространственным распределением, чем больше точки расположены в крайних областях графика, тем выше уровень кластеризации или выбросов. $R^2 = 0$ указывает, что в данных может быть низкая глобальная пространственная зависимость, но присутствуют локальные кластеры.

2.2.3.3 Анализ горячих точек бешенства животных

На карте (рисунок 25) представлен результат анализа горячих (Hot Spot) и холодных (Cold Spot) точек случаев бешенства животных в Казахстане:

Основные «горячие точки» (зоны высокой заболеваемости) установлены на территории западного Казахстана (Актюбинская область), северного (СКО), северо-восточного Казахстана (Павлодарская и Абайская области) и на востоке - ВКО, вероятно обусловленные активными миграциями диких животных (наличие активных природных очагов бешенства) либо заражением вследствие недостаточной эффективности проводимой вакцинации.

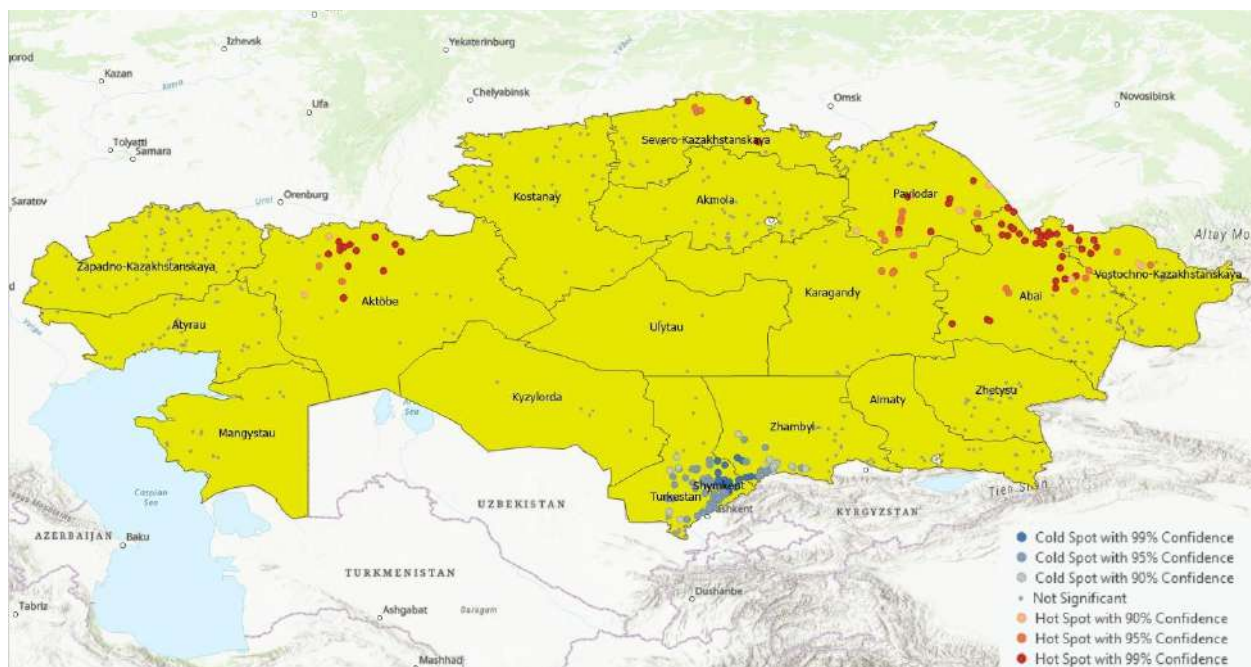


Рисунок 25 – Анализ горячих точек бешенства животных

Основные «холодные точки» (зоны низкой заболеваемости) установлены на юге Казахстана (Алматинская и Жамбылская области). Здесь, как и ранее отмечалось в кластерном анализе и анализе выбросов, возможной причиной установления «холодных точек» является сдерживающее действие проводимой вакцинации среди домашних животных, также высокие показатели проведения оральной иммунизации диких животных (2015-2017, 2022-2023).

2.2.3.4 Оценка плотности точечных данных бешенства животных (Kernel Density)

Карта (рисунок 26) визуализирует пространственное распределение очагов бешенства животных в Казахстане за период 2013-2024 гг. методом Kernel Density Estimation (KDE). Этот метод используется для выявления зон с высокой плотностью заражений, создавая гладкие поверхности, отражающие степень концентрации случаев бешенства.

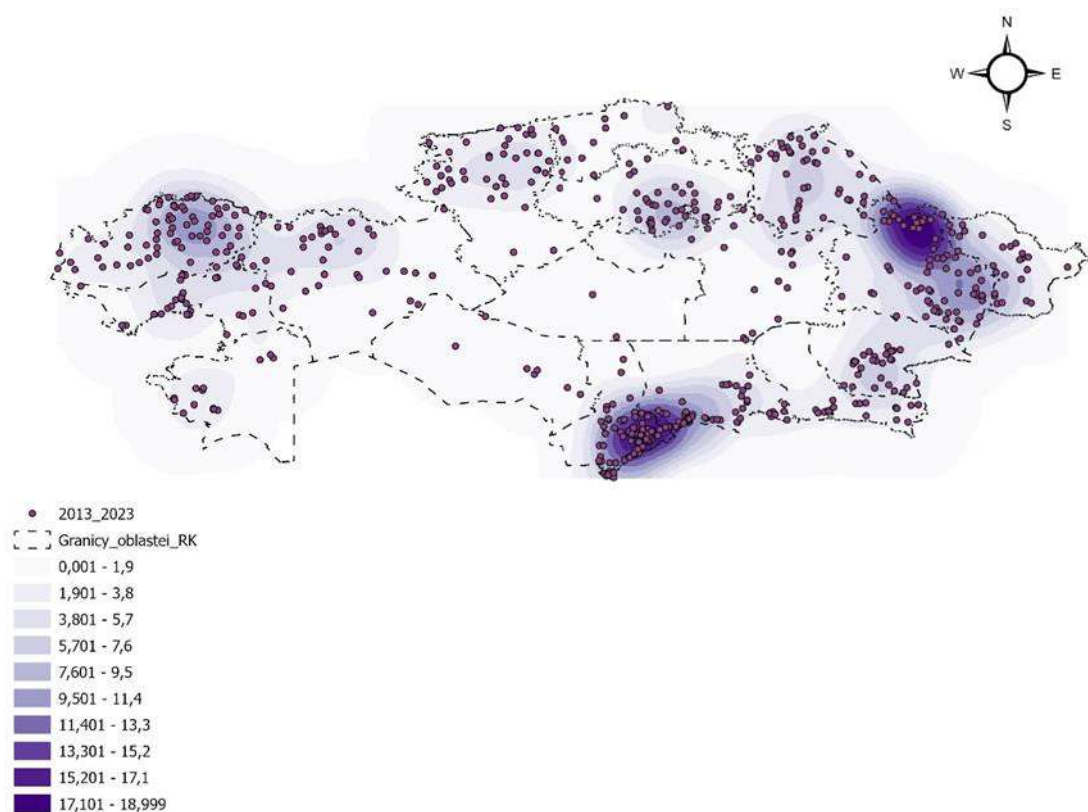


Рисунок 26 – Оценка плотности точечных данных бешенства животных (Kernel Density)

На представленной карте обозначены основные зоны высокой плотности случаев бешенства (горячие зоны) в Западном Казахстане (Западно-Казахстанская и Актюбинская области), Северном и Восточном Казахстане (Северо-Казахстанская, Павлодарская и Восточно-Казахстанская области), а также в Южном Казахстане (Жамбылская и Алматинская области). В Центральном Казахстане (Карагандинская область) зарегистрированы относительно редкие случаи заболевания, что, вероятно, связано с меньшей плотностью населения и численностью сельскохозяйственных животных. В некоторых южных районах низкий уровень заболеваемости может быть обусловлен эффективностью мероприятий по контролю и вакцинации животных.

2.2.3.5 Пространственно-временной анализ бешенства животных (Space Time Kernel Density)

Данная карта (рисунок 27) показывает пространственно-временное распределение случаев бешенства животных в Казахстане за период 2013-2024 гг. с использованием метода ядерной плотности (Space Time Kernel Density).

Основные кластеры средней плотности (затененные фиолетовые области) расположены на Западе Казахстана (Западно-Казахстанская область), севере Казахстана (Костанайская), наиболее выраженные на юге Казахстана (Жамбылская область). Центральные районы Казахстана демонстрируют

меньшую плотность случаев, что может быть связано с низкой плотностью населения и скота, а также географической изоляцией.

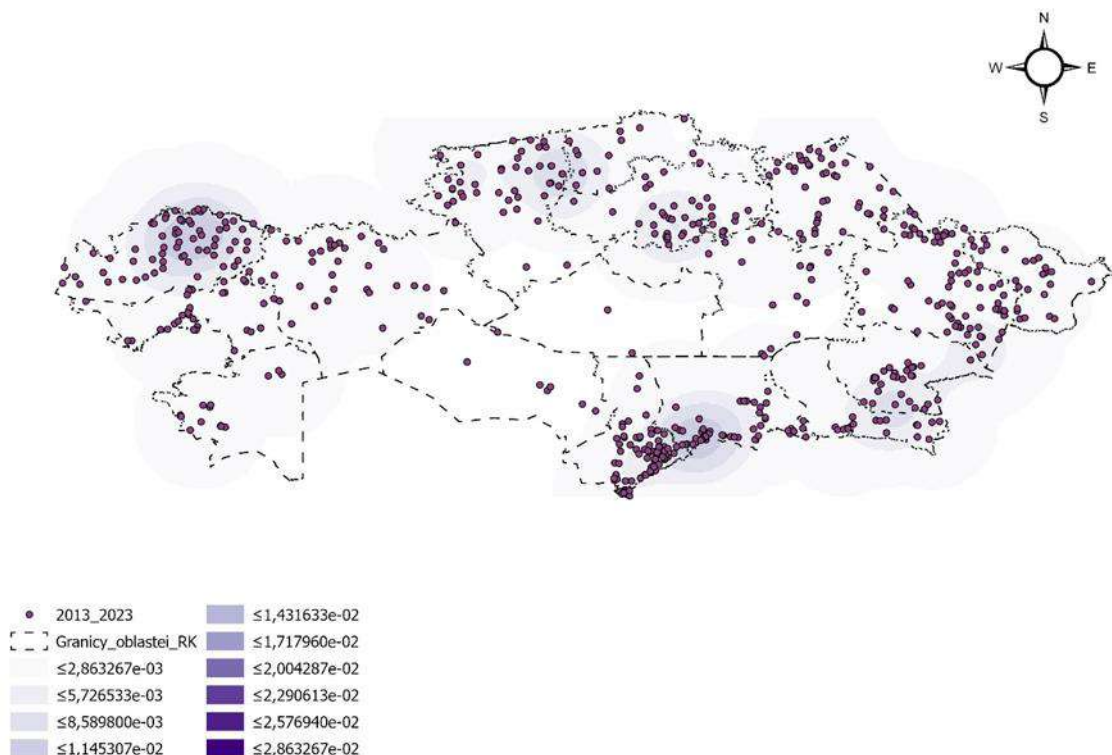


Рисунок 27 – Пространственно-временной анализ бешенства животных (Space Time Kernel Density)

Пространственно-временной анализ методом ядерной плотности выявил основные очаги средней и высокой плотности случаев бешенства в западных, северных и особенно южных регионах страны, тогда как центральные районы характеризуются низкой плотностью случаев, что отражает влияние демографических, животноводческих и географических факторов на эпизоотический процесс.

2.2.3.6 Факторный анализ бешенства с использованием инструментов Geoprocessing программы Arcgis Pro

Факторный анализ бешенства животных и абиотических характеристик окружающей среды, таких как уклон (slope), растительность (vegetation), землепокpытие (landcover) и высота над уровнем моря (digital elevation model), не выявил значимых закономерностей или особенностей развития и распространения эпизоотического процесса бешенства (рисунок 28), значения коэффициента корреляции варьируют в пределах 0-0,02 (при $R^2 = 0$: модель не объясняет вариации данных).

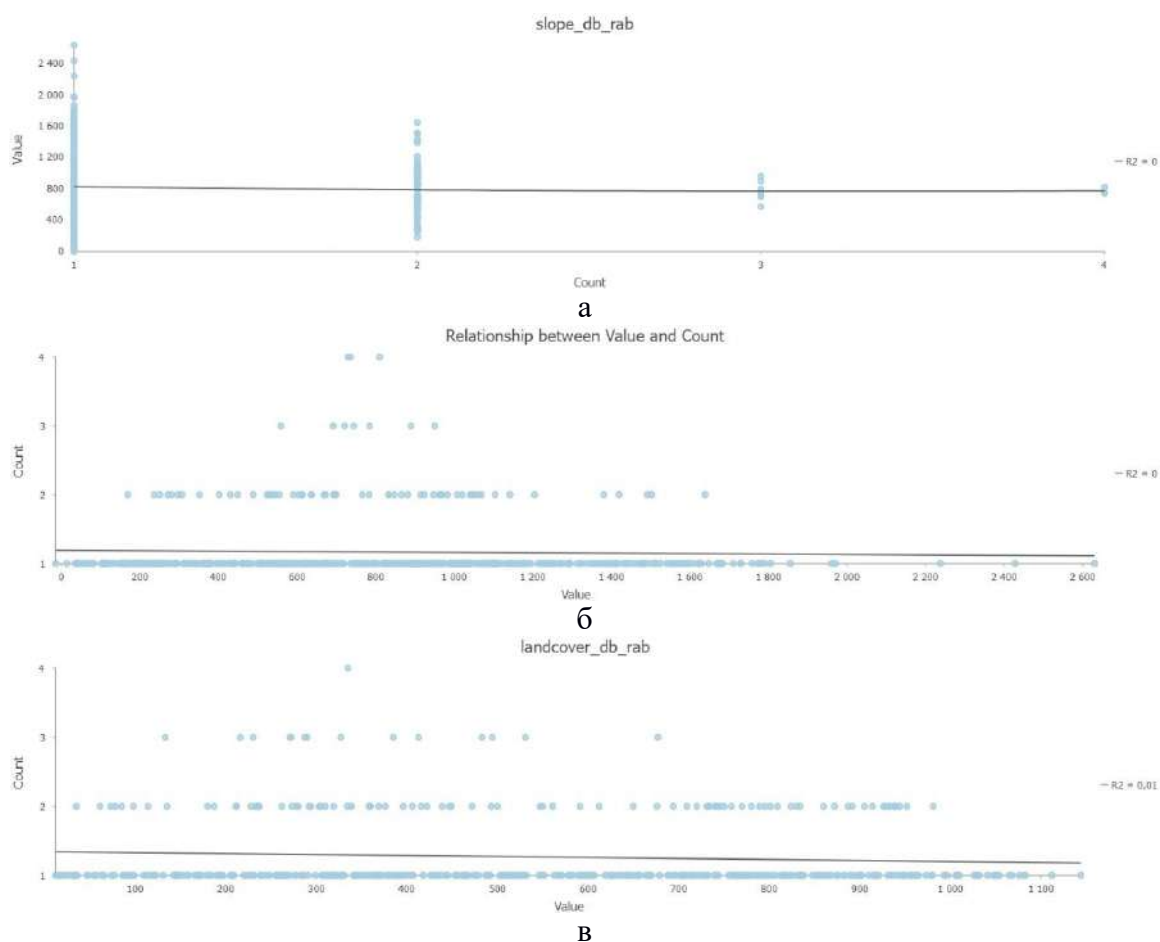


Рисунок 28 – Графики Scatter Plot факторного анализа уклона, высоты над уровнем моря, землекрытия

Результаты факторного анализа показывают, что абсолютные абиотические характеристики территории (уклон, растительность, землекрытие, высота над уровнем моря) не оказывают значимого влияния на развитие и распространение бешенства, что подтверждается крайне низкими значениями коэффициента корреляции (0–0,02) и $R^2 = 0$, указывающими на отсутствие объясняющей

2.2.4 Определение развития эпизоотологического процесса бешенства животных при воздействии природно-климатических факторов

Для оценки влияния природно-климатических факторов на эпизоотический процесс бешенства проведён корреляционно-регрессионный анализ зависимости числа очагов и случаев заболевания от аномалий температуры относительно многолетних среднегодовых значений. При анализе динамики проявления бешенства в зависимости от климатических характеристик (аномалия температуры - отклонение от многолетних среднегодовых значений) временной лаг инкубационного периода был учтён: минимальная временная единица анализа соответствовала сезону (3 месяца), максимальная – году (12 месяцев), что соответствует известной длительности инкубационного периода бешенства (от 2 недель и более).

Таблица 6 – Среднегодовые температурные аномалии и число очагов и случаев бешенства в Казахстане за 2013-2024 гг.

Ранг	Годы	Аномалия среднегодовой температуры (январь-декабрь), осредненная по территории Казахстана, °С	Количество очагов бешенства	Количество случаев бешенства
2	2013	1,89	140	206
-	2014	-0,2	104	144
5	2015	1,64	140	149
-	2016	1,48	75	100
-	2017	1,3	61	61
-	2018	-0,4	94	99
9	2019	1,5	56	74
1	2020	1,92	124	193
6	2021	1,58	83	142
-	2022	1,78	32	40
-	2023	1,9	43	43
-	2024	1,2	57	57

Согласно данным, приведенных в таблице 6 очевидна умеренная положительная связь среднегодовой температурой окружающей среды и частотой случаев бешенства, ($R=0,31$), а именно в годы, когда наблюдалось повышение среднегодовой температуры и устанавливалась значительная положительная аномалия температуры наблюдался соответственный рост случаев бешенства (рисунки 29, 30).

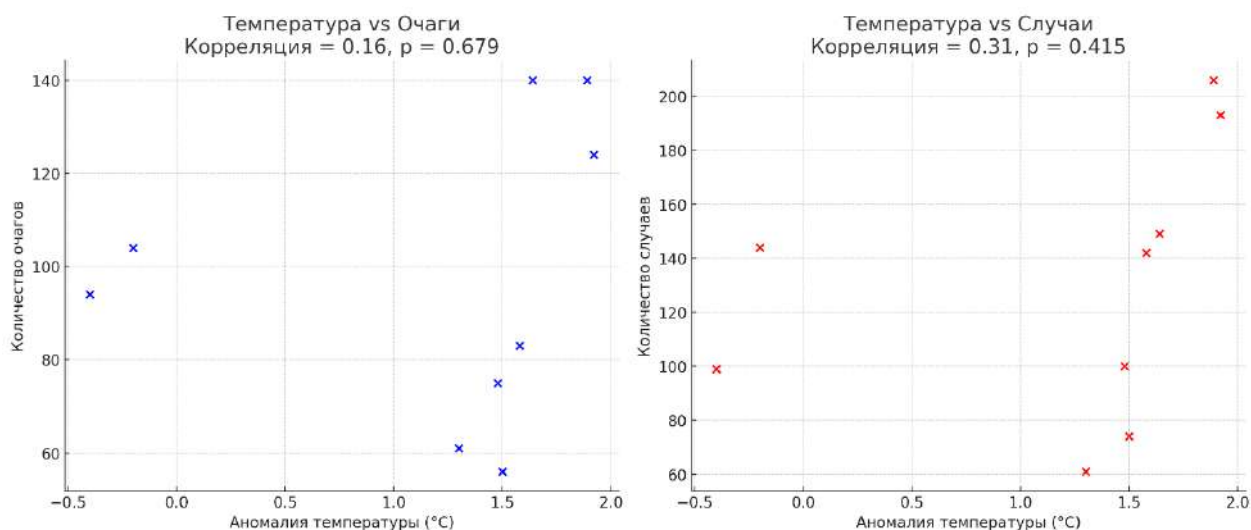


Рисунок 29 – Корреляция между аномалией среднегодовой температуры воздуха (°С) и количеством очагов и случаев бешенства на территории Казахстана в 2013-2024 годах ($r = 0,16$; $p = 0,679$)

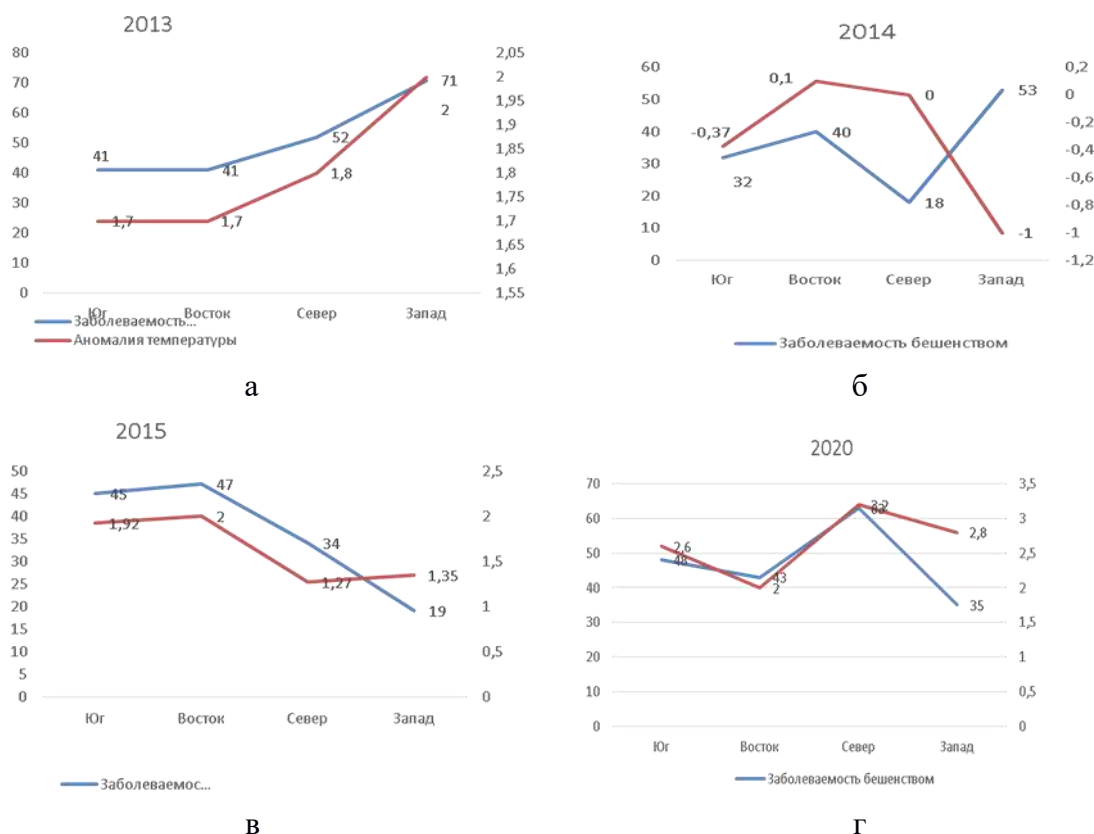


Рисунок 30 – Динамика бешенства и аномалии температуры в 2013, 2014, 2015, 2020 гг.

Но эта связь не прямая и не абсолютно линейная – кроме температуры, влияют ещё другие факторы (например, миграции животных, вакцинация, социально-экономические условия).

Анализ полученных данных показывает, что максимальные значения регистрации случаев бешенства приходятся на 2013 год (206 случаев), 2015 год (149 случаев), 2020 год (193 случая) и 2021 год (142 случая), что совпадает с выраженными положительными аномалиями среднегодовой температуры в соответствующие годы - 1,89; 1,64; 1,92 и 1,58 °С. Иными словами, в указанные годы фиксировались значительные повышения среднегодовой температуры, а по ранжированию самых теплых лет в Казахстане они занимают соответственно 2, 5, 1 и 6 места. В более холодные годы (с отрицательной аномалией температуры, например, 2014 и 2018 гг.) число зарегистрированных случаев и очагов снижалось, однако уменьшение не всегда было строго пропорционально величине температурной аномалии.

Анализ представленных данных показывает, что максимальные значения регистрации случаев бешенства в Казахстане приходятся на 2013 год (206 случаев), 2015 год (149 случаев), 2020 год (193 случая) и 2021 год (142 случая), что соответствует высоким положительным аномалиям среднегодовой температуры - 1,89; 1,64; 1,92 и 1,58 °С соответственно. Иными словами, в эти годы наблюдались значительные повышения среднегодовой температуры, а по ранжированию самых теплых лет в Казахстане данные годы занимают 2, 5, 1 и

6 места. В более холодные годы, с отрицательной аномалией температуры (2014, 2018), количество зарегистрированных случаев и очагов снижалось, однако уменьшение не всегда было строго пропорционально величине температурной аномалии.

В связи с ограниченностью прямых доказательств влияния природно-климатических факторов на заболеваемость бешенством следующим этапом исследования стало изучение территориального распределения случаев заболевания с учётом климатических характеристик регионов, прежде всего среднегодовой температуры. Для этого использовались данные базы по очагам бешенства, на основе которых рассчитывалось примерное количество случаев по месяцам, сезонам и годам, а также по областям страны. Ввиду схожих климатических условий областей, расположенных на северных, южных, западных и восточных территориях Казахстана, они были объединены в четыре региона: южный (Туркестанская (ранее ЮКО), Жамбылская, Алматинская, Кызылординская области), северный (СКО, Павлодарская, Костанайская, Акмолинская области), западный (ЗКО, Актюбинская, Атырауская, Мангистауская области) и восточный (ВКО). Обработка и систематизация данных осуществлялись с использованием Microsoft Excel, при этом для объективной оценки эпизоотологической ситуации рассчитывался удельный вес зарегистрированных случаев за каждый рассматриваемый период.

Сопоставление динамики случаев бешенства с изменениями среднегодовой температуры в различных регионах в целом подтверждает гипотезу о влиянии положительных температурных аномалий на рост заболеваемости, так как в большинстве годов и регионов повышение приземной температуры сопровождалось высокой регистрацией случаев заболевания (таблицы 7, 8).

На основе методов эпизоотологического исследования изучены социально-экономические, географические и климатические факторы, влияющие на распространение бешенства на территории административных районов РК. На основании обзора публикаций, эпизоотологии бешенства и собственных исследований были определены основные факторы, потенциально влияющие на интенсивность эпизоотического проявления заболевания на разных уровнях пространственного разрешения. Все факторы подразделяются на две категории: природно-климатические и социально-экономические. К первой категории относятся такие показатели, как среднемесячная и среднегодовая температуры воздуха, среднемесячное и среднегодовое количество осадков, набор из 19 биоклиматических переменных, основанных на температурах воздуха и уровне осадков (bioclim), высота над уровнем моря, тип земельного покрова. К социально-экономическим факторам относятся: плотность населения, плотность расположения населенных пунктов, плотность автомобильных дорог, плотность поголовья различных сельскохозяйственных животных. В качестве прокси для плотности поголовья животных компаньонов использовалась также плотность населения (на основании предположения, что численность домашних животных у населения пропорциональна численности населения). По всему указанным факторам сформированы ГИС-совместимые

базы данных в растровом формате, а также в атрибутивном формате в привязке к районам РК.

Таблица 7 – Анализ случаев бешенства и аномалий средней температуры воздуха по регионам за 2013-2024 годы

Регион	Показатель	2013 год	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
Юг	Очаги бешенства	42	25	40	40	32	18	26	51	12	10	14	29
	Случаи бешенства	42	32	45	40	32	22	26	52	12	10	14	29
	Аномалия температуры, °С	1,7	-0,37	1,92	2	0,8	0,4	1,7	2,6	1,8	2,1	2,3	2,1
Восток	Очаги бешенства	20	17	45	5	10	11	11	22	32	6	8	14
	Случаи бешенства	41	40	47	15	10	11	28	43	57	12	8	14
	Аномалия температуры, °С	1,7	0,1	2	1,3	1,1	0,4	0,9	2	1,2	1,8	2,4	2
Север	Очаги бешенства	32	14	32	10	5	14	8	27	24	6	10	5
	Случаи бешенства	51	18	34	10	5	14	9	63	52	6	10	5
	Аномалия температуры, °С	1,8	-0,2	1,27	1,6	0,6	0,2	0,6	3,2	1,1	1,2	2,6	1,3
Запад	Очаги бешенства	45	47	19	20	13	47	10	22	10	8	5	7
	Случаи бешенства	71	53	19	35	13	48	10	33	15	8	5	7
	Аномалия температуры, °С	2	-1	1,35	2,3	0,7	-0,7	1,4	2,8	2,31	2	2,8	1,8

Таблица 8 – Значения коэффициентов корреляции по регионам

Регион	Коэффициент корреляции (r)	Значимость
Юг	0,86	Высокая положительная
Восток	0,61	Умеренная положительная
Север	0,97	Очень высокая положительная
Запад	-0,20	Слабая отрицательная

Анализ данных по Южному региону показал, что в 2020 году была зафиксирована максимальная положительная аномалия температуры +2,6°С, при которой отмечен 51 очаг и 52 случая бешенства. Ранее, в 2015 году, при аномалии +1,92°С было зарегистрировано 40 очагов и 45 случаев заболевания, тогда как в 2013 году при аномалии +1,7°С наблюдалось 42 очага и 42 случая. В

Восточном регионе максимальная положительная аномалия также отмечена в 2015 и 2020 годах на уровне +2,0°C; при этом в 2015 году было зарегистрировано 45 очагов и 47 случаев, а в 2020 году - 22 очага и 43 случая бешенства.

В 2013 году на фоне аномалии +1,7°C зафиксировано 20 очагов и 41 случай. В Северном регионе самым высоким положительным отклонением стала аномалия +3,2°C в 2020 году, сопровождавшаяся 27 очагами и 63 случаями бешенства, в то время как в 2013 году при аномалии +1,8°C было выявлено 32 очага и 51 случай, а в 2015 году при аномалии +1,27°C зарегистрировано 32 очага и 34 случая заболевания. В 2021 году при аномалии +1,1°C отмечено 24 очага и 52 случая. В Западном регионе максимальная положительная аномалия температуры +2,0°C зафиксирована в 2013 году, на фоне которой зарегистрировано 45 очагов и 71 случай бешенства. Следует отметить, что в 2014 и 2018 годах наблюдались отрицательные аномалии температуры (-1,0°C и -0,7°C соответственно); при этом в 2014 году зарегистрировано 47 очагов и 53 случая, а в 2018 году - 47 очагов и 48 случаев заболевания, что указывает на активность эпизоотического процесса даже при снижении температурных показателей.

Далее проведен анализ случаев бешенства и аномалии средней температуры воздуха по сезонному распределению в отдельные годы (таблица 9).

Таблица 9 – Очаги бешенства и сезонные аномалии средней температуры воздуха за период 2013-2024 гг.

Сезон и год	Количество случаев бешенства	Аномалия температуры (°C)
1	2	3
Зима 2013	91	1,00
Весна 2013	62	3,00
Лето 2013	27	0,40
Осень 2013	22	3,00
Зима 2014	47	-2,00
Весна 2014	46	1,70
Лето 2014	18	0,50
Осень 2014	27	0,60
Зима 2015	35	2,50
Весна 2015	68	2,50
Лето 2015	36	2,00
Осень 2015	18	0,60
Зима 2016	28	4,60
Весна 2016	26	3,10
Лето 2016	37	0,80
Зима 2017	18	0,86
Весна 2017	16	0,46
Лето 2017	20	1,00
Осень 2017	13	0,90
Зима 2018	19	-0,20
Весна 2018	53	-0,20

Продолжение таблицы 9

1	2	3
Лето 2018	14	0,60
Осень 2018	13	0,10
Зима 2019	9	1.00
Весна 2019	36	2.00
Лето 2019	17	0.90
Осень 2019	8	0.20
Зима 2020	57	5.54
Весна 2020	86	3.84
Лето 2020	34	0.86
Осень 2020	20	-0.21
Зима 2021	28	-0.03
Весна 2021	73	2.16
Лето 2021	29	1.89
Осень 2021	9	-0.02
Зима 2022	10	-0.30
Весна 2022	12	0.90
Лето 2022	8	0.40
Осень 2022	8	-0.21
Зима 2023	6	+1.2
Весна 2023	14	+1.6
Лето 2023	13	+1.9
Осень 2023	10	+0.7
Зима 2024	8	+1.8
Весна 2024	18	+2.1
Лето 2024	19	+2.4
Осень 2024	12	+0.8

Согласно полученным данным, в годы, где были зафиксированы значительные положительные аномалии температуры (2013, 2015, 2020) соответственно увеличивались и случаи заболевания животных бешенством. К примеру, в 2013 г., отклонение средней температуры воздуха от среднегодовых значений в +3°C в весенний и осенние периоды, приводило к ухудшению эпизоотической ситуации по бешенству, с регистрацией 62 и 22 очагов, причем в осенний сезон это максимальная регистрация бешенства по сравнению с осенними сезонами в другие годы. Однако в 2014 году, который обозначен как год с отрицательной аномалией температуры в -0,6°C за весь год, по сезонному распределению понятно, что значительная отрицательная аномалия отмечалась именно в зимний период в -2 °C (декабрь 2013 г. - февраль 2014 г.), что и повлекло всплеск бешенства животных (47 очагов), а при дальнейшем увеличении или стабилизации среднегодовой температуры случаи уменьшались.

На следующем этапе проводился сравнительный анализ случаев проявления бешенства по группам животных, в годы с положительными и отрицательными аномалиями температуры (таблицы 10, 11).

Таблица 10 – Сопоставление случаев проявления бешенства по группам животных, в зависимости от температурных отклонений

Годы	Аномалия температуры, (°C)	Группы животных, заболевших бешенством		
		сельскохозяйственные	домашние	дикие
2013	1.89	112	70	2
2014	-0.20	93	36	10
2015	1.64	82	51	5
2016	1.48	52	45	3
2017	1.30	30	29	1
2018	-0.40	62	27	8
2019	1.50	50	21	2
2020	1.92	125	60	5
2021	1.58	111	15	15
2022	1.78	22	11	5
2023	1.9	25	14	4
2024	1.2	33	19	5

Таблица 11 – Коэффициенты корреляции по видам животных

Категория животных	Коэффициент корреляции (r)	Значимость
Сельскохозяйственные животные	0,24	Слабая положительная
Домашние животные	0,40	Умеренная положительная
Дикие животные	-0,18	Слабая отрицательная

Согласно полученным данным, приведенным в таблицах 8, 9, в изучаемый период сохраняется преобладание случаев бешенства у сельскохозяйственных и домашних животных, однако, следует отметить, что в 2014, 2018 г. наблюдался рост случаев бешенства именно среди диких животных, то есть это годы, когда регистрировалась среднегодовая отрицательная аномалия именно в зимние периоды.

Далее была проведена оценка проявления бешенства по группам животных в зависимости от региона страны, где проявляются температурные аномалии (таблицы 12, 13)

Таблица 12 – Соотношение видового проявления бешенства по регионам с аномалиями температуры воздуха

Регион/Категория	2013 год	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Юг/Домашние животные	24	20	25	31	19	6	14	40	6	8	10	14
Юг/Сельскохозяйственные животные	17	9	19	9	13	16	11	9	1	6	8	11
Юг/Дикие животные	1	3	1	0	0	0	1	3	5	2	3	3

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Запад/Домашние животные	22	9	6	8	3	13	1	10	3	3	4	6
Запад/Сельскохозяйственные животные	48	39	12	25	10	31	8	22	12	8	9	11
Запад/Дикие животные	1	7	1	2	0	6	1	1	0	1	1	2
Север/Домашние животные	17	4	11	6	2	2	2	5	4	2	3	4
Север/Сельскохозяйственные животные	34	13	21	3	3	12	7	58	41	4	5	6
Север/Дикие животные	0	1	2	1	0	0	0	0	7	1	1	2
Восток/Домашние животные	6	2	8	0	5	6	4	5	1	4	5	7
Восток/Сельскохозяйственные животные	35	37	38	15	4	5	24	37	53	11	12	16
Восток/Дикие животные	0	1	1	0	1	0	0	1	3	2	2	3
Аномалия температуры, °C	1.89	-0.20	1.64	1.48	1.30	-0.40	1.50	1.92	1.58	1.78	1.9	1.2

Таблица 13 – Коэффициенты корреляции видового проявления бешенства по регионам с аномалиями температуры воздуха

Регион/Категория	Коэффициент корреляции (r)	Значимость
Юг/Домашние животные	0,49	Умеренная положительная
Юг/Сельскохозяйственные животные	-0,08	Очень слабая отрицательная
Юг/Дикие животные	0,12	Очень слабая положительная
Запад/Домашние животные	-0,08	Очень слабая отрицательная
Запад/Сельскохозяйственные животные	-0,34	Слабая отрицательная
Запад/Дикие животные	-0,88	Очень высокая отрицательная
Север/Домашние животные	0,45	Умеренная положительная
Север/Сельскохозяйственные животные	0,44	Умеренная положительная
Север/Дикие животные	0,16	Очень слабая положительная
Восток/Домашние животные	0,07	Очень слабая положительная
Восток/Сельскохозяйственные животные	0,36	Слабая положительная
Восток/Дикие животные	0,16	Очень слабая положительная

Анализируя полученные данные можно предположить, что в целом значительное повышение приземного воздуха создает благоприятные условия для увеличения численности животных, в частности диких и домашних плотоядных, особенно наблюдаемые в весенние и осенне-зимние периоды (весна, осень 2013 г., зима, весна, лето 2015 г., зима, весна 2020 г.). В этот период, согласно законам биологии у большинства животных происходит случка, у плотоядных животных начинается гон, появление и рост потомства животных и в дальнейшем миграция и обособление от родовой общины. В следствие указанных факторов происходит учащение контактов как между дикими животными, так и контакта их с домашними и сельскохозяйственными животными, что увеличивает вероятность передачи вируса бешенства от больных к здоровым животным.

Кроме того, ухудшение природно-климатических условий также влечет всплеск бешенства ввиду недостаточности кормовой добычи для диких животных, вследствие чего они мигрируют в поисках пропитания, забегают в частные дворы, в хозяйства, где соответственно увеличивается число контактов, происходят нападения на сельскохозяйственных животных, а иногда и на людей, что способствует передаче вируса и его дальнейшему распространению.

2.2.5 Идентификация пространственных кластеров с оценкой плотности населения с помощью ПО «Satscan»

Использование теста Идентификация пространственных кластеров с оценкой плотности населения с помощью ПО «Satscan» мультиномиального сканирования привело к выявлению 5 пространственных кластеров (рисунок 31, таблица 14), где затенение фона указывает на высоту локации. В четырех из пяти кластеров значения $O/E > 1$ были оценены для одной единственной группы видов (два для животных-компаньонов, два для домашнего скота), тогда как значения $O/E > 1$ для двух групп видов (домашний скот и дикие животные) были оценены в оставшемся кластере (рисунок 31).

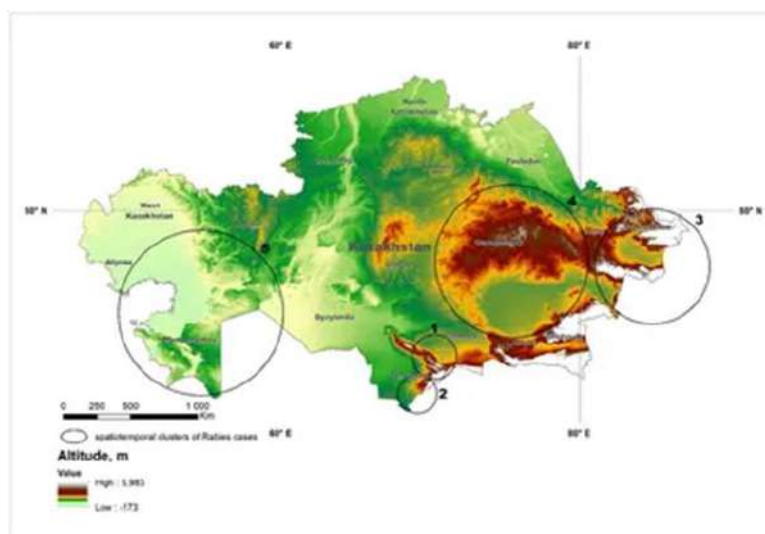


Рисунок 31 – Значимые ($p < 0,01$) кластеры бешенства, 2013-2022 г.

Таблица 14 – Значимые ($p < 0,01$) кластеры бешенства 2013-2023 г., скорректированные по категориям восприимчивых животных

Количество случаев	Широта	Долгота	Радиус (км)	Отношение наблюдаемых к ожидаемым случаям [число наблюдаемых]		
				сельскохозяйственные	домашние	дикие
83	43.289760	70.306537	120.7	0.24 [11]	2.18 [70]	0.47 [2]
87	41.455378	69.166534	108.7	0.31 [15]	2.11 [71]	0.22 [1]
67	47.479786	84.877645	288.6	1.67 [63]	0.08 [2]	0.56 [2]
64	47.666540	75.466459	382.9	1.61 [58]	0.20 [5]	0.30 [1]
88	45.267864	54.676539	431.5	1.36 [67]	0.25 [12]	1.98 [9]

Превалирующая плотность населения наблюдалась в кластерах №1 и 2 и составляла 35,6 и 64,0 человек/км² соответственно, тогда как в кластерах №3, 4 и 5 она была значительно ниже - 3,1, 4,0 и 3,6 человек/км² соответственно. Кумулятивная доля зарегистрированных случаев заболевания достигала наибольших значений в весенние и летние месяцы. При этом наиболее выраженные сезонные колебания отмечались в кластерах, где отношение наблюдаемых к ожидаемым случаям (О/Е) превышало 1 для сельскохозяйственных животных (кластеры №3, 4 и 5), тогда как в кластерах, в которых О/Е было максимальным для домашних животных-компаньонов (кластеры №1 и 2), сезонная изменчивость была менее выраженной. Перекрёстная корреляция между случаями заболевания у диких животных и домашнего скота проводилась для единственного кластера (№5), где несколько групп видов имели $O/E > 1$, с оценкой ассоциаций при временных лагах 0, -1 и -15 (см. рисунок 32).

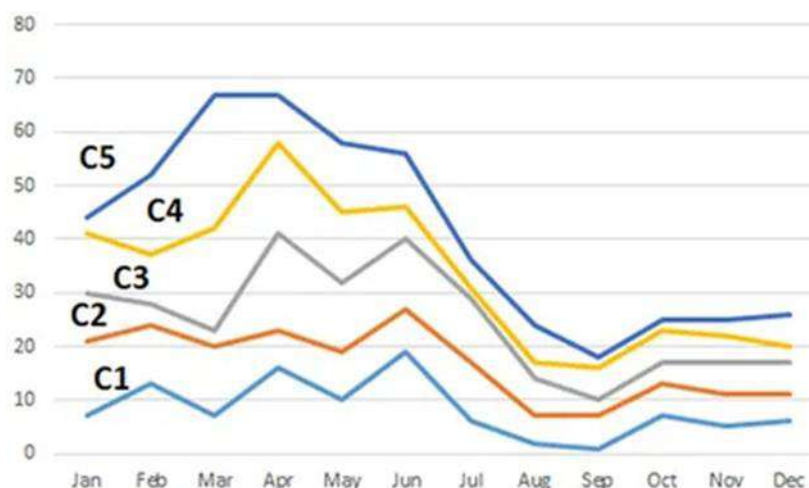


Рисунок 32 – Процент случаев бешенства в месяц по каждому из пяти значимых ($p < 0,01$) кластеров (C1–C5), 2013-2022 г.

На рисунке 33 представлена кросс-автокорреляция (ACF) между числом случаев, зарегистрированных среди сельскохозяйственных и диких животных в единственном значимом ($p < 0,01$) кластере, 2013-2023 гг., в котором

наблюдалось больше, чем ожидалось, в двух группах видов. Пунктирными линиями обозначены границы 95% доверительного интервала.

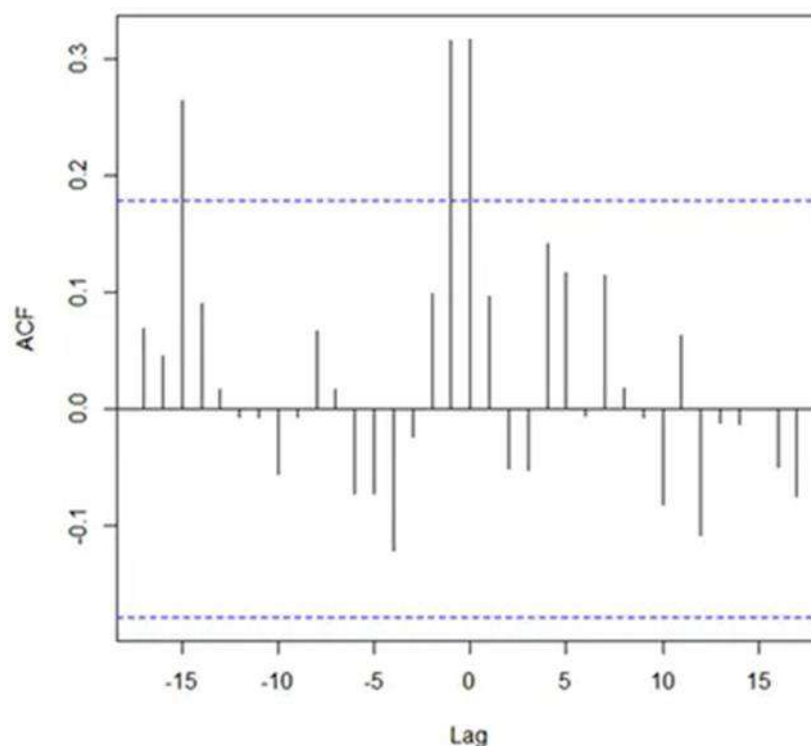


Рисунок 33 – Кросс-автокорреляция (ACF) между числом случаев, зарегистрированных среди сельскохозяйственных и диких животных

Для кластерного анализа с помощью пуассоновской модели растровые данные были агрегированы и привязаны к соответствующим районам путем вычисления среднего значения с помощью технологии зональной статистики в ГИС. Для случаев бешенства среди сельскохозяйственных животных выявлено три кластера районов, в которых число случаев существенно превышает ожидаемое на основании численности популяции КРС (рисунок 34).

Эти кластеры включают в себя районы Абайской и Карагандинской областей, северной части области Жетысу, северной части Жамбылской и востока Улытауской, а также значительную территорию на западе и юго-западе страны - Мангистаускую, Атыраускую области, южные районы Актюбинской и Западно-Казахстанской областей.

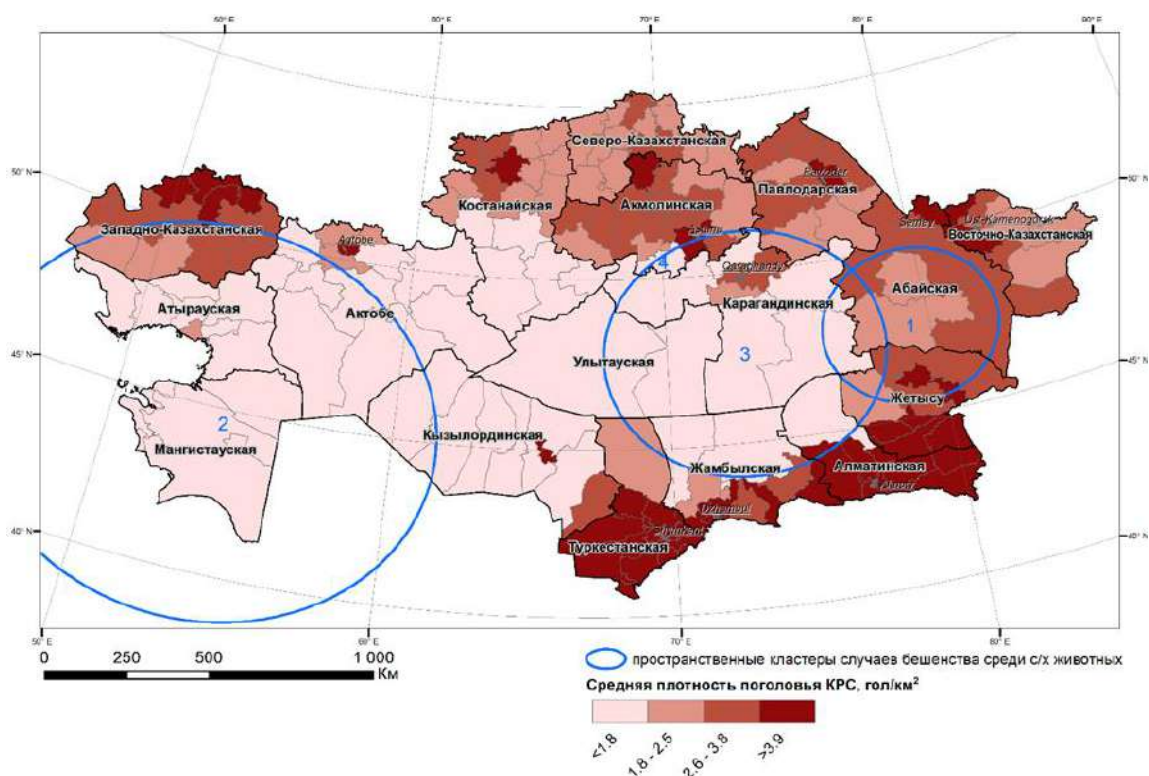


Рисунок 34 – Пространственные кластеры случаев бешенства среди сельскохозяйственных животных, выявленные при помощи Пуассоновской модели относительно плотности КРС в ПО SatScan

Для случаев бешенства среди животных-компаньонов выявлено также три статистически значимых кластера районов (рисунок 35).

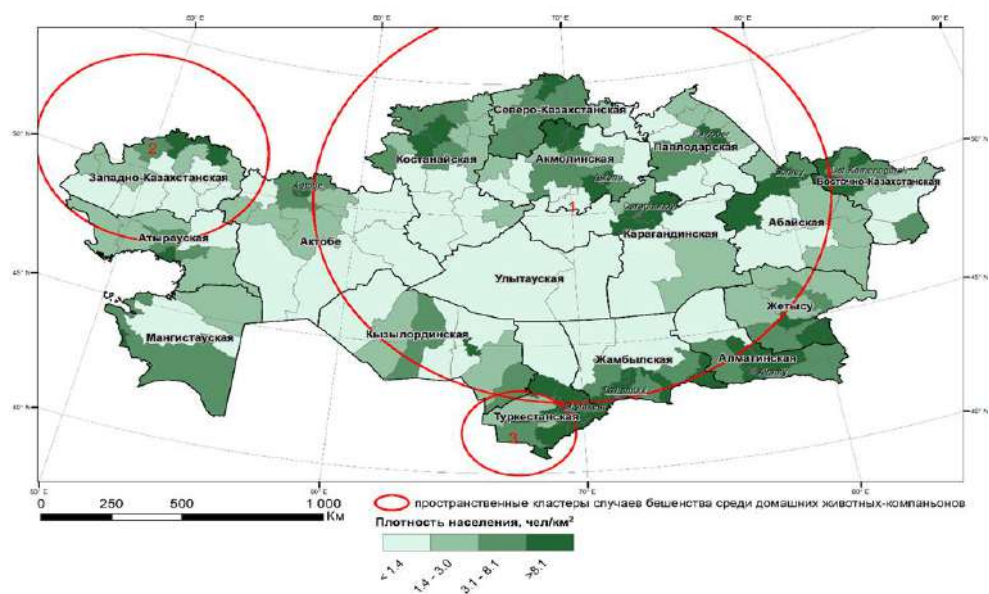


Рисунок 35 – Пространственные кластеры случаев бешенства среди домашних животных-компаньонов, выявленные при помощи Пуассоновской модели относительно плотности населения в ПО SatScan

Эти кластеры охватывают значительную территорию центральной и северной части страны (Северо-Казахстанская, Акмолинская, Павлодарская, Карагандинская, Улытауская, Костанайская, северные районы Кызылординской, Жамбылской, Алматинской и Жетысу областей), а также южную часть Туркестанской области и Западно-Казахстанскую области. Полученные кластеры предполагают, что повышенное количество случаев бешенства среди сельскохозяйственных животных в основном наблюдается в районах центральной и западной части страны с невысокой численность поголовья крупного рогатого скота. Кластеры вспышек бешенства среди животных-компаньонов, в основном охватывают районы северной, северо-западной и южной частей страны, где наблюдается повышенная доля городского населения и связанная с этим концентрация домашних животных.

2.2.6 Зонирование Республики Казахстан по риску бешенства животных

Распределение средней «пригодности» территории РК было получено для каждой из категорий «сельскохозяйственные животные», «домашние животные» и «дикие животные», и показано на рисунке 36, 37, 38.

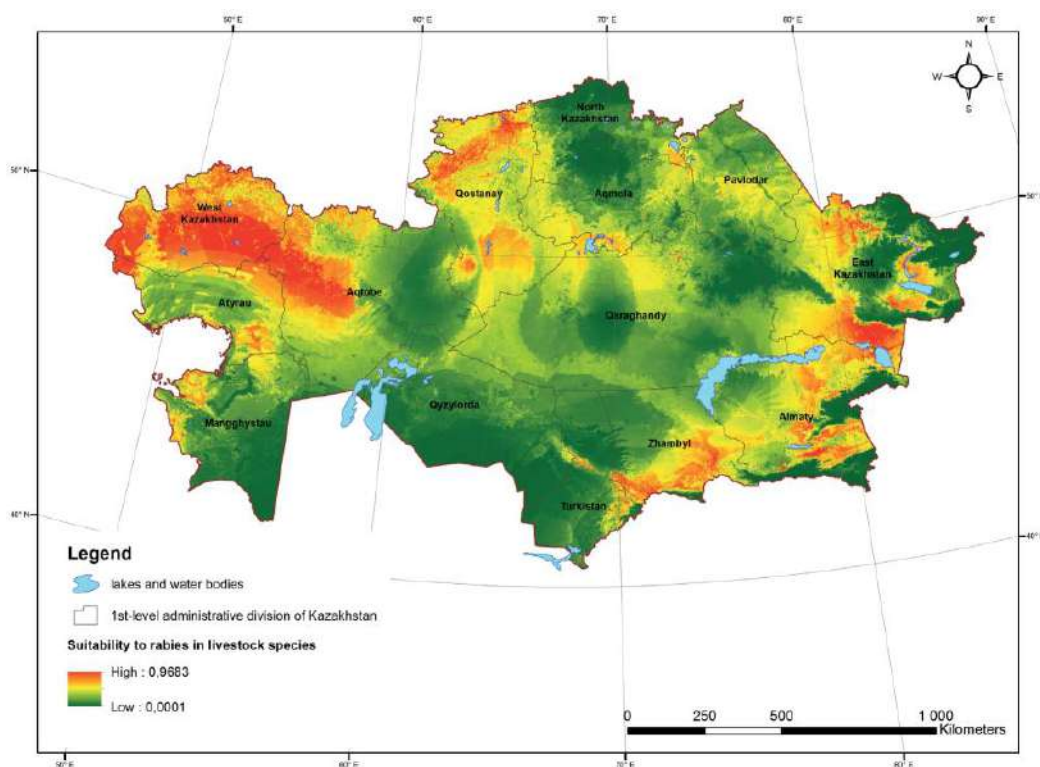


Рисунок 36 - Пространственная оценка вероятности распространения бешенства среди сельскохозяйственных животных в Республике Казахстан

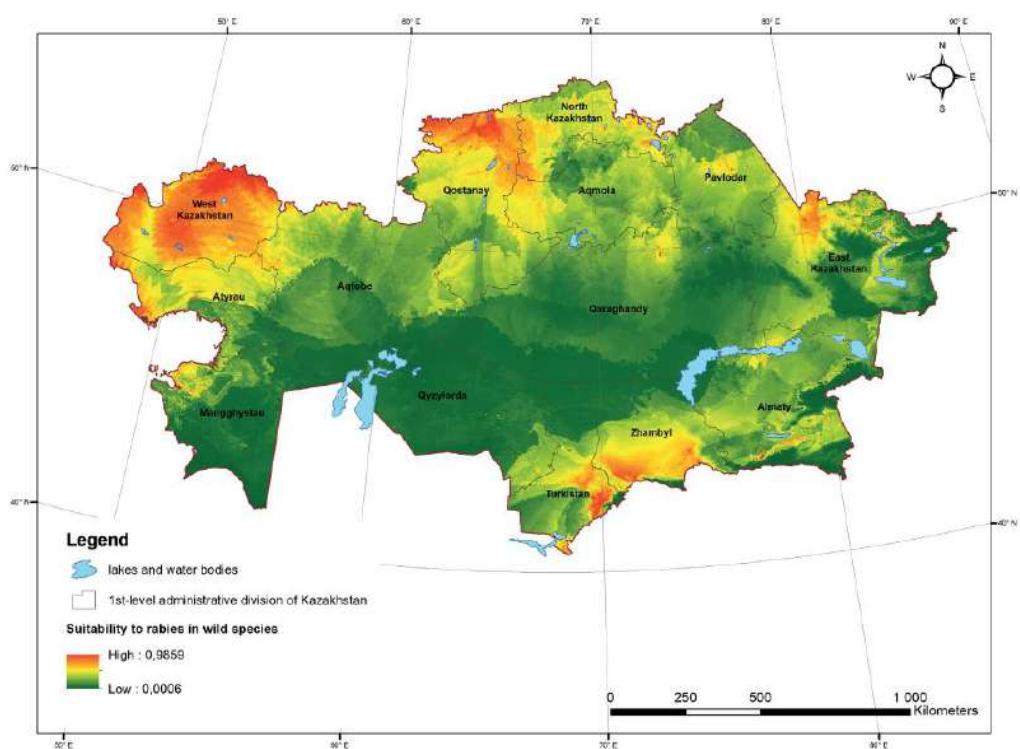


Рисунок 37 – Пространственная оценка потенциальной восприимчивости территории РК к бешенству домашних животных

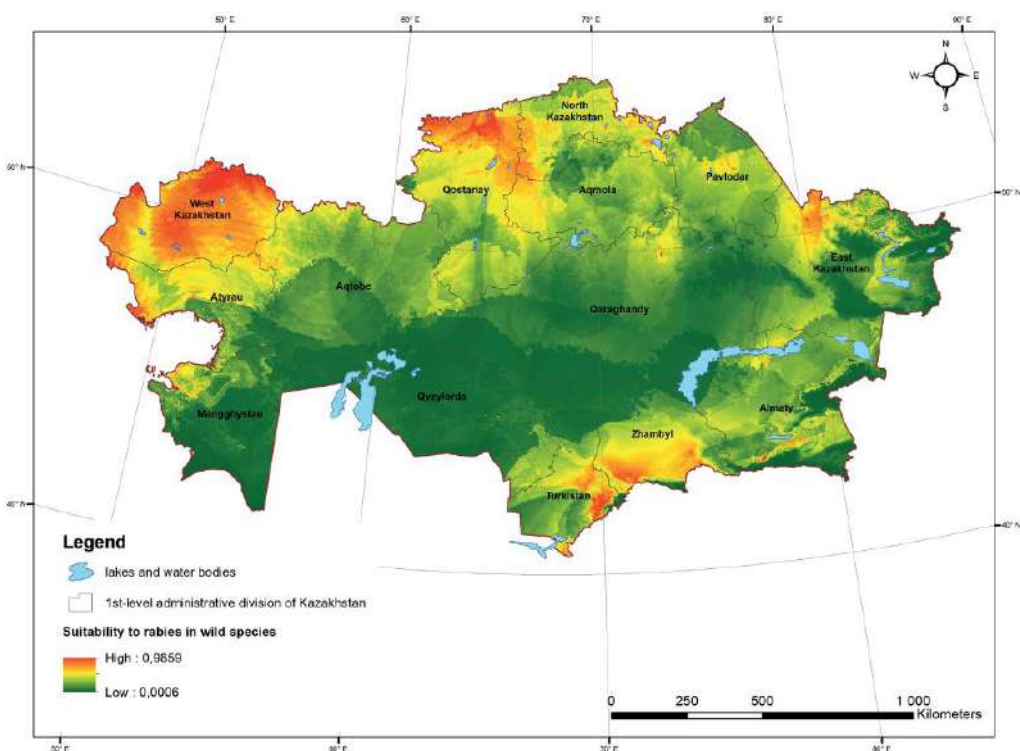


Рисунок 38 – Пространственная оценка вероятности распространения бешенства среди домашних животных в Республике Казахстан

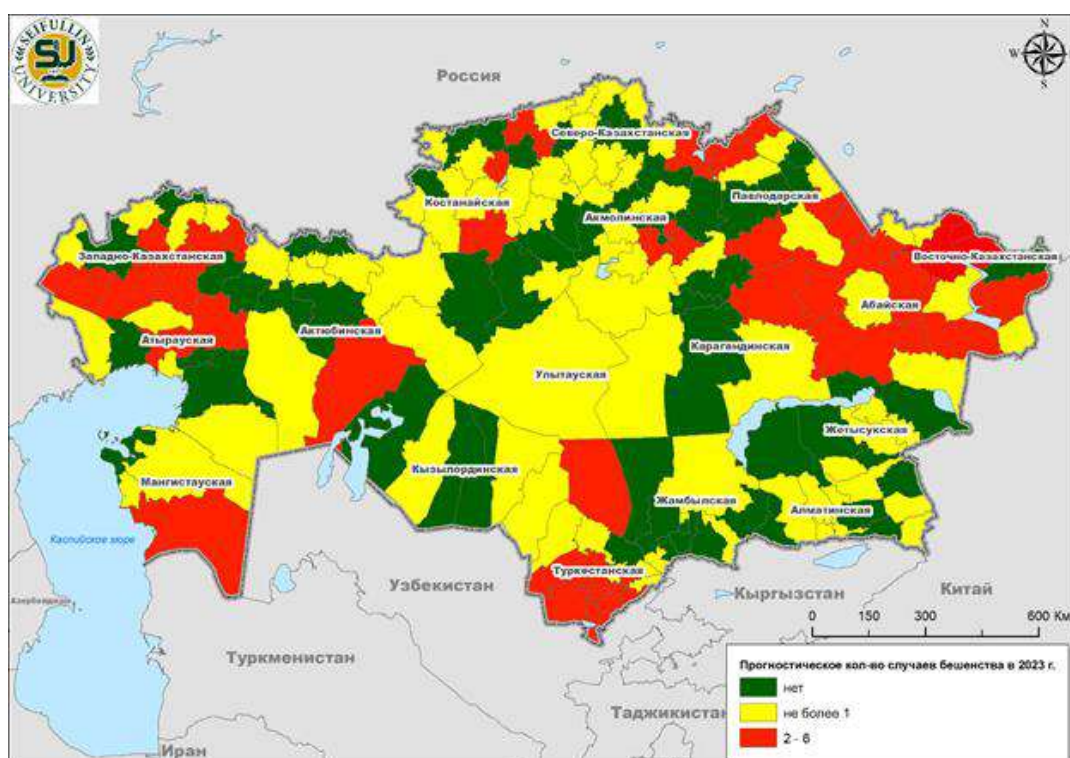
Предсказательная точность модели, оцененная по показателю AUC, составила $0,782 \pm 0,031$ для категории «сельскохозяйственные животные», $0,859 \pm 0,042$ для категории «домашние животные» и $0,809 \pm 0,045$ для

категории «дикие животные». Эти результаты указывают на высокую достоверность полученных распределений вероятностей при описании пространственного распространения зарегистрированных случаев бешенства в Республике Казахстан с учётом выбранного набора факторов окружающей среды.

Переменные, оказавшие наибольшее влияние на формирование модели, были определены на основе критерия относительной важности $\geq 10\%$. Для «сельскохозяйственных животных» наибольший вклад внесли BIO19 (уровень осадков в наиболее холодном квартале), LANDCOV (тип почвенно-растительного покрова) и BIO1 (среднегодовая температура). В категории «домашние животные» основными факторами, определяющими распределение случаев, оказались LANDCOV, ALT (высота над уровнем моря), BIO12 (среднегодовое количество осадков) и BIO19 (уровень осадков в наиболее холодном квартале). Для «диких животных» ключевыми переменными были LANDCOV, BIO19, ALT и BIO12.

2.2.7 Пространственное прогнозирование и моделирование бешенства животных

Методом пространственно-временного прогнозирования и пространственного сглаживания получены нижеследующие карты зонирования и регионализации (рисунок 39, 40), также отображено распределение среднеквадратичной ошибки прогноза (RMSE) для предсказанного количества случаев бешенства на 2024 г. (рисунок 41).



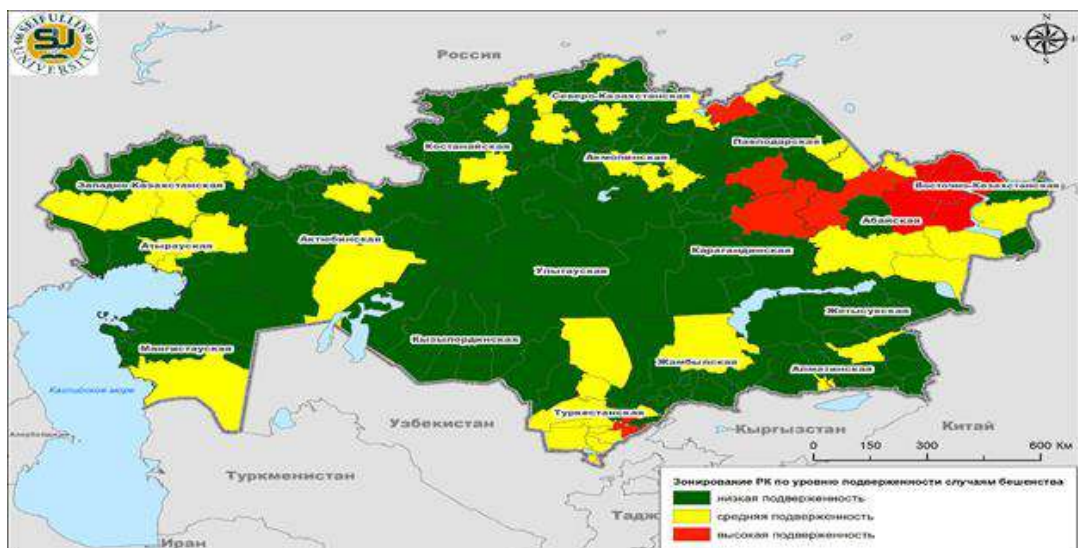


Рисунок 40 – Кластеризация районов РК по уровню подверженности возникновению бешенства во всех категориях животных

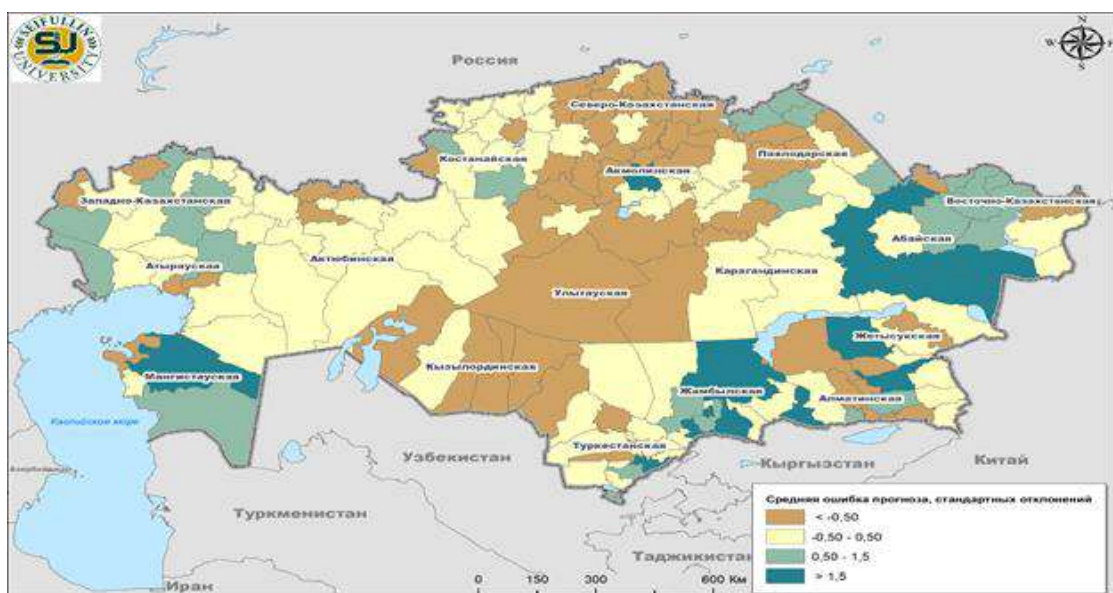


Рисунок 41 – Распределение среднеквадратичной ошибки прогноза (RMSE) для предсказанного количества случаев бешенства на 2024 г.

Результаты зонирования демонстрируют, что наибольший риск возникновения случаев бешенства сосредоточен в районах, расположенных на стыке Абайской области (Аягозский и Бескарагайский районы, г. Семей), Карагандинской области (Бухар-Жырауский, Каркаралинский и Осакаровский районы) и Павлодарской области (Баянаульский и Аккулинский районы). Кроме того, повышенная восприимчивость отмечена в северных районах Павлодарской области (Железинский, Иртышский районы) и в южной части Туркестанской области (Жетысайский, Казыгуртский, Келесский, Мактааральский, Отырарский, Сарыагашский, Сайрамский, Шардаринский районы и г. Арыс). Существенный кластер повышенного риска отмечается также в целом на территории Абайской области (Аксуатский, Жарминский

районы), ВКО (Куршимский, Уланский, Глубоковский, Алтайский, Тарбагатайский районы и г. Риддер) и западной (ЗКО: Акжайыкский, Бокейординский, Жангалинский, Сырымский, Чингирлауский районы, Атырауская область: Махамбетский, Кзылкогинский районы) части Казахстана (рисунок 40).

С целью прогнозирования возможного количества случаев бешенства в РК за 2024 год было применено моделирование с применением технологии симуляций Монте-Карло в ПО @Risk. Использовалась стохастическая модель «случайное блуждание с учетом тренда». Данная модель подразумевает, что количество вспышек в каждый последующий год подчиняется нормальному распределению со средним значением, определяемым трендом всех предыдущих лет. Моделирование проводилось для отдельных категорий «с/х животные» (рисунок 42), «домашние животные-компаньоны» (рисунок 43) и «дикие животные» (рисунок 44).

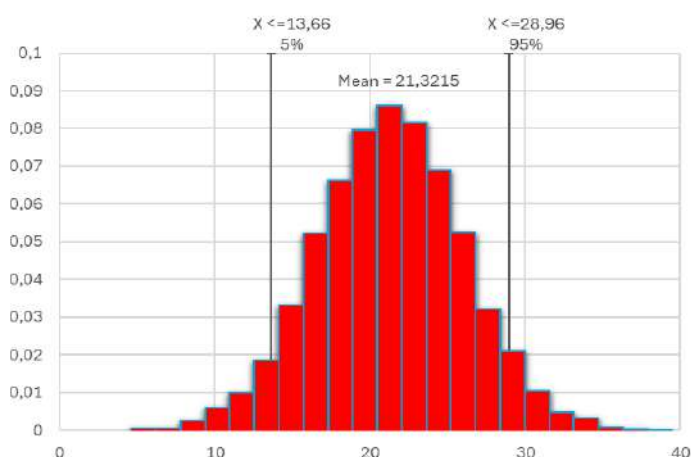


Рисунок 42 – Распределение возможного кол-ва случаев бешенства среди с/х животных

Результаты моделирования показали, что количество случаев бешенства среди с/х животных может составить в среднем 21 (95% доверительный интервал 14-29) (рисунок 40).

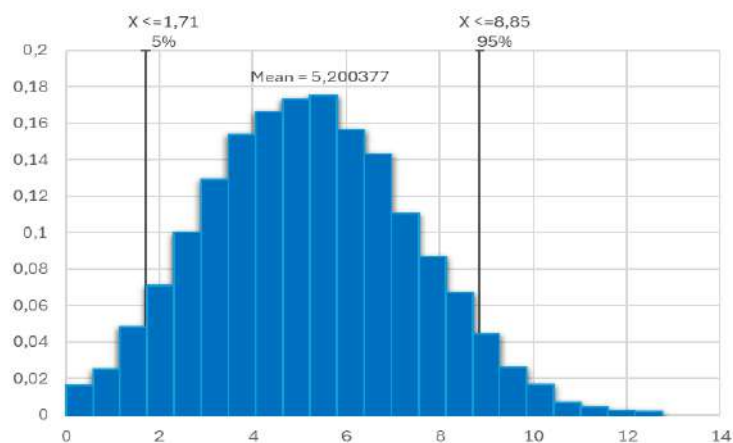


Рисунок 43 – Распределение возможного кол-ва случаев бешенства среди домашних животных-компаньонов

Согласно рисунку 43 количество случаев бешенства среди домашних животных-компаньонов может составить 5 (2-9).

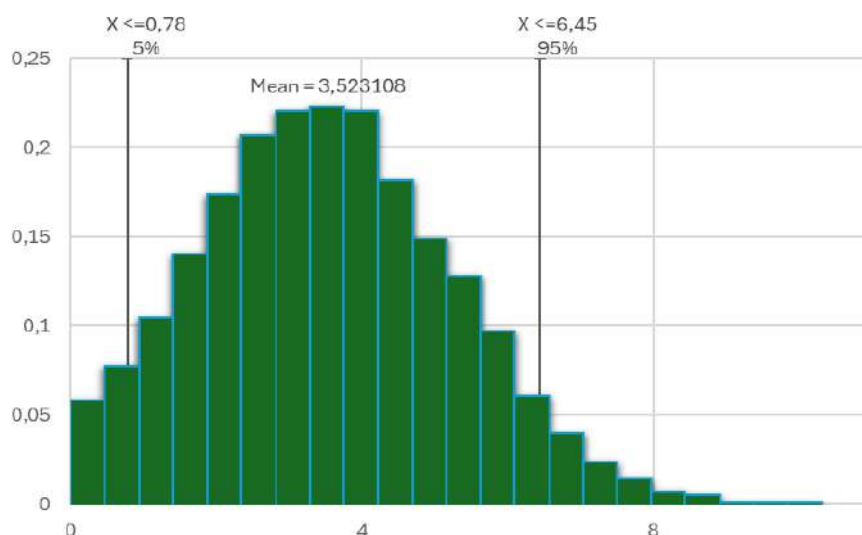


Рисунок 44 – Распределение возможного кол-ва случаев бешенства среди диких животных

Как показано на рисунке 44 количество случаев бешенства среди диких животных может составить 4 (1-6).

2.2.8 Анализ ветеринарных мероприятий против бешенства животных в Казахстане в 2021-2024 гг.

Согласно планам ветеринарных мероприятий по профилактике особо опасных болезней животных за 2021-2024 г., вакцинацией против бешенства охвачены практически все административные единицы: области и города республиканского значения в зависимости от эпизоотической ситуации за прошедшие годы. В целом за эти годы плановая вакцинация проведена

11 158,020 млн. голов сельскохозяйственных животных, 2 380,581 млн. голов домашних животных и начиная с 2022 возобновилось применение оральной приманки для 1 985,975 млн. голов диких животных (рисунок 45). При этом известно, что для каждого административного уровня, планирование ветеринарных мероприятий на ее территории на следующий год, осуществляется согласно эпизоотической ситуации за последние 3 года.

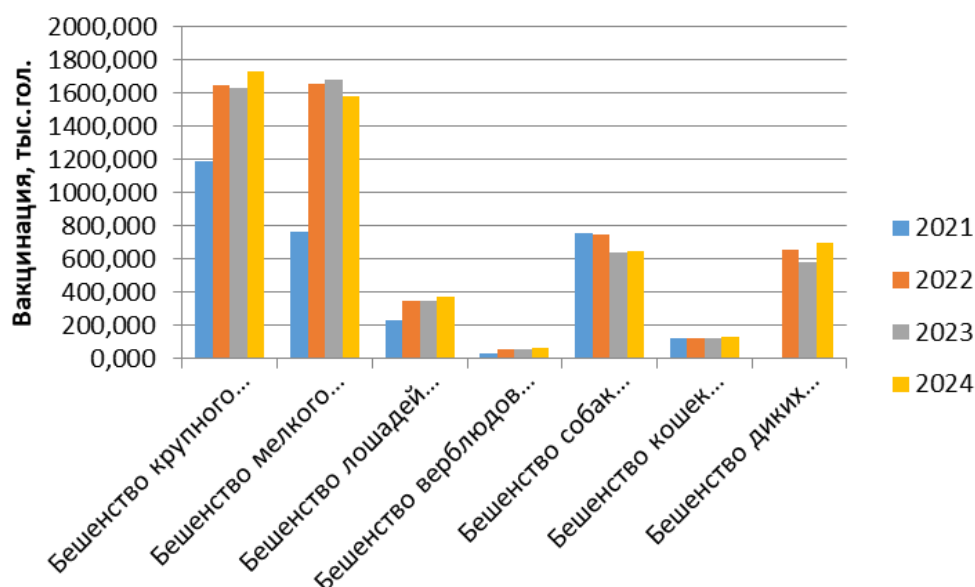


Рисунок 45 – Вакцинация против бешенства животных в 2021-2024 гг.

В целом, эпизоотическая ситуация по бешенству животных с 2022 года имеет тенденцию снижения очагов. Если рассматривать ситуацию в рамках последнего десятилетия, то можно заметить, число очагов бешенства именно за данный трехлетний период, значительно ниже в сравнении с предыдущими годами (рисунок 46).

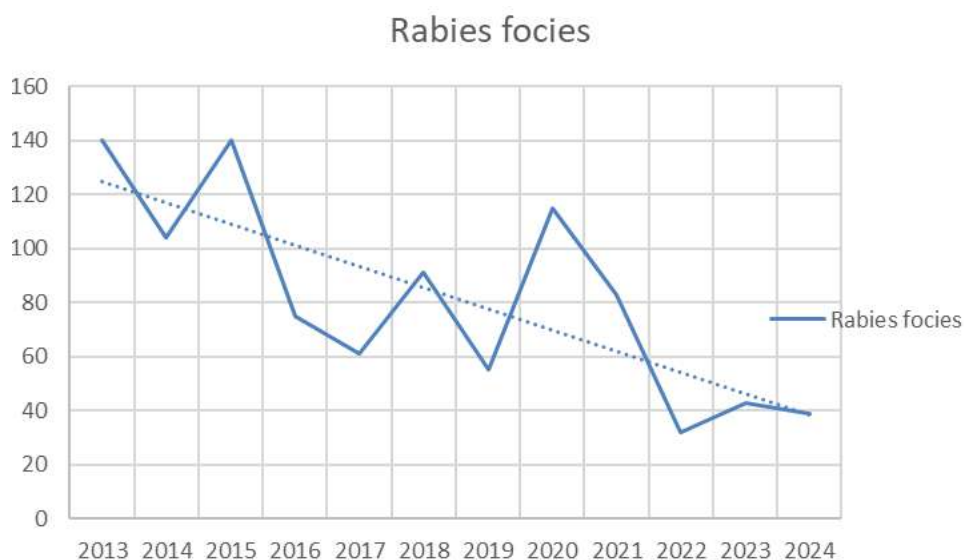


Рисунок 46 – Очаги бешенства животных в 2013-2024 гг.

Так, если в ранние периоды были годы, когда регистрировались от 100 и более очагов инфекции, то в 2022-2024 гг. максимально регистрировалось 43 очагов бешенства в год.

По территориальному распределению вакцинация животных проводится повсеместно, так как неблагополучие от бешенству и риск проявления инфекции все еще сохраняется практически на всей территории республики. И это дает свой результат, так, к примеру в 2022 году в сравнении с 2021 годом было увеличено количество вакцинируемых животных на 2 161 932 голов, и в 2022 году количество новых очагов бешенства животных уменьшилось на 39%.

Если делать анализ эффективности мер специфической профилактики бешенства в зависимости от категории животных, то очаги бешенства среди животных-компаньонов в трехлетний период, предшествующий вакцинации (2019-2021) были высокими в Туркестанской (37), Жамбылской (11), Восточно-Казахстанской (16) областях, также случаи бешенства собак и кошек регистрировались в северо-западных и западных регионах страны. В связи с чем, в данных регионах вакцинации подвергаются более 50% от общего числа зарегистрированных кошек и собак (Туркестанская (208 010 голов), Жамбылская (97 930 голов) области и г. Шымкент (142 000 голов)).

В отношении бешенства среди сельскохозяйственных животных за период 2019-2021 гг. очаги заболевания были выявлены в Атырауской (11), Костанайской (12), Павлодарской (20), Восточно-Казахстанской (45) и Западно-Казахстанской (11) областях. При этом на Павлодарскую и Восточно-Казахстанскую области пришлось 31% от общего числа зарегистрированных очагов, а с учётом сложной эпизоотической ситуации по бешенству среди собак и кошек в Туркестанской области, на долю этих трёх областей (Восточно-Казахстанская, Павлодарская, Туркестанская) приходилось 52% всех проведённых вакцинаций среди сельскохозяйственных животных.

В 2022 году вакцинация была возобновлена также для диких животных в Актюбинской, Восточно-Казахстанской, Павлодарской, Костанайской, Северо-Казахстанской и Туркестанской областях. Эффективность проведённой оральной вакцинации подтверждается ростом числа случаев бешенства среди диких животных с 2020 года в указанных областях, особенно в северных регионах, где ранее болезнь регистрировалась лишь эпизодически. При этом согласно методики проведения оральной вакцинации и инструкции подготовки и применения приманки, для обеспечения эпизоотического благополучия региона по бешенству вакцинацию диких плотоядных животных рекомендуется проводить регулярно на протяжении не менее 6 лет и не менее 2 лет после последнего случая бешенства, тогда как последняя оральная вакцинация проводилась лишь в 2015-2016 г., что имело краткосрочный положительный эффект. В 2023 году количество вакцинации животных против бешенств сохранилось на уровне 2022 года, то есть специфическая профилактика проводилась повсеместно и в тех же объемах, что прямым образом сказалось на значительном снижении регистрации болезни в 2023 году – 37 очагов по республике.

Согласно данным, представленным на картах, в 2024 году зона интенсивной вакцинации домашних животных приходится на юг страны. Как было отмечено ранее, это было связано с тем, что в течении последних 3 лет (2021-2023) здесь наблюдается рост заболевания бешенством домашних животных (собак и кошек), всего было зарегистрировано 25 очагов (рисунок 47).

Рисунок 47 – Карта очагов бешенства животных-компаньонов в 2021-2023 гг.,
вакцинации 2024 г.

Значительное ухудшение эпизоотической ситуации в 2020-2021 г., где количество очагов увеличилось с 56 очагов в 2019 году до 121 и 83 очагов в 2020-2021 гг., вызвала необходимость увеличения количества вакцинируемых животных. По сравнению с 2021 годом, в 2022 и 2023 годах наблюдалось увеличение объемов вакцинации, при этом с 2022 года возобновлена пероральная иммунизация диких плотоядных, которая ранее проводилась в последний раз в 2015 году. В период 2021–2023 годов профилактические мероприятия включали ежегодную плановую вакцинацию сельскохозяйственных животных, пероральную иммунизацию диких животных, а также отлов безнадзорных собак и кошек. Для этих целей применялись инактивированная жидкая вакцина «RHABDOVAC» и пероральная вакцина «Рабивит-ВБФ».

В целом за 3 года плановой вакцинации были подвергнуты 9 647,271 голов сельскохозяйственных животных, 2 508,156 голов домашних животных и в период с 2022 по 2023 годы была применена оральная приманка для 1 235,875 голов диких животных. Наибольшее количество вакцинированных животных в 2021 г. было в Западно-Казахстанской (216 000 гол.), Павлодарской (200 400), Восточно-Казахстанской (177 700) областях, тогда как в Туркестанской области было вакцинировано 175 010 собак и 33 000 кошек. Данные показатели коррелируют со сложившейся эпизоотической ситуацией в данных областях, по итогам 2020 года была установлена напряженная эпизоотическая обстановка, из 121 очагов бешенства на данные 4 области пришлось 82 очага (67 %).

В 2022 году вакцинация также проводилась повсеместно, при этом по сравнению с прошлым годом, при этом количество вакцинируемых животных увеличилось на 1511. а число очагов уменьшилось на 33%. Также в 2022 году возобновилась вакцинация диких животных, в Актюбинской, Восточно-Казахстанской, Павлодарской, Костанайской, Северо-Казахстанской и Туркестанской областях. Здесь следует отметить резонность проведенной оральной вакцинации, т.к. начиная в 2020 года участились случаи бешенства среди диких животных в вышеперечисленных областях, особенно в северных регионах, где ранее бешенство регистрировалось лишь в единичных случаях.

Вакцинация против бешенства на территории республики в 2023 и 2024 гг. проводилась повсеместно, что прямым образом сказалось на значительном снижении количества очагов неблагополучия в 2023 году - 37 и в 2024 году - 32 очага.

Помесячный анализ эпизоотической ситуации по бешенству и проводимой вакцинации показал, что основной охват вакцинацией начинается с марта по июль и с августа по ноябрь для сельскохозяйственных животных, с февраля и в течении всего года для домашних животных (компаньонов), с февраля по апрель и с октября по ноябрь среди диких животных. Учитывая сезонность бешенства, основной пик регистрации приходится на зимне-весенние месяцы, т.е. данный подъем наблюдается в те же сроки, что и проводимая вакцинации. Анализ проводимых профилактических мероприятий указывает на необходимость пересмотра сроков вакцинации, с учетом сроков формирования иммунитета (21 день).

В течение последних трёх лет (2021–2023) случаи бешенства среди сельскохозяйственных животных были зарегистрированы в Восточно-Казахстанской области (5 очагов), Костанайской области (4 очага), а также в Павлодарской, Жамбылской и Жетысуской областях по 3 очага. По одному очагу отмечено в Абайской, Атырауской и Кызылординской областях.

Оральная вакцинация диких животных проводилась в соответствии с эпизоотической ситуацией последних лет в Костанайской, Павлодарской, Северо-Казахстанской, Восточно-Казахстанской, Туркестанской и Жамбылской областях. При этом для областей с единичными случаями бешенства – Западно-Казахстанской, Мангыстауской, Карагандинской, Акмолинской и Актюбинской - данных о проведении вакцинации отсутствуют (рисунок 48). Как было отмечено ранее, в настоящее время наблюдается тенденция к стабилизации эпизоотической ситуации по бешенству, в сравнении с другими годами текущего десятилетия. В частности, можем отметить, что количество очагов бешенства снизилось с 115 в 2020 году, до 39 в 2024 году. Несмотря на сохранение и незначительное увеличение объемов проводимых ветеринарных мероприятий, одним из важных факторов, способствовавших снижению бешенства, явилось грамотное и целевое перераспределение усилий и средств, в зависимости от эпизоотической ситуации за прошедшие годы, поголовьем животных и категориями животных, болежавших бешенством в том или ином регионе.

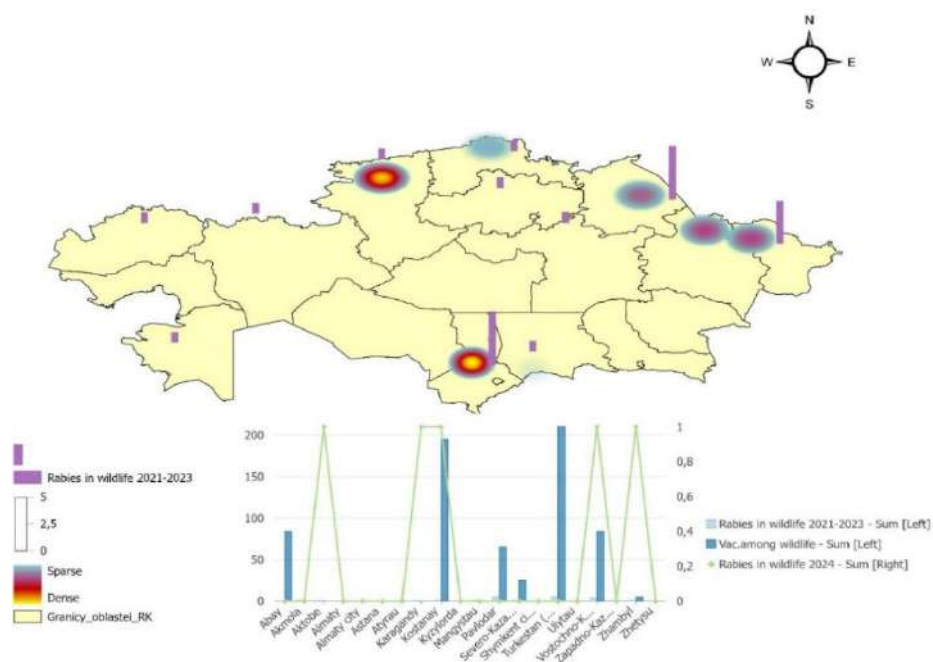


Рисунок 48 – Карта очагов бешенства диких животных в 2021-2023 г, вакцинации 2024 г.

Так, юг страны характеризуется преобладающим распространением бешенства среди домашних плотоядных животных, где соответственно больше уделяется внимания вакцинации кошек и собак. Вакцинация против бешенства

сельскохозяйственных животных охватывает территорию всей республики, и проводится нескольким видам, включая КРС, МРС, лошадей и верблюдов, что в целом соответствует эпизоотической обстановке по бешенству в стране, так как сельскохозяйственные животные являются конечными проявителями вируса. Оральная вакцинация против диких животных началась в 2022 году и проводится на территории 7 областей.

2.2.9 Разработка плана профилактических мероприятий против бешенства в Республике Казахстан

Проект рекомендуемого плана специфической профилактики бешенства животных на 2026 год формировался с учетом многолетнего анализа эпизоотической ситуации, включая пространственные кластеры, сезонность, температурные аномалии и видоспецифичность заболевания. С учётом наиболее неблагополучных регионов – Восточно-Казахстанская и Абайская (236 очагов), Туркестанская (включая г. Шымкент), Жамбылская, Западно-Казахстанская (219 очагов), Павлодарская (14 очагов в 2020 г.), Северо-Казахстанская (10 очагов в 2021 г.), вакцинация сельскохозяйственных животных должна быть усилена именно в этих областях.

Учитывая выявленные пики заболеваемости при положительных аномалиях температуры (до +3,2°C в 2020 г., Север), следует планировать вакцинацию в предвесенний период – с января по март, с учётом ожидаемого роста заболеваемости в весенне-летние сезоны. В Туркестанской, Жамбылской областях и г. Шымкенте, где зафиксированы максимальные случаи бешенства среди животных-компаньонов, необходимо поддерживать и даже по возможности наращивать количество вакцинируемых собак и кошек. В северных и северо-восточных регионах, где ранее бешенство диких животных наблюдалось спорадически, но участилось с 2020 года, необходимо продолжить оральную вакцинацию диких плотоядных (лис, шакалов, волков и др.) в Костанайской, Павлодарской, Северо-Казахстанской, Восточно-Казахстанской, Туркестанской, Жамбылской, а также включить Западно-Казахстанскую, Мангистаускую области, в которых выявляются спорадические случаи, но вакцинация не проводилась.

Согласно требованиям, оральная вакцинация должна проводиться ежегодно в течение не менее 6 лет и ещё 2 лет после последнего случая. В связи с сезонной активностью заболевания в январе–мае и октябре–декабре, а также ростом случаев при положительных температурных аномалиях (например, 206 случаев в 2013 году при +1,89°C, 193 в 2020 при +1,92°C), профилактические мероприятия должны быть завершены до конца марта. Особое внимание стоит уделить административным территориям и населённым пунктам, с многократной регистрацией очагов инфекции (города - Семей (38 очагов), Тараз (29), Шымкент (33), села - Кокжыра (8), Кособа (7)), где необходимо проводить как повторную вакцинацию, так и усиленный мониторинг.

В целом, с учетом территориальных и природно-климатических факторов, вакцинация против бешенства в 2026 году должна охватить не менее 12 млн. голов сельскохозяйственных животных, не менее 2,5 млн. домашних

животных и до 2 млн. особей диких плотоядных животных (таблица 15).

Таблица 15 – План профилактической вакцинации против бешенства на 2026 год

Области	Вакцинация домашних животных (companion), тыс. доз	Вакцинация с/х животных (livestock), тыс. доз	Вакцинация диких животных (wildlife), тыс. доз
Абайская	30	750	90
Акмолинская	40	220	0
Актюбинская	35	100	20 (увеличение очагов в 2024)
Алматинская	40	0	0
г. Алматы	50	0	0
г. Астана	20	0	0
Атырауская	10	170 (вспышки с/х в 2024)	0
Карагандинская	10	60	0
Костанайская	50	320	200
Кызылординская	40	270	0
Мангистауская	5	60	40 (вспышка в 2024)
Павлодарская	20	600	70
Северо-Казахстанская	30 (положительные аномалии в зимний и весенние периоды)	160	30
г. Шымкент	130 (устойчивое неблагополучие среди домашних животных)	10	10
Улытауская	5	30	0
Восточно-Казахстанская	10	30 (вспышки среди с/х)	90 (дикие животные)
Туркестанская	140 (устойчивое неблагополучие среди домашних животных)	530	250
Западно-Казахстанская	40 (дикие животные)	460	30
Жамбылская	110 (устойчивое неблагополучие среди домашних животных)	90	10
Жетысуская	45	120	0
Итого	880	4030	920

Таким образом, по результатам проведенных научных исследований, нами разработаны методические рекомендации по повышению эффективности профилактических мероприятий против бешенства животных, которые позволят реализовать дифференцированный подход к вакцинации с учётом пространственно-временных закономерностей и факторов внешней среды, что послужит основой для повышения охвата и своевременности профилактики в эпизоотически неблагополучных регионах, что существенно снизит риск распространения вируса.

Разработанные методические рекомендации рассмотрены на заседании научно-технического совета НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (протокол №7, от 20.06.2025г.) и изданы типографским способом (Приложение Д).

2.2.10 Обсуждение полученных результатов

Бешенство является смертельным зоонозным заболеванием, сохраняющим эндемичный характер на территории Казахстана. Анализ динамики заболеваемости и пространственного распределения случаев выявил выраженную неоднородность, что, вероятно, обусловлено комплексным воздействием природно-климатических и демографических факторов [39, р. е0004632; 105]. Полученные результаты предоставляют актуализированную информацию о состоянии эпизоотической ситуации в стране, дополняют количественные данные о видоспецифических кластерах заболеваний и позволяют выявить особенности их пространственной концентрации, включая влияние конкретных факторов окружающей среды.

Создание точной и достоверной базы данных по бешенству животных имеет ключевое значение для эффективного мониторинга, анализа и контроля эпизоотической ситуации. При наличии и доступности такой базы облегчается процесс отслеживания распространения заболевания, выявление очагов инфекции и разработка обоснованных мер профилактики [106].

Разработанная и структурированная база данных по бешенству животных 2013-2024 гг., дополнявшаяся новыми очагами на протяжении последнего десятилетия, на сегодняшний день является надежным детализированным основополагающим материалом для проведения достоверных, научно обоснованных исследований, анализов с применением современных методов информационно-коммуникационных технологий. Текущая база данных включает обширную информацию о 998 очагах бешенства животных, с инфицированием 1299 голов животных, где вирус был обнаружен более чем у 10 видов животных, таких как крысы, олени, шакалы, корсаки, и другие виды домашних и сельскохозяйственных животных. Так согласно базы данных по бешенству из общего числа очагов на сельские и городские населенные пункты приходится 583 очага, где в г. Семей бешенство было установлено 35 раз, г. Тараз – 29 раз, г. Шымкент – 28 раз, в 1 населенном пункте по 8 раз (Кокжыра, ВКО), в 1 населенном пункте по 7 (Кособа, ЗКО), в 2 населенных пунктах по 6 раз, в 3 населенных пунктах по 5 раз, в 12 населенных пунктах по 4 раз, в 40 населенных пунктах по 40 раз, в 118 населенных пунктах по 2 раза, в 403 населенных пунктах по 1 разу (очаги бешенства) согласно рисункам 13, 14.

Общая визуализация очагов бешенства, как и видовое разделение необходимы для аналитического определения зон повышенного риска, с целью разработки соответствующей стратегии борьбы. Видовой анализ позволяет определить регионы с наибольшей угрозой распространения бешенства среди сельскохозяйственных животных и принять меры по профилактике заболевания [107, 108].

Так наиболее неблагополучны по бешенству территории северо-восточного Казахстана, это Павлодарская, Восточно-Казахстанская, Абайская области, в числовом выражении на эти области приходится в общей совокупности 236 очагов, на выраженную концентрацию очагов в западном регионе (ЗКО, Актюбинская, Атырауская) – 219 очагов, на южную часть страны (Туркестанская, Жамбылская, Алматинская, Жетысуйская области, г. Шымкент) – 196 очагов и на области Северного Казахстана (СКО, Костанайская, Акмолинская) – 130 очагов.

При определении плотности очагов по видам животных, ранее озвученные данные подтвердились, неблагополучие сохранилось на данных территориях с видовым различием распространения: северо-восточная часть – преобладание бешенства среди сельскохозяйственных животных, южная часть – среди домашних (животные-компаньоны), тогда как высокая плотность очагов при небольшой и непоказательной регистрации среди диких животных отмечена в западной, северо-восточной, южной части страны (рисунок 18).

Мультивариативный анализ как и подсчет очагов по населенным пунктам показывает, что в преобладающем большинстве на 1 населенный пункт приходится 1 очаг, при этом на все тех же территориях северо-восточного Казахстана, (где неблагополучие Павлодарской области стало проявляться лишь с 2020 г.), южного Казахстана и частично Западного и крайне северного Казахстана регистрируются вспышки бешенства с вовлечением в очаг от 10 до 15 голов животных. Данные значительные отклонения следует рассматривать более детально с целью определения факторов, способствовавших данному резкому и выраженному заражению. Обобщая полученные результаты, стоит отметить значимую положительную аномалию температуры воздуха в 2020 г. до 2 градусов по всей территории страны, увеличении среднегодовой температуры воздуха и частые положительные аномалии до 2 градусов в холодные сезоны на территории Западного Казахстана из-за волн тепла с Каспийского моря [106, с. 132-141]. Южные регионы имеют высокую плотность населения, что в свою очередь предполагает и высокую численность домашних и безнадзорных животных, западные и восточные регионы более аграрные, что способствует распространению вируса среди сельскохозяйственных животных. Не исключаются контакт с дикими животными, где миграции диких животных с соседних неблагополучных территорий РФ способствуют распространению бешенства на территории северного Казахстана, так в одном из самых северных и приграничных населенных пунктов – село Конюхово, района Магжан Жумабаева, СКО произошло заражение 13 голов сельскохозяйственных животных в апреле 2021 г.

Анализ сезонных особенностей распространения бешенства еще один важный пазл, необходимый для формирования научно подтвержденных профилактических мероприятий [109]. Множественные исследования установили сезонные подъемы и спады в динамике распространения бешенства: постепенный подъем в зимний период, максимальные значения

весной и последующий спад в летнее время и вновь активация в осенний период [110, 111].

С инструментом ArcGIS PRO были точно и статистически гладко определены месяцы и дни наибольшей регистрации бешенства, графически и визуально отображены в цветовой карте, согласно которой к середине января регистрируются значительное число очагов бешенства (до 25), последующие месяцы до июля бешенство все также активно регистрируется, с июля до сентября идет значительный спад, далее с октября начинается постепенный рост заболеваемости. К возможным причинам такой сезонности можно отнести ряд причин, такие как различные природно-климатические факторы, которые в последние десятилетия претерпевают изменения, связанные с глобальным потеплением, что непосредственно все ощутимее стало проявляться с 2000х годов через аномально теплые зимы, ранние весенние периоды, затянувшееся тепло в осеннее время, следовательно вслед идут изменения в биологии, численности животных (домашних плотоядных и диких животных), размножение которых происходит непосредственно «в природе» и значительно зависит от установившихся природно-климатических характеристик. Схематически это выглядит следующим образом «теплый сезон – сохранение приплода - увеличение численности - активные миграции – активные контакты – заражение – распространение».

Также немаловажны сроки проведения вакцинации против бешенства животных, в идеале до обозначенного пика, то есть в летне-осеннее время с максимально возможным одномоментным охватом вакцинацией всего поголовья животных, хотя бы в регионах с высокой неблагополучностью и наличием природных очагов бешенства, согласно результатам видового определения плотности бешенства среди диких животных это территории Западного, Северо-Восточного и Южного Казахстана.

При ощутимых положительных изменениях природно-климатических условий заблаговременно провести регулирование численности диких животных.

Пространственная автокорреляция (индекс Морана 1) показала следующие виды распределения случаев бешенства в Казахстане:

- кластерное распределение - очаги на северо-востоке, западе (среди сельскохозяйственных животных) и юге страны (среди домашних животных), где распространение инфекции происходит вероятно животными-компаньонами (юг) и дикими животными (юг, запад, северо-восток);

- разреженное распределение - единичные случаи бешенства на приграничных территориях севера и северо-западной части страны;

- случайное распределение случаев бешенства, где источником инфекции являются мигрирующие животные (центральные, юго-западные регионы), при этом случайное, взаимно несвязанное распространение, может быть обусловлено некорректностью эпизоотологических характеристик ввиду скудных сведений о бешенстве среди диких животных, что является значительным пробелом в формировании эффективной системы противоэпизоотических мероприятий.

Если бешенство носит кластерный характер → необходимо усиление мер контроля, вакцинации и мониторинга в зонах высокого риска.

При разреженном распределении → важно отслеживать миграцию животных и предотвращать занос инфекции в новые регионы.

При случайном распределении → требуется изучение дополнительных факторов (климат, экология, контакт с людьми).

Применение методов пространственного и пространственно-временного анализа бешенства, включая выявление «горячих» и «холодных» точек с использованием индекса Getis-Ord G_i^* , оценку плотности очагов методом Kernel Density и Space Time Kernel Density, позволило определить кластеры и территории с высокой концентрацией случаев заболевания по видам животных. Полученные результаты демонстрируют согласованную картину видоспецифичного распределения: очаги среди домашних животных-компаньонов преимущественно сосредоточены в южном Казахстане, сельскохозяйственных животных - в восточных и западных регионах страны, а диких животных - в западном, южном и северо-восточном Казахстане. Активизация бешенства происходит за счет изменений условий окружающей среды, оказывающих непосредственное влияние на природные источники заражения. Данные особенности рекомендуется учитывать при планировании ветеринарных мероприятий.

Применение метода пространственного анализа Anselin Local Moran's I, помимо выявления кластеров бешенства, позволило идентифицировать территории с высокими аномальными значениями («High-Low outliers») в Мангыстауской, Атырауской, Западно-Казахстанской, Костанайской, Северо-Казахстанской, Карагандинской и Туркестанской областях, которые можно воспринимать как спорадические вспышки бешенства на территориях с низкой заболеваемостью либо ее отсутствием, появившиеся вследствие случайных контактов с инфицированными мигрирующими животными, в качестве примера можно привести зарегистрированную спорадию на территории Мангыстауской области в виде 18 очагов с 19 инфицированными бешенством животными (16 с/х - верблюды, 1 домашнее и 2 диких животных) в 11 населенных пунктах (селах), в период с 14 февраля по 20 марта 2018 года, где источником явились представители дикой фауны (волки). В последующем заражение распространилось на территорию Атырауской области, 7 очагов с марта по сентябрь, где также источником заражения стало обнаруженное дикое животное.

На территориях с высокой заболеваемостью установлены «низкие выбросы Low-High outliers», которые воспринимаются как сдерживание эпизоотии в результате эффективности профилактических мероприятий либо наличием особенностей рельефа в виде, высоких горы, горных склонов, что является перманентным препятствием для животных.

Методом мультиномиальной статистики Satscan установлены временные и пространственные закономерности видоспецифичных кластеров, вероятно, связанных с разрозненными циклами передачи бешенства в Казахстане.

Наибольшая плотность случаев бешенства среди животных-компаньонов отмечается в южной части страны (кластеры #1 и #2), особенно в областях с высокой плотностью населения. Это может быть связано с близостью домашних животных к дикой фауне и высокой численностью городских популяций собак и кошек. Данные результаты хорошо согласуются с результатами анализа горячих точек Getis-Ord Gi*, и кластерного анализа и анализа выбросов (Anselin Local Moran's I), где на территории южного Казахстана, установлено скопление «холодных точек» с 95 и 99% достоверности (Getis-Ord Gi*) и обнаружены кластеры «Low-Low clusters» (Anselin Local Moran's I), что в совокупности свидетельствует о контролируемой эпизоотической обстановке вследствие эффективности проводимых ветеринарных мероприятий.

В Южном Казахстане случаи бешенства демонстрируют повышенную активность в весенне-летний период по сравнению с зимними и осенними месяцами, что, вероятно, связано с более высокой вероятностью межвидовых контактов в теплое время года. Комплекс факторов - мягкая и теплая погода, высокая плотность населения, наличие доступной пищи и укрытий - создаёт благоприятные условия для существования свободно гуляющих собак-компаньонов, что способствует циркуляции вируса в этом регионе. Данные наблюдения свидетельствуют о преобладании городского цикла передачи бешенства, ограниченного животными-компаньонами, что подчёркивает необходимость мероприятий по контролю популяции собак, стерилизации, кастрации, просвещению населения и систематической вакцинации [29, p. 1252265; 112].

В Восточном Казахстане выявленные кластеры (#3 и #4) преимущественно ассоциированы с крупным рогатым скотом, на который приходилось 86-88% зарегистрированных случаев. Регион характеризуется низкой плотностью населения и сельским ландшафтом с наибольшим поголовьем скота в стране. В частности, кластер #4 расположен в районе с холодными зимами и глубоким снежным покровом, вследствие чего скот зимой содержится на фермах, а случаи заболевания преимущественно регистрируются весной и летом при выгоне на пастбища, где возможен контакт с инфицированными животными. В данных кластерах случаи среди диких животных встречались редко, а характер местности, включающий горные участки, может затруднять обнаружение и регистрацию заболеваний в дикой фауне. Кластер #3 охватывает степные территории с мягкими зимами, низким количеством осадков и практиками отгонного животноводства, что также создаёт условия для контакта домашних животных с потенциальными резервуарами вируса вдали от населённых пунктов. В таких условиях ключевое значение приобретает своевременное вмешательство ветеринарных служб для выявления контактов высокого риска между дикими животными и домашним скотом [29, p. 1252265; 113].

Кластер #5 в Западном Казахстане был уникален тем, что значения $O/E > 1$ наблюдались одновременно для домашних и сельскохозяйственных животных. Случаи заболевания у диких животных, как правило, происходили

одновременно или на один месяц раньше случаев у домашнего скота, что указывает на взаимодействие между группами видов и согласуется с определением лесного цикла передачи. В этом кластере зарегистрировано наибольшее количество случаев среди диких животных ($n = 9$), включая 7 лисиц и 2 волка. Ландшафт региона облегчает наблюдение случаев бешенства в дикой природе по сравнению с Восточным Казахстаном. Кроме того, здесь наблюдается наибольшая ежемесячная вариабельность регистрации случаев, с пиковым числом весной и летом, что может быть усилено влиянием тепловых волн с Каспийского моря. Несмотря на наличие случаев среди сельскохозяйственных животных, связанных с дикой фауной, значимость природно-климатических факторов, таких как температура, влажность и осадки, часто недооценивается [29, p. 1252265; 113, p. 157-161].

Наличие водоёмов и других источников воды является важным фактором, объединяющим все обнаруженные кластеры. Среди диких животных, пострадавших от бешенства в Казахстане, отмечены лисы, волки и шакалы, которые зимой сближаются с населенными пунктами в поисках пищи и укрытия, создавая условия для передачи вируса домашним животным и животным-компаньонам. Это обстоятельство способствует увеличению числа зарегистрированных случаев заболевания весной.

Применение метода пространственно-временного прогнозирования, с целью оценки подверженности районов РК возникновению случаев бешенства в 2023 г., с последующим пространственным сглаживанием полученных результатов, с учетом среднеквадратичной ошибки прогноза (RMSE), показало, что наиболее подвержены возникновению случаев бешенства районы на стыке Абайской, Карагандинской и Павлодарской областей (Баянаульский, Аккулинский районы), а также северные районы Павлодарской и южная часть Туркестанской областей. Существенный кластер повышенного риска отмечается также в целом на территории восточной и западной части Казахстана. Ожидаемое количество случаев бешенства по видам на 2024 г. составило 30 очагов, где по категориям распределено следующим образом: сельскохозяйственные животные: 21 (14-29); животные-компаньоны: 5 (2-9); дикие животные: 4 (1-6).

Анализ ветеринарных мероприятий показал, что в целом проводится соответствующая вакцинация против бешенства, где согласно «Правил планирования и проведения ветеринарных мероприятий против особо опасных болезней животных» [114] отмечено, что планирование ветеринарных мероприятий осуществляется на основании данных эпизоотического мониторинга соответствующей административно-территориальной единицы за последние 3 (три) года. Анализ планов ветеринарных мероприятий показал соответствующее распределение вакцинации по видам животных в зависимости от видоспецифичности бешенства, где на территории южного Казахстана преобладает бешенство среди домашних животных (животных-компаньонов), на западе и северо-востоке – бешенство среди сельскохозяйственных животных, так среди сельскохозяйственных животных в 2021 г. высокие объемы вакцинации были запланированы в Павлодарской - 410,760 голов

животных, здесь следует отметить что в 2020 году было зарегистрировано 15 очагов бешенства с инфицированием 48 голов животных, тогда как ранее обнаруживалось до 2-3 очагов, в Восточно-Казахстанской области - 334,950 гол., что также соответствует эпизоотической ситуации и кластеризации бешенства, в Туркестанской области – 186,000 голов животных, в виду циркуляции бешенства городского типа, в Акмолинской (197,010), Костанайской (153,966) и других областях (100% охват). Вакцинацией среди домашних животных (кошек, собак) охвачены все административные территории, наибольшая вакцинация соответственно кластеризации и эпизоотической ситуации была в Туркестанской области (208,010), г. Шымкент (142,000), Жамбылской (97,930), Алматинской (78,000) областях.

В 2022-2023 году объемы вакцинации сохранились как среди домашних, так и среди сельскохозяйственных животных, с незначительным увеличением для ряда областей.

Однако стоит отметить значительное упущение по оральной вакцинации среди диких животных, в связи с пробелами, как и в проведении вакцинации, так и по территориальному распределению. Так проведение оральной вакцинации возобновилось лишь в 2022 году, в период с 2016 по 2021 годы оральная иммунизация диких животных не проводилась, до этого имеются сведения о планах вакцинации в 2006-2015 годы. Полигоны раскладки оральной вакцинации согласно плана за 2022 год были расположены на территории Актюбинской, Северо-Казахстанской, Костанайской, Павлодарской, Восточно-Казахстанской и Туркестанской областей, раскладка планируется единожды с февраля по апрель для 4 областей и для 3 областей с октября по ноябрь, общий объем составил 652,975 доз.

В 2023 г. раскладка, согласно плану, проводилась в Костанайской (194,600), Павлодарской (65,000), Северо-Казахстанской (24,800), Абайской (83,600), Жамбылской (4,800), Туркестанской (210,100) областях в общей сумме 582,900 доз. При этом вакцинация не предусмотрена на территории всего Западного Казахстана, где согласно анализу Kernel Density обнаружены зоны повышенного заражения на территории Актюбинской, Западно-Казахстанской и Мангыстауской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные мировые тенденции в изучении проблемы, связанных с заболеваемостью животных и людей все чаще представляют собой систему научно обоснованного анализа с применением таких популярных подходов как использование больших данных (Big Data), методов ИКТ, ИИ, ГИС, других цифровых технологий, рост популярности использования онлайн баз-данных и внедрения собственных результатов исследований в доступные онлайн ресурсы, библиотеки, разработка индивидуальных современных методик и платформ для широкого пользования, преимущество актуальных исследований в условиях других стран и др. Об этом свидетельствует значительный рост числа научных публикаций и конференций в области ветеринарии, частые исследования с использованием молекулярно-генетических методов для определения генетической характеристики возбудителя, активное использование методов геопространственного анализа с последующим математическим моделированием и прогнозированием вспышек и очагов болезней. Наряду с ростом распространения заболеваний к применению данных тенденций способствует активное продвижение мировыми организациями (ФАО, ВОЗ, МЭБ и др.) подхода «One Health» (Единое здоровье), в основе которого лежит принцип тесной взаимосвязи здоровья людей-животных-экосистем.

В соответствии с вышеизложенным, главной целью данного исследования явился научно обоснованный анализ актуальных данных по бешенству с определением влияния современных предикторов, таких как изменения природно-климатических, социально-экономических, экологических условий обитания биоценоза.

Фундаментальной основой явилась выверенная, достоверная база данных по бешенству, имеющая полную информацию за последний десятилетний период (2013-2024), о 998 очагах бешенства, с инфицированием 1299 голов среди более чем десяти видов животных, от крыс до оленей. Краткая территориальная характеристика выражена установлением очагов в 584 населенных пунктах, где наиболее неблагополучной зоной на уровне сельского населенного пункта является с. Кокжыра (Абайская область), городского – г. Семей, на уровне района – Уржарский район (ВКО), на уровне области – Восточно-Казахстанская область (181 очаг). Отмеченное выше неблагополучие восточной части страны, также как и южной, западной и северо-восточной, выраженные кластерами, установленными методами пространственного анализа ArcGIS Pro, объясняет напряженную эпизоотическую ситуацию в комплексном анализе наряду с другими условиями.

В целом неблагополучие восточной части страны, в основном выражено бешенством среди сельскохозяйственных животных (141 очаг, 263 гол.) однако данные виды животных являются лишь индикаторами, указывающими на природный очаг, где источниками являются дикие животные (8 очагов) и антропоургический очаг (городское бешенство), где источниками являются

бездомные животные (35 очагов). Разнообразные географические характеристики, такие как горная местность, обилие водоемов, обширные равнины вдоль рек, приграничные территории с РФ способствуют биоразнообразию дикой фауны и активному сельскому хозяйству, вследствие чего учащаются их контакты, равное передаче вируса. Установлено, что улучшение природно-климатических условий, таких как положительная аномалия температуры воздуха в зимнее и весеннее время, способствуют увеличению случаев бешенства в 2013, 2015, 2020 годах (топ 3 самых теплых лет в Казахстане с 1941 г.), вследствие длительных выпасов и частых контактах с источниками инфекции.

Территория южного Казахстана, где по итогам мультиномиального анализа Satscan установлено 2 кластера, имеет высокую плотность населения (35,6 и 64,0 чел./км² на каждый кластер соответственно) и характеризуется преобладанием бешенства среди домашних животных – собак и кошек (186 очагов из 297 очагов на территории южного Казахстана, 64 очага приходится на городские поселения), анализ горячих точек и выбросов (Anselin Local Moran's I) определил кластеризацию вследствие сдерживающего, но недостаточного эффекта от проводимой вакцинации животных, о чем свидетельствуют результаты анализа ветеринарных мероприятий, где установлено наибольшее число вакцинируемых домашних животных по Казахстану, так в 2021, 2022 г. в Туркестанской области провакцинировано 208,010 домашних животных, в г. Шымкент 142,000 гол., Жамбылской области 97,930 гол, в Кызылординской области 38,000 голов, в г. Алматы и Алматинской области 78 и 44 тыс.голов соответственно, что составляет почти 70% от общего числа вакцинируемых домашних животных по Казахстану (69,3%). Природно-климатические условия, выраженные наиболее частыми аномалиями до 2 градусов, способствуют высокой регистрации бешенства среди домашних животных с конца зимы до начала лета, с чередующимися пиками и спадами.

Кластер на территории западного Казахстана отличается выраженной кластеризацией, как и среди диких животных, так и среди сельскохозяйственных, это единственный кластер с значениями O/E > 1 для этих двух категорий. Наряду с вышеперечисленными кластерами методом пространственного анализа (Anselin Local Moran's I) установлены «высокие выбросы High-Low outliers» на территории Мангыстауской, Атырауской, Западно-Казахстанской, которые свидетельствуют о случайном заносе инфекции мигрирующими дикими животными. Также анализ природно-климатических условий установил рост очагов бешенства среди диких животных при аномальном снижении температуры воздуха, так в 2014, 2018 году отрицательная аномалия в -1 и -0.5 градус способствовала увеличению как и общего числа очагов, так среди диких животных (удельный вес бешенства диких животных - 9,6), не наблюдавшемуся в другие годы.

Полученные результаты способствуют реализации стратегий дифференциального контроля и эпиднадзора за бешенством в Казахстане и предоставляют исходную графическую, аналитическую информацию, которая

будет полезна для измерения эффективности программ профилактики. Выявленные кластеры среди сельскохозяйственных животных в восточной и западной частях страны, домашних животных на юге и диких животных в северо-восточных и западных регионах требуют усиления соответствующего подхода к профилактическим мерам. К примеру, кластер среди домашних животных, выявленный на юге Казахстана имеет характеристики эпизоотии, сдерживаемой проведением ветеринарных мероприятий (анализ выбросов Anselin Local Moran's I, «холодные точки»), однако указанный в планах высокий охват вакцинацией (70%) не достаточен из-за большой численности популяции собак и кошек и неучтенного числа бродячих животных или проводится фиктивно, в связи с чем необходимо усилить государственный ветеринарно-санитарный контроль и предпринять дополнительные меры по регулированию численности как и домашних, так и бродячих, безнадзорных животных. При этом следует учитывать особенности сезонности заболевания, где вакцинацию домашних животных на юге страны следует провести в период наибольшего спада - с июля по сентябрь. Также на территории восточного Казахстана, где выражено бешенство среди сельскохозяйственных животных, кластеры которого характеризуются низкой зараженностью (наличие сдерживающих факторов как горы, реки, эффективность вакцинации и др.), окружены зонами с высокой зараженностью, на территории которых следует применять одномоментные и ранние подходы вакцинации с октября по январь, в период стойлового содержания с/х животных. На территории западного Казахстана рекомендуется возобновить оральную вакцинацию, ввиду изменений климатических показателей, способствующих изменениям в численности диких животных и их миграций, где волны тепла с Каспийского моря способствуют увеличению среднегодовой температуры на 0,38 градусов, что вызывают изменения в численности диких животных и частоте контактов в зимне-весенние месяцы. Занос мигрирующими дикими животными, приграничная территория с зонами неблагополучия в РФ, установление благоприятных условий, выражающимися теплыми зимами, аномально теплыми весенними и осенними периодами, способствовали возникновению и сохранению очага высокой активности на территории Северо-Казахстанской, Павлодарской областей, которые по результатам анализа горячих и холодных точек признаны зонами высокой заболеваемости. Здесь следует повысить эффективность профилактических мероприятий путем корректировки объемов и сроков, с охватом всего поголовья с сентября по ноябрь.

Зонирование и регионализация территории РК по степени напряженности эпизоотической ситуации по бешенству среди разных категорий животных показало, что большая часть территории страны может считаться относительно благополучной по бешенству. При этом очаги повышенной инцидентности регистрируются на стыке районов Павлодарской, Карагандинской и Абайской областей, а также в северных районах Павлодарской и в южной части Туркестанской областей. Кроме этого, существенный кластер повышенного

риска отмечается также в целом на территории восточной (Абайская, ВКО) и западной (ЗКО, Атырауская область) регионов Казахстана.

На основании проведенного исследования сделаны следующие **выводы**:

1. В рамках исследования была разработана и верифицирована база данных по бешенству животных в Казахстане за период 2013–2024 гг., включающая 998 очага с инфицированием 1299 голов животных. База включает территориальные данные (название области, района, населённого пункта), координаты очагов, видовую принадлежность животных (более 10 видов, от крыс до оленей), даты регистрации, эпизоотологический статус, а также сведения о проведённых ветеринарных мероприятиях. Как наиболее неблагоприятными административными единицами определены: сельский населённый пункт - с. Кокжыра, Абайская область; городской - г. Семей (35 очагов); район - Урджарский район (ВКО); область - Восточно-Казахстанская область (181 очаг).

2. Пространственный анализ с применением ArcGIS Pro и методов геостатистики (Anselin Local Moran's I, Kernel Density, Space-Time Cube, Hot Spot Analysis) установил три основных типа кластера: Восточный Казахстан - кластер бешенства среди сельскохозяйственных животных (141 очаг (263 головы) из 181); Южный Казахстан - кластер бешенства среди домашних животных (186 очагов из 297), преимущественно вблизи густонаселённых городов (Шымкент, Тараз); Западный Казахстан - смешанный кластер с активностью среди диких и сельскохозяйственных животных; Также установлены «высокие выбросы» (High-Low outliers) в Мангыстауской, Атырауской и ЗКО, свидетельствующие о возможных случайных заносах инфекции дикими животными.

3. Комплексный анализ показал, что эпизоотическая активность бешенства тесно связана с положительными аномалиями температуры воздуха - рост заболеваемости зарегистрирован в тёплые зимы 2013, 2015 и 2020 годов (топ-3 самых тёплых зим с 1941 года), плотностью населения - в южных кластерах (Туркестан, Шымкент) плотность достигала 64 чел./км², при этом зафиксировано 186 очагов среди домашних животных; природными условиями: наличие гор, рек носит сдерживающий характер, тогда как, приграничные территории с РФ способствуют биоразнообразию и контакту между животными; аномально холодной погодой - в 2014 и 2018 годах зафиксированы всплески бешенства среди диких животных на фоне снижения температуры на -1 и $-0,5^{\circ}\text{C}$ в западных регионах. Выявленный кластер на территории западного Казахстана, выявленный методом мультиномиального сканирования, характеризуется устойчивой концентрацией очагов бешенства как среди диких, так и среди сельскохозяйственных животных и является единственным кластером, в котором для обеих категорий зафиксированы значения отношения наблюдаемого к ожидаемому (O/E) выше 1, что указывает на повышенный уровень эпизоотической активности.

4. Зонирование и прогнозирование случаев бешенства показал, что регионы на востоке и юге Казахстана наиболее подвержены бешенству

животных. В большинстве районов ожидается не более одного случая бешенства у животных. Популяции скота и домашних животных демонстрируют снижение числа случаев бешенства с 2013 года. Бешенство среди диких животных, как правило, держится на одном уровне в течение всего исследуемого периода. Ожидаемое количество случаев бешенства по видам: с/х: 21 (14-29), домашние животные: 5 (2-9) дикие животные: 4 (1-6).

5. Анализ планов ветеринарных мероприятий показал соответствующее распределение вакцинации по видам животных в зависимости от видоспецифичности бешенства, где на территории южного Казахстана преобладает бешенство среди домашних животных (животных-компаньонов), на западе и северо-востоке – бешенство среди сельскохозяйственных животных, однако при высокой регистрации бешенства среди диких животных на западе страны оральная вакцинация отсутствует. Разработаны научно обоснованные методические рекомендации профилактических мероприятий против бешенства животных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Gashema P., Sesonga P., Iradukunda P.G. et al. Enhancing global health security in Sub-Saharan Africa: The case for integrated One Health surveillance against zoonotic diseases and environmental threats // *One Health*. – 2025. – Vol. 21. – P. 101136.
- 2 Disability-adjusted life years (DALYs) / World Health Organization // https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/. 10.10.2025.
- 3 Di Bari C., Venkateswaran N., Fastl C. et al. The global burden of neglected zoonotic diseases: Current state of evidence // *One Health*. – 2023. – Vol. 17. – P. 100595.
- 4 WHO Expert Consultation on Rabies: 3rd report / World Health Organization. – Geneva, 2012. – 191 p.
- 5 Hampson K. et al. Estimating the global burden of endemic canine rabies // *PLoS Neglected Tropical Diseases*. – 2015. – Vol. 9, Issue 4. – P. e0003709.
- 6 Rupprecht C.E. et al. Rabies virus // *The Lancet*. – 2014. – Vol. 384, Issue 9953. – P. 959-970.
- 7 Fooks A., Cliquet F., Finke S. et al. Rabies // *Nat Rev Dis Primers*. – 2017. – Vol. 3. – P. 17091.
- 8 Taylor L.H. et al. Risk factors for human disease emergence // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2001. – Vol. 356, Issue 1411. – P. 983-989.
- 9 Banyard A.C. et al. Wildlife reservoirs of rabies virus // *Veterinary Record*. – 2018. – Vol. 182, Issue 9. – P. 245-252.
- 10 Cleaveland S. et al. One Health contributions to rabies control // *Current Topics in Microbiology and Immunology*. – 2017. – Vol. 365. – P. 343-363.
- 11 Zero by 30: The global strategic plan to end human deaths from dog-mediated rabies by 2030 / FAO et al. – Geneva, 2018. – 59 p.
- 12 Tiwari H.K., Gogoi-Tiwari J., Robertson I.D. Eliminating dog-mediated rabies: challenges and strategies // *Animal Diseases*. – 2021. – Vol. 1. – P. 19.
- 13 Bannazadeh Baghi H. et al. A debate on elimination of dog-mediated human rabies in developing countries by 2030 // *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*. – 2024. – Vol. 78. – P. 5-12.
- 14 Feng Y., Wang Y. et al. Diversity of rabies virus detected in Inner Mongolia, China, 2019–2021 // *Transboundary and Emerging Diseases*. – 2022. – Vol. 69. – P. 249-253.
- 15 Kasem S., Hussein R., Al-Doweriej A. et al. Rabies among animals in Saudi Arabia // *Journal of Infection and Public Health*. – 2019. – Vol. 12. – P. 445-447.
- 16 Yale G., Rekha V.B., Gajendragad M. Range of rabies – A review // *Journal of Foodborne and Zoonotic Diseases*. – 2014. – Vol. 2. – P. 1-9.
- 17 Shams F., Jokar M., Djalali E. et al. Incidence and prevalence of rabies virus infections in tested humans and animals in Asia: A systematic review and meta-analysis study // *One Health*. – 2025. – Vol. 20. – P. 101102.

- 18 Beyene T.J., Fitzpatrick M.C., Galvani A.P. et al. Impact of One-Health framework on vaccination cost-effectiveness: A case study of rabies in Ethiopia // *One Health*. – 2019. – Vol. 8. – P. 100103.
- 19 Gelman A., Rubin D.B. Inference from iterative simulation using multiple sequences // *Statistical Science*. – 1992. – Vol. 7. – P. 457-472.
- 20 Chen S. Spatial and temporal dynamic analysis of rabies: A review of current methodologies // *Geospatial Health*. – 2022. – Vol. 17, Issue 2. – P. 1139.
- 21 Yu J., Xiao H., Yang W. et al. The impact of anthropogenic and environmental factors on human rabies cases in China // *Transboundary and emerging diseases*. – 2020. – Vol. 67, Issue 6. – P. 2544-2553.
- 22 Islam M. et al. Epidemiology, transmission dynamics, risk factors, and future directions of rabies in the Arabian Peninsula using One Health approach: a review // *European Journal of Public Health*. – 2025. – Vol. 35, Suppl 1. – P. i14-i22.
- 23 Sun S., Ma J., Xu Y. et al. Surveillance and Analysis of Animal Rabies - China, 2004-2024 // *China CDC weekly*. – 2025. – Vol. 7, Issue 39. – P. 1235-1240.
- 24 Feng Y., Ma J., Sun S. et al. Epidemiology of Animal Rabies - China, 2010-2020 // *China CDC weekly*. – 2021. – Vol. 3, Issue 39. – P. 815-818.
- 25 Manjunatha Reddy G.B. et al. Molecular epidemiology of rabies virus circulating in domestic animals in India // *Virusdisease*. – 2018. – Vol. 29, Issue 3. – P. 362-368.
- 26 Delmas O., Holmes E.C., Talbi C. et al. Genomic diversity and evolution of the lyssaviruses // *PloS one*. – 2008. – Vol. 3, Issue 4. – P. e2057.
- 27 Chupin S.A., Sprygin A.V., Zinyakov N.G. et al. Phylogenetic Characterization of Rabies Virus Field Isolates Collected from Animals in European Russian Regions in 2009-2022 // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, Issue 10. – P. 2526.
- 28 Yessembekova G.N., Xiao S., Abenov A. et al. Molecular epidemiological study of animal rabies in Kazakhstan // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2023. – Vol. 22, Issue 4. – P. 1266-1275.
- 29 Kabzhanova A.M., Kadyrov A.S., Mukhanbetkaliyeva A.A. et al. Rabies in the Republic of Kazakhstan: spatial and temporal characteristics of disease spread over one decade (2013-2022) // *Frontiers in veterinary science*. – 2023. – Vol. 10. – P. 1252265.
- 30 Sultanov A.A., Abdrakhmanov S.K., Abdybekova A.M. et al. Rabies in Kazakhstan // *PLOS Neglected Tropical Diseases*. – 2016. – Vol. 10, Issue 8. – P. e0004889.
- 31 Swedberg C., Mazeri S., Mellanby R.J. et al. Implementing a One Health approach to rabies surveillance // *Frontiers in Tropical Diseases*. – 2022. – Vol. 3. – P. 829132.
- 32 Lavan R.P., King A.I., Sutton D.J. et al. Rationale and support for a One Health program for canine vaccination as the most cost - effective means of controlling zoonotic rabies in endemic settings // *Vaccine*. – 2017. – Vol. 35, Issue 13. – P. 1668-1674.

- 33 Kanankege K.S.T. et al. Identifying high-risk areas for dog-mediated rabies using Bayesian spatial regression // *One health* (Amsterdam). – 2022. – Vol. 15. – P. 100411.
- 34 Guo D., Yin W., Yu H. et al. The role of socioeconomic and climatic factors in the spatio-temporal variation of human rabies in China // *BMC Infectious Diseases*. – 2018. – Vol. 18. – P. 526.
- 35 McIntyre K.M., Setzkorn C., Hepworth P.J. et al. Systematic Assessment of the Climate Sensitivity of Important Human and Domestic Animals Pathogens in Europe // *Scientific reports*. – 2017. – Vol. 7, Issue 1. – P. 7134.
- 36 Meng W., Shen T., Ohore O.E. et al. Spatiotemporal distribution of human rabies and identification of predominant risk factors in China from 2004 to 2020 // *PLoS Neglected Tropical Diseases*. – 2024. – Vol. 18, Issue 10. – P. e0012557.
- 37 Subedi D., Chandran D., Subedi S. et al. Ecological and socioeconomic factors in the occurrence of rabies: A forgotten scenario // *Infectious Disease Reports*. – 2022. – Vol. 14, Issue 6. – P. 979-986.
- 38 Raghavan R.K., Hanlon C.A., Goodin D.G. et al. Bayesian spatiotemporal pattern and eco-climatological drivers of striped skunk rabies in the North Central Plains // *PLoS Neglected Tropical Diseases*. – 2016. – Vol. 10, Issue 4. – P. e0004632.
- 39 Zakharova O.I., Korennoy F.I., Liskova E.A. et al. Environmental drivers of rabies in the Volga region of Russia: Application of the MaxEnt model // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2025. – Vol. 12. – P. 1650834.
- 40 Abdrakhmanov S.K., Sultanov A.A., Beisembayev K.K. et al. Zoning the territory of the Republic of Kazakhstan as to the risk of rabies among various categories of animals // *Geospatial Health*. – 2016. – Vol. 11, Issue 2. – P. 174-181.
- 41 Hisano M., Evans M.J., Soga M. et al. Red foxes in Japan show adaptability in prey resource according to geography and season: A meta-analysis // *Ecological Research*. – 2022. – Vol. 37, Issue 2. – P. 197-214.
- 42 Main M.T., Davis R.A., Blake D. et al. Human impact overrides bioclimatic drivers of red fox home range size globally // *Diversity and Distributions*. – 2020. – Vol. 26, Issue 9. – P. 1083-1092.
- 43 van de Vuurst P., Qiao H., Soler-Tovar D. et al. Climate change linked to vampire bat expansion and rabies virus spillover // *Ecography*. – 2023. – Vol. 2024, Issue 10. – P. e06714.
- 44 Huettmann F., Magnuson E.E., Hueffer K. Ecological niche modeling of rabies in the changing Arctic of Alaska // *Acta Vet Scand*. – 2017. – Vol. 59. – P. 18.
- 45 Neves J.M.M., Belo V.S., Catita C.M.S. et al. Modeling of Human Rabies Cases in Brazil in Different Future Global Warming Scenarios // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2024. – Vol. 21, Issue 2. – P. 212.
- 46 Smith D.L., Lucey B., Waller L.A. et al. Predicting the spatial dynamics of rabies epidemics on heterogeneous landscapes // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2002. – Vol. 99, Issue 6. – P. 3668-3672.

- 47 Brunner K., Lemey P., Marston D.A. et al. Landscape attributes governing local transmission of an endemic zoonosis: Rabies virus in domestic dogs // *Molecular Ecology*. – 2018. – Vol. 27, Issue 3. – P. 773-788.
- 48 Wheeler D.C., Waller L.A. Mountains, valleys, and rivers: The transmission of raccoon rabies over a heterogeneous landscape // *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*. – 2008. – Vol. 13, Issue 4. – P. 388-406.
- 49 Duke J.E., Blanton J.D., Ivey M. et al. Modeling enzootic raccoon rabies from land use patterns - Georgia (USA) 2006–2010 // *F1000Research*. – 2014. – Vol. 2. – P. 285.
- 50 Sarkar S., Meliker J.R. Spatial clustering of rabies by animal species in New Jersey, United States, from 1989 to 2023 // *Pathogens*. – 2024. – Vol. 13, Issue 9. – P. 742.
- 51 Aréchiga-Ceballos N. et al. Spatial landscape structure influences cross - species transmission dynamics of a rabies - like virus // *Microorganisms*. – 2025. – Vol. 13. – P. 0416.
- 52 Begon M., Hazel S.M., Baxby D. The ecology and transmission dynamics of infectious diseases in natural populations // *Science*. – 2002. – Vol. 296, Issue 5568. – P. 677-680.
- 53 Biek R., Real L.A., Smith D.L. Landscape features and the spatial spread of rabies in raccoons // *Virus Research*. – 2007. – Vol. 143, Issue 2. – P. 222-231.
- 54 Mazeri S., Gibson A.D., de Clare Bronsvort B.M. et al. Sociodemographic factors which predict low private rabies vaccination coverage in dogs in Blantyre, Malawi // *The Veterinary record*. – 2019. – Vol. 184, Issue 9. – P. 281.
- 55 Fang L.X., Ping F., Du Y.P. et al. Socioeconomic status is a critical risk factor for human rabies post - exposure prophylaxis // *Vaccine*. – 2010. – Vol. 28, Issue 42. – P. 6847-6851.
- 56 Obara F.K., Omwenga E.O., Nzioki J.M. et al. Factors influencing vaccination of dogs against rabies in South Mugirango Sub-County, Kisii County, Kenya // *PLOS Global Public Health*. – 2025. – Vol. 5. – P. 1-15.
- 57 Taylor E., George K., Johnson E. et al. Quantifying the interconnectedness between poverty, health access, and rabies mortality // *PLoS Neglected Tropical Diseases*. – 2023. – Vol. 17, Issue 4. – P. e0011204.
- 58 Premashthira S., Suwanpakdee S., Thanapongtharm W. et al. The Impact of Socioeconomic Factors on Knowledge, Attitudes, and Practices of Dog Owners on Dog Rabies Control in Thailand // *Frontiers in veterinary science*. – 2021. – Vol. 8. – P. 699352.
- 59 Global Alliance for Rabies Control (2025) // https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Alliance_for_Rabies_Control. 10.10.2025.
- 60 Yao S., Li H., Wang J. et al. Economic growth and its role in rabies spread // *Preventive Veterinary Medicine*. – 2015. – Vol. 121, Issue 1-2. – P. 40-47.
- 61 Arias-Orozco R., Martínez-López B., Pérez-Rodríguez J. Rabies prevalence in low-development areas // *Tropical Medicine and International Health*. – 2018. – Vol. 23, Issue 12. – P. 1294-1304.

- 62 Hikufe E., Kamwi J., Muleba D. Human population density and canine rabies incidence // *Veterinary Microbiology*. – 2019. – Vol. 237. – P. 108404.
- 63 Brunker K., Lembo T., Hampson K., et al. Population structure and rabies dynamics in domestic dogs // *Journal of Animal Ecology*. – 2018. – Vol. 87, Issue 3. – P. 742-753.
- 64 Yin W., Li Y., Liang G. Dog population management and rabies transmission // *Preventive Veterinary Med.* – 2012. – Vol. 106, Issue 1. – P. 19-25.
- 65 Zhu X., Liang G. Canine rabies epidemiology in China // *BMC Veterinary Research*. – 2012. – Vol. 8. – P. 72.
- 66 Gabriele-Rivet V., Beaudry F., Rosatte R. Spillover of rabies to urban areas: Implications for epidemiology and control // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2021. – Vol. 8. – P. 656432.
- 67 Mulatti P., Zordan S., Capucci L. Socioeconomic determinants of rabies vaccination coverage // *Tropical Animal Health and Production*. – 2011. – Vol. 43, Issue 4. – P. 683-690.
- 68 Polupan I., Skrypnyk N., Kovalchuk S. Awareness and prevention of rabies in low-resource communities // *Veterinary Sciences*. – 2019. – Vol. 6, Issue 4. – P. 105.
- 69 de Andrade G.R., Souza S.M., Rodrigues E.M. Road networks and rabies spread in dogs // *Preventive Veterinary Medicine*. – 2016. – Vol. 131. – P. 1-10.
- 70 Hassine T., Ben Salem H., Messaoudi I. Spatial ecology of free-ranging dogs and rabies in Tunisia // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2021. – Vol. 8. – P. 667804.
- 71 Laager M., Mbilo C., Madaye E. et al. Movement barriers and rabies transmission dynamics // *PLoS Neglected Tropical Diseases*. – 2018. – Vol. 12, Issue 11. – P. e0006992.
- 72 Blanton J.D., Manangan A., Manangan J. et al. Development of a GIS-based, real-time Internet mapping tool for rabies surveillance // *International Journal of Health Geographics*. – 2006. – Vol. 5. – P. 47.
- 73 Rabies surveillance in the United States during 2006 / Centers for Disease Control and Prevention // <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>. 10.02.2025.
- 74 Li H., Li Y., Chen Y. et al. Mapping rabies in China: A geospatial analysis of national surveillance data, 2004-2019 // *International Journal of Infectious Diseases*. – 2023. – Vol. 128. – P. 12-21.
- 75 Robertson C., Nelson T.A. Review of methods for space–time disease surveillance // *Spatial and spatio-temporal epidemiology*. – 2010. – Vol. 1, Issue 2-3. – P. 105-116.
- 76 Cleaveland S. The epidemiology of rabies in Africa: An analytical review // *Journal of Veterinary Medicine*. – 2002. – Vol. 49, Issue 3. – P. 85-91.
- 77 Perez A.M., Baker R., Swayne D.E. Spatial and temporal analysis of animal disease data // *Veterinary Research Communications*. – 2002. – Vol. 26, Issue 7. – P. 577-587.

- 78 Moore S.M., Hanlon C.A., Rupprecht C.E. Advances in veterinary spatial epidemiology // Preventive Veterinary Medicine. – 2005. – Vol. 72, Issue 3-4. – P. 193-211.
- 79 Kabzhanova A., Mukhanbetkaliyev E., Yesembekova G. et al. Recent developments in spatio-temporal modelling of infectious diseases in animals // Journal of Spatial Health Analytics. – 2023. – Vol. 1, Issue 2. – P. 45-58.
- 80 Mukhanbetkaliyeva A.A., Kabzhanova A.M., Kadyrov A.S. et al. Application of modern spatio-temporal analysis technologies to identify and visualize patterns of rabies emergence among different animal species in Kazakhstan // One Health. – 2023. – Vol. 16. – P. 100504.
- 81 Abdrakhmanov S.K., Korennoy F.I., Mukhanbetkaliyev Y.Y. et al. Spatio-temporal analysis of anthrax in Kazakhstan // Preventive Veterinary Medicine. – 2017. – Vol. 144. – P. 1-9.
- 82 Bergquist R. Spatial tools for disease surveillance and epidemiology // Geospatial Health. – 2017. – Vol. 12, Issue 2. – P. 585.
- 83 Robertson C., Nelson T.A. Review of spatial epidemiology methods for public health surveillance // Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology. – 2010. – Vol. 1, Issue 2-3. – P. 73-84.
- 84 Hassine M., Selmi R., Seck A. et al. Spatial distribution and environmental determinants of canine rabies in Tunisia // Transboundary and Emerging Diseases. – 2021. – Vol. 68, Issue 5. – P. 2734-2746.
- 85 Russell C.A., Smith D.L., Childs J.E. et al. Predictive spatial dynamics and strategic planning for raccoon rabies emergence in the northeastern United States // Science. – 2005. – Vol. 309, Issue 5738. – P. 1191-1195.
- 86 Grenfell B.T., Anderson R.M. The effectiveness of vaccination programmes against rabies by reducing spatial heterogeneity in coverage // PLoS Biology. – 1996. – Vol. 23, Issue 5. – P. e3002872.
- 87 Castillo-Neyra R., Xie S., Bellotti B.R. et al. Optimizing the location of vaccination sites to stop a zoonotic epidemic // Scientific reports. – 2024. – Vol. 14, Issue 1. – P. 15910.
- 88 Ferguson E.A., Hampson K., Hollingsworth T.D. et al. Improved effectiveness of vaccination campaigns against rabies by reducing spatial heterogeneity in coverage // PLoS Neglected Tropical Diseases. – 2025. – Vol. 19, Issue 5. – P. e0012405.
- 89 Castillo-Neyra R., Toledo A.M., Arevalo-Nieto C. et al. Socio-spatial heterogeneity in participation in mass dog rabies vaccination campaigns, Arequipa, Peru // PLoS neglected tropical diseases. – 2019. – Vol. 13, Issue 8. – P. e0007600.
- 90 Baker L., Matthiopoulos J., Müller T. et al. Optimizing spatial and seasonal deployment of vaccination campaigns to eliminate wildlife rabies // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2019. – Vol. 374, Issue 1776. – P. 20180280.
- 91 Kabzhanova A.M., Abdrakhmanov S.K., Yessembekova G.N. et al. Spatial analysis of rabies using ArcGIS Pro tools // J. Herald Sci S Seifullin Kazakh Agro Tech Res Univ. – 2025. – Vol. 2. – P. 1-15.

92 Yessembekova G.N., Abenova A., Amirgazin A. et al. Whole genome sequencing and genotyping protocol of rabies virus isolates // J. Eurasian J Appl Biotechnol. – 2023. – Vol. 1. – P. 1-10.

93 Rabies in the United States: Protecting Public Health // <https://www.cdc.gov/rabies/php/protecting-public-health/index.html>. 22.10.2025.

94 Beisembayev K.K., Mukhanbetkaliyev Y.Y., Abdrakhmanov S.K. Serological monitoring for the presence of virus-neutralizing antibodies in domestically vaccinated carnivores against rabies // J. Herald Sci S Seifullin Kazakh Agro Tech Res Univ. – 2023. – Issue 1. – P. 1-10.

95 Кабжанова А.М., Абдрахманов С.К. Анализ ветеринарных мероприятий против бешенства животных в Казахстане в 2022-2024 годы // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «120 лет казахской ветеринарной науке: достижения и новые вызовы в обеспечении биологической безопасности», посв. 120-лет. со дня основания Казахского научно-исследовательского ветеринарного института. – Алматы, 2025. – С. 279-284.

96 Rabies situation in selected countries as reported to WOAИ WAHIS (2025) // https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php. 10.10.2025.

97 Abdrakhmanov S.K., Abenova A.Z., Mukhanbetkaliyeva A.A. et al Animal Rabies in Kazakhstan: Stable Endemicity, Surveillance Pitfalls, and Priority Actions // Pathogens (Basel). – 2025. – Vol. 14, Issue 11. – P. 1079.

98 Toktabayev A., Rysbekov T., Dzhuraev E. Animal rabies in Central Asia: epidemiology, surveillance gaps, and regional priorities // Veterinary Sciences Journal. – 2025. – Vol. 12, Issue 4. – P. 247-255.

99 2,318 seek medical assistance in Bishkek after animal bites in 8 months (2025) / AKIpress News Agency // <https://akipress.com>. 10.10.2025.

100 In Bishkek in 2025, more citizens suffered from animal bites than last year // <https://news.kg/2025/09/08/v-bishkeke-v-2025-godu-ot-ukusov>. 10.10.2025.

101 Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population density, revision 11 (30 arc-second raster dataset) (2018) / Center for International Earth Science Information Network – CIESIN – Columbia University // <https://doi.org/10.7927/H49C6VHW>. 10.10.2025.

102 Abdrakhmanov S.K., Mukhanbetkaliyev Ye.Y., Kabzhanova A.M. et al. Zoning of the republic of Kazakhstan as to the risk of natural focal diseases in animals: the case of rabies and anthrax // Geography, Environment, Sustainability. – 2020. – Vol. 13, Issue 1. – P. 134-144.

103 Esri Data & Maps 10.2 / Environmental Systems Research Institute. – NY., 2010. – 34 p.

104 ArcGIS Desktop: Spatial Analyst toolbox – Kernel Density (2016) // <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox>. 10.10.2025.

105 Zakharova O.I., Korennoy F.I., Yessembekova G.N. et al. Application of Random Forest for spatio-temporal modeling of rabies spread in Kazakhstan // J. Geospat Health. – 2021. – Issue 16. – P. 1045.

106 Кабжанова А.М., Есембекова Г.Н., Абдрахманов С.К. и др. Проявление бешенства в Казахстане на фоне современных природно-

климатических условий // С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университетінің ғылым Жаршысы. – 2021. – №1(108). – С. 132-142.

107 Kabzhanova A.M., Abdrakhmanov S.K., Aubakirov A.Sh. et al. Spatiotemporal clustering of animal rabies in Kazakhstan: Insights from ArcGIS Pro-based analysis // Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University: Veterinary Sciences. – 2025. – Vol. 3, Issue 011. – P. 75-81.

108 Зарва И.Д., Павлов М.В., Сороковой А.А. и др. Применение ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли для оценки пространственно-временного распространения бешенства в Восточном Забайкалье // Проблемы особо опасных инфекций. – 2021. – №2. – С. 100-107.

109 Алиева Ч.В., Зейналова Ш.К. Динамика сезонной заболеваемости животных бешенством в Азербайджане // Ветеринария сегодня. – 2023. – Т. 12, №2. – С. 154-157.

110 Бобров В.А., Забашта С.Н., Черных О.Ю. и др. Сезонность бешенства животных в Краснодарском крае // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. – 2020. – Т. 243, №3. – С. 26-28.

111 Метлин А.Е., Парошин А.В., Шишков А.В. и др. Ситуация по бешенству в различных регионах мира и разработка мероприятий по борьбе с бешенством // Тр. Федерального центра охраны здоровья животных. – 2018. – Т. 16. – С. 72-94.

112 Hudson E.G., Brookes V.J., Ward M.P. et al. Using roaming behaviours of dogs to estimate contact rates: the predicted effect on rabies spread // Epidemiol Infect. – 2019. – Vol. 147. – P. e135.

113 Morales G.J., Schmutz J.A., Healey B.P. Descriptive spatial and spatio - temporal analysis of the 2000–2005 canine rabies endemic in Santa Cruz de la Sierra, Bolivia // Acta Tropica. – 2007. – Vol. 103, Issue 3. – P. 157-162.

114 Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан. Об утверждении Правил планирования и проведения ветеринарных мероприятий против особо опасных болезней животных: утв. 30 июня 2014 года, №16-07/332 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V14F0009639>. 10.02.2026.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Сертификаты об участии в конференциях





**THE FIRST CHINA-KAZAKHSTAN VETERINARY MEDICINE SCIENCE AND
TECHNOLOGY POSTGRADUATE ACADEMIC FORUM**

May 28, 2022 Harbin, China; Nur-Sultan, Kazakhstan

Certifies that

Kabrhanova Anar

has presented the submission

**The influence of climatic and socio-economic factors on the epizootic
process of rabies**

Dr. Xiaojun Wang, Chair

Harbin Veterinary Research Institute



Dr. Sarsenbay Abdrakhmanov, Chair

Seifullin Kazakh Agro Technical University



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Публикации в научных изданиях, входящих в международные информационные ресурсы Web of science и Scopus



Geospatial Health 2024; volume 19:1290

Application of modern spatio-temporal analysis technologies to identify and visualize patterns of rabies emergence among different animal species in Kazakhstan

Aizada A. Mukhanbetkaliyeva,¹ Anar M. Kabzhanova,¹ Abilaikhan S. Kadyrov,¹ Yersyn Y. Mukhanbetkaliyev,¹ Temirlan G. Bakishev,¹ Aslan A. Bainiyazov,¹ Rakhimtay B. Tleulessov,¹ Fedor I. Korennoy,^{2,3} Andres M. Perez,⁴ Sarsenbay K. Abdrakhmanov¹

¹S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan; ²Federal Center for Animal Health (FGBI ARRIAH), Vladimir, Russia; ³Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia; ⁴University of Minnesota, St. Paul, MN, USA

Correspondence: Sarsenbay K. Abdrakhmanov, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, 62 Jenis avenue, 010011 Astana, Kazakhstan.
E-mail: s_abdrakhmanov@mail.ru

Key words: rabies, trends, forecasting, time series, space-time cube, forest-based regression, Kazakhstan.

Contributions: SA led the idea, design and analysis of the study, organized the data collection processes, and wrote much of the paper. FK collaborated in the data analysis and visualization and wrote some of the paper. AM, AK, AK, YM, TB, AB, and RT contributed to data collection, organization, and wrote some of the paper. AP supervised the design of the study and the data analysis process. All authors contributed to the article and approved the submitted version.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest with respect to this study.

Availability of data and materials: all data generated or analyzed during this study are included in this published article.

Acknowledgements: this research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan «Improvement preventive measures against infectious diseases of animals (on the rabies example), based on using of information and communication technologies», AP19679670.

Received: 20 March 2024.

Accepted: 15 July 2024.

©Copyright: the Author(s), 2024
Licensee PAGEpress, Italy
Geospatial Health 2024; 19:1290
doi:10.4081/gh.2024.1290

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract

During the period 2013-2023, 917 cases of rabies among animals were registered in the Republic of Kazakhstan. Out of these, the number of cases in farm animals amounted to 515, in wild animals to 50 and in pets to 352. Data on rabies cases were obtained from the Committee for Veterinary Control and Supervision of Kazakhstan, as well as during expeditionary trips. This research was carried out to demonstrate the use of modern information and communication technologies, geospatial analysis technologies in particular, to identify and visualize spatio-temporal patterns of rabies emergence among different animal species in Kazakhstan. We also aimed to predict an expected number of cases next year based on time series analysis. Applying the 'space-time cube' technique to a time series representing cases from the three categories of animals at the district-level demonstrated a decreasing trend of incidence in most of the country over the study period. We estimated the expected number of rabies cases for 2024 using a random forest model based on the space-time cube in Arc-GIS. This type of model imposes only a few assumptions on the data and is useful when dealing with time series including complicated trends. The forecast showed that in most districts of Kazakhstan, a total of no more than one case of rabies should be expected, with the exception of certain areas in the North and the East of the country, where the number of cases could reach three. The results of this research may be useful to the veterinary service in mapping the current epidemiological situation and in planning targeted vaccination campaigns among different categories of animals.

Introduction

Rabies is one of the deadliest of all infectious diseases and is estimated to have caused an average of 59 000 deaths worldwide each year (Hampson *et al.*, 2015). Dog bites are responsible for approximately 99% of human deaths from rabies, which mainly occurred in Africa and Asia (WHO, 2023). Dog rabies has been



OPEN ACCESS

EDITED BY

Magdalena Baymakova,
Military Medical Academy, Bulgaria

REVIEWED BY

Luciana Crivei,
Ion Ionescu de la Brad University of Agricultural
Sciences and Veterinary Medicine of Iasi,
Romania
Daniel Cisterna,
Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas
Dr. Carlos G. Malbrán (INEL), Argentina
Amit Chaudhari,
Humane Society International, United States

*CORRESPONDENCE

Sarsenbay K. Abdrakhmanov
✉ s_abdrakhmanov@mail.ru

RECEIVED 03 July 2023

ACCEPTED 23 August 2023

PUBLISHED 05 September 2023

CITATION

Kabzhanova AM, Kadyrov AS,
Mukhanbetkaliyeva AA, Yessembekova GN,
Mukhanbetkaliyev YY, Korennoy FI,
Perez AM and Abdrakhmanov SK (2023) Rabies
in the Republic of Kazakhstan: spatial and
temporal characteristics of disease spread over
one decade (2013–2022).
Front. Vet. Sci. 10:1252265.
doi: 10.3389/fvets.2023.1252265

COPYRIGHT

© 2023 Kabzhanova, Kadyrov,
Mukhanbetkaliyeva, Yessembekova,
Mukhanbetkaliyev, Korennoy, Perez and
Abdrakhmanov. This is an open-access article
distributed under the terms of the [Creative
Commons Attribution License \(CC BY\)](#). The
use, distribution or reproduction in other
forums is permitted, provided the original
author(s) and the copyright owner(s) are
credited and that the original publication in this
journal is cited, in accordance with accepted
academic practice. No use, distribution or
reproduction is permitted which does not
comply with these terms.

Rabies in the Republic of Kazakhstan: spatial and temporal characteristics of disease spread over one decade (2013–2022)

Anar M. Kabzhanova¹, Abilaikhan S. Kadyrov¹,
Aizada A. Mukhanbetkaliyeva¹, Gulzhan N. Yessembekova¹,
Yersin Y. Mukhanbetkaliyev¹, Fedor I. Korennoy²,
Andres M. Perez³ and Sarsenbay K. Abdrakhmanov^{1*}

¹Faculty of Veterinary and Livestock Technology, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan, ²Federal Centre for Animal Health (FGBI ARRIA), Vladimir, Russia, ³Center for Animal Health and Food Safety, College of Veterinary Medicine, University of Minnesota, St. Paul Campus, St. Paul, MN, United States

Rabies is a fatal zoonotic disease that remains endemic in Kazakhstan despite the implementation of annual vaccination campaigns. Using data collected over a 10-year time period, the objective of this study was to provide updated information on the epidemiological situation of the disease in the country, and quantitative data on the species-specific spatial distribution of rabies and on the epidemiological features associated with that clustering. Five significant ($p < 0.05$) clusters of disease were detected. Clusters in southern Kazakhstan were associated with companion animals, which are likely explained by the maintenance of a domestic cycle of the disease in the most densely populated region of the country. Livestock cases were most frequent in clusters in the eastern (where wildlife cases were also frequent) and western regions of Kazakhstan, with higher probability of occurrence in spring and summer, compared to the rest of the year. The results here are consistent with differential patterns for disease transmission in Kazakhstan and will contribute to the design and implementation of zoning approaches to support the progressive control of rabies in the country.

KEYWORDS

spatial clustering, rabies, Kazakhstan, epidemiology, disease control, spatial scan statistic

Sarsenbay K. Abdrakhmanov^{1*}, Yersyn Y. Mukhanbetkaliyev¹, Fedor I. Korennoy², Kanatztan K. Beisembayev¹, Ablaihan S. Kadyrov¹, Anar M. Kabzhanova¹, Julie Adamchick³, Gulzhan N. Yessembekova¹

¹ S.Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan (Astana), Republic of Kazakhstan

² Federal Center for Animal Health (FGBI ARRIAH), Vladimir, Russian Federation

³ Department of Veterinary Population Medicine, University of Minnesota, St. Paul, USA

*Corresponding author: s_abdrakhmanov@mail.ru

ZONING OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN AS TO THE RISK OF NATURAL FOCAL DISEASES IN ANIMALS: THE CASE OF RABIES AND ANTHRAX

ABSTRACT. Rabies and anthrax, being natural focal diseases, are characterized by the ability to persist in areas with a certain combination of environmental factors without human intervention. These infections annually cause sporadic outbreaks in domestic, livestock and wild animals in the Republic of Kazakhstan (RK) receiving close attention of the veterinary service. In particular, targeted mass vaccination and surveillance are conducted, which requires zoning of the country according to the exposure to the diseases.

This paper presents a zoning approach based on the estimation of suitability to the study diseases using the Environmental Niche Modelling method. Retrospective data on animal rabies outbreaks in the RK for 2003-2014, as well as data on anthrax burial sites for 1933-2014 were used. The following environmental factors were treated as potential explanatory variables: 1) a set of climate data derived variables BIOCLIM; 2) altitude above the sea level; 3) land cover type; 4) the maximum green vegetation fraction and 5) soil type.

The modelling outcomes for both diseases indicate elevated risks along the northern and southeastern borders of the RK that not only follows the distribution of historic disease cases, but also accounts for potentially suitable environmental conditions. To comply with the requirements of the veterinary service, gridded risk maps were converted into categorical maps by averaging risk values within municipal districts and ranking according to four categories: low, medium, high, and very high.

The maps obtained may be used as recommendations to the veterinary service as a basis for developing region-specific anti-epizootic measures.

KEY WORDS: Anthrax, rabies, zoning, Kazakhstan, suitability modelling, Maxent

CITATION: Sarsenbay K. Abdrakhmanov, Yersyn Y. Mukhanbetkaliyev, Fedor I. Korennoy, Kanatztan K. Beisembayev, Ablaihan S. Kadyrov, Anar M. Kabzhanova, Julie Adamchick, Gulzhan N. Yessembekova (2020) Zoning Of The Republic Of Kazakhstan As To The Risk Of Natural Focal Diseases In Animals: The Case Of Rabies And Anthrax. *Geography, Environment, Sustainability*, Vol.13, No 1, p. 134-144 DOI-10.24057/2071-9388-2020-10

INTRODUCTION

The prevention and elimination of zoonotic infections remains a priority and responsibility of veterinary science and practice. Rabies and anthrax are among the most significant zoonoses that form the epizootic and epidemic status of many countries and regions of the world, including the Republic of Kazakhstan (RK). The epidemic and epizootic status of these infections is specified according to the level of epidemic danger and the degree of activity of foci in the territory of the

et al. 2013). Over the recent years, the epizootic situation on rabies in the RK remains tense: the rabies incidence in animals (foxes, raccoon dogs, wolves, cats and cattle) tends to increase by an average of 7 % annually. Up to 700 head of farm animals die annually from rabies in the RK; more than 50% of them are cattle and up to 25% are sheep and goats (Abdrakhmanov et al. 2010).

In most regions of the RK, the epizootic status for rabies is extremely difficult: the incidence among various animal species has increased over the last decade; the disease also

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Публикации в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки (КОКСОН)

HERALD OF SCIENCE OF S. SEIFULLIN KAZAKH AGROTECHNICAL RESEARCH UNIVERSITY: VETERINARY SCIENCES № 3 (011) 2025

Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University: Veterinary Sciences.
– Astana: S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, 2025. – № 3 (011). – P.75-81.
– ISSN 2958-5430, ISSN 2958-5449

doi.org/10.51452/kazatuvc.2025.3(011).2025

UDC [619:578.824.11]:004.418(574)(045)

Research article

Spatiotemporal Clustering of Animal Rabies in Kazakhstan: Insights from ArcGIS Pro-Based Analysis

Anar M. Kabzhanova¹ , Sarsenbay K. Abdrakhmanov¹ , Yersyn Y. Mukhanbetkaliyev¹ ,
Azamat Sh. Aubakirov² 

¹Faculty of Veterinary and Livestock Technology, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research
University, Astana, Kazakhstan,

²RSE “National Reference Center for Veterinary Medicine” of the Committee for Veterinary Control
and Supervision of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: Anar M. Kabzhanova: an_kab@bk.ru

Co-authors: (1: SA) s_abdrakhmanov@mail.ru; (2: MY) ersyn_1978@mail.ru;
(3: AA) armada-90@mail.ru

Received: 22-07-2025 **Accepted:** 24-09-2025 **Published:** 30-09-2025

Abstract

Background and Aim. Rabies is a zoonotic viral disease that continues to pose a major public health threat worldwide, particularly in regions with limited access to vaccination and disease monitoring. Kazakhstan remains endemic for animal rabies, with variable patterns across geography and species. The objective of this study is to identify spatial and temporal clusters of rabies outbreaks among animals in Kazakhstan from 2013 to May 2025, using GIS-based methods to inform regional control and prevention strategies.

Materials and Methods. This study applied three geospatial tools within ArcGIS Pro: Hot Spot Analysis using Getis-Ord Gi*, Kernel Density Estimation (KDE), and Space-Time Kernel Density to a national dataset of confirmed rabies cases among animals. The database included geographic coordinates, species type, dates of confirmation, and number of infected animals. KDE and Getis-Ord Gi* were used to detect spatial clusters and density gradients, while Space-Time Kernel Density enabled tracking of outbreak patterns over time.

Results. Hot Spot Analysis identified high-risk zones in northeastern (North Kazakhstan, Pavlodar oblasts) and western regions (Aktobe oblast), potentially linked to wild animal migration and insufficient vaccination coverage. KDE revealed additional high-density areas in southern and eastern regions. Space-time analysis showed persistent clusters in Zhambyl, Kostanay oblasts, and western Kazakhstan, while central regions exhibited low density likely due to geographic and demographic isolation.

Conclusion. Spatial and spatiotemporal analyses demonstrated that rabies outbreaks in Kazakhstan are not randomly distributed but form distinct species- and region-specific clusters. These insights support the need for differentiated veterinary approaches. Timely and geographically targeted vaccination programs particularly in identified hot spots are critical to reducing the incidence of rabies.

Keywords: animal rabies; ArcGIS Pro; epidemiology; Kazakhstan; spatial analysis; vaccination.

Introduction

Rabies is a fatal zoonotic disease caused by lyssaviruses that affects the central nervous system of mammals, including humans. Once clinical symptoms emerge, the disease is almost invariably lethal. Despite the long-standing availability of effective vaccines and post-exposure prophylaxis, rabies continues to cause tens of thousands of human deaths globally each year, with a disproportionate impact on rural communities in low- and middle-income countries [1, 2].

In Kazakhstan, rabies remains a significant public and veterinary health concern, with confirmed outbreaks recorded annually in both domestic and wild animal populations. Between 2013 and 2023,

Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University: Veterinary Sciences.
 – Astana: S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, 2025. – № 2 (010). – P. 110-116.
 - ISSN 2958-5430, ISSN 2958-5449

doi.org/ 10.51452/kazatuvc.2025.2(010).1964

UDC [636.09:004.41]:303.722.4(045)

Research article

Spatial analysis of rabies using ArcGIS Pro tools

Anar M. Kabzhanova , Sarsenbay K. Abdrakhmanov , Gulzhan N. Yessembekova ,
 Temirlan G. Bakishev , Gulmira K. Murzakayeva , Zhanar S. Bakisheva 

¹Faculty of Veterinary and Livestock Technology,
 S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: Anar M. Kabzhanova: an_kab@bk.ru

Co-authors: (1: SA) s_abdrakhmanov@mail.ru; (2: GN) gulzhan_nk@mail.ru;
 (3: TB) bakishevt@mail.ru; (4: GM) m.gumika@list.ru; (5: ZB) bakiweva@mail.ru

Received: 22-04-2025 Accepted: 19-06-2025 Published: 27-06-2025

Abstract

Background and Aim. In line with the One Health concept, which recognizes the interconnectedness of human, animal, and ecosystem health, the global burden of rabies remains relevant given the current increase in zoonotic and vector-borne diseases. For successful rabies control, monitoring the changing patterns of infection spread is vital. This paper is devoted to the spatial analysis of the spread of rabies among animals in Kazakhstan.

Materials and Methods. The Spatial Autocorrelation (Moran's I) and Anselin Local Moran's I statistics of the Geoprocessing tool in ArcGIS Pro were used.

Results. Several types of spatial distribution were noted: clusters in the northeast, south, and west of the country; sparse type in the border areas of the north and northwest; and random distribution in the central and southwestern regions. High-Low Outliers indicating sporadic outbreaks of rabies caused by the migration of infected animals, as well as Low-High Outliers indicating the containment of the epizootic due to preventive measures or natural barriers were also revealed.

Conclusion. The study highlights the need to strengthen control over the spread of rabies, implement measures to prevent the migration of infected animals, and optimize vaccination and monitoring programs. The use of spatial analysis methods allows us to identify epidemiological patterns and develop effective strategies to combat the disease in regions with different risk levels.

Keywords: animal rabies; spatial analysis; clusters; geographic information system technology.

Introduction

Rabies is a major public health problem [1, 2, 3]. Despite significant progress in epidemiological surveillance and prevention, more than 55,000 people die from rabies every year worldwide, making it the deadliest zoonosis [4, 5]. In Kazakhstan, it remains a pressing veterinary and epidemiological problem, especially in rural and border regions. The main sources of infection are wild and stray animals, and the spread of the virus largely depends on natural [6, 7], climatic, and socioeconomic factors.

Modern methods of epidemiological monitoring, including spatial analysis using GIS technologies, make it possible to identify foci of infection, analyze patterns of spread, and develop effective preventive measures [6, 7].

Spatial analysis plays a key role in studying the spread of infectious diseases such as rabies, enabling the identification of patterns and clusters of disease incidence. As noted in the IMAJINE report: "Regional economic growth varies significantly across EU territories depending on local capacities, policies, and historical trajectories" (Dax et al., 2020, 15), ArcGIS Pro tools, including Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) and Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I), are widely used to assess spatial autocorrelation and identify local clusters, respectively [8, 9].

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) = Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина (междисциплинарный). - 2022. - №3 (114). - Ч.2. - С. 51-58

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПО БЕШЕНСТВУ ЖИВОТНЫХ В КАЗАХСТАНЕ

Кабжанова Анар Магжановна

Магистр ветеринарных наук

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

г. Нур-Султан, Казахстан

E-mail: an_kab@bk.ru

Муханбеткалиев Ерсун Ергазыевич

Кандидат ветеринарных наук

ассоциированный профессор

Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина

г. Нур-Султан, Казахстан

E-mail: ersyn_1974@mail.ru

Есембекова Гульжан Нурлыбековна

PhD

Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина

г. Нур-Султан, Казахстан

E-mail: gulzhan_nk@mail.ru

Бердикулов Максат Аманбекович

Кандидат ветеринарных наук

«Национальный референтный
центр по ветеринарии» КВКН МСХ РК

E-mail: berdikulov.ma@mail.ru

Абдрахманов Сарсенбай Кадырович

доктор ветеринарных наук

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

г. Нур-Султан, Казахстан

E-mail: s_abdrakhmanov@mail.ru

Аннотация

Бешенство в Казахстане является многолетней проблемой, приносящей серьезные убытки экономике страны. В условиях нынешнего экономического прогресса важно принять научно-обоснованные стратегические меры по его ликвидации в соответствии с современными особенностями распространения инфекции. В данной статье отражены результаты проведения

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Публикации в материалах международных конференций

Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию С.Сейфуллина = С.Сейфуллиннің 130 жылдығына арналған халықаралық ғылыми - практикалық конференциясының материалдары. - 2024. – Ч.І.- Б.57-60

ӘОЖ: 004.056(045)

SATSCAN БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМА АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ҚҰТЫРЫҚТЫҢ КЛАСТЕРЛЕРІН АНЫҚТАУ

Қабжанова А.М., ветеринария ғылымдарының магистрі

Қадыров А.С., техника ғылымдарының магистрі

Мұханбетқалиев Е.Е., в.ғ.к., профессор

Әбдірахманов С.К., в.ғ.д., профессор

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана

Қ.

Құтырық - жыл сайынғы алдын алу шараларын қарқынды жүргізуге қарамастан, Қазақстанда эндемиялық болып табылатын өлімге әкелетін зооноздық ауру. Зерттеудің мақсаты - құтырықтың түрлік және кеңістіктік таралуының сандық деректері мен эпидемиологиялық ерекшеліктерін анықтау. Аурудың бес маңызды ($p < 0,05$) кластерлер анықталды. Қазақстанның оңтүстігіндегі кластерлер еліміздің ең тығыз қоныстанған өңіріндегі аурудың тұрмыстық циклімен отетн серіктес жануарлармен байланысты. Шығыс және батыс аймақтардағы кластерлер ауылшаруашылық жануарларының құтырығымен байланысты [1, 2].

Құтырықтың нақты ауыртпалығы бүкіл әлемде де, Қазақстанда да елдің ішкі және сыртқы саудасы мен дамуына әсер ететін орасан зор экономикалық жүктеме екенің мойындау керек. Ветеринариялық және медициналық салалар ауруды бақылау және алдын алу шараларын жүргізу барысында бірдей шығындарға ұшырайды. Жануарлардың ауру салдарынан жойылуы еліміздің экономикасы мен жеке шаруашылықтарына елеулі теріс әсер етуде [3, 4].

Құтырықты тиімсіз жоюдың негізгі себептеріне қанғыбас, үй жануарлар (иттер, мысықтар) санын есепке алмауы, анықталған ошақтарды уақтылы тіркеудің және тиісті жою шараларын қабылдаудың болмауына байланысты үй және ауыл шаруашылығы жануарларының ұсынылатын мал басын вакцинациялаумен толық қамтымау сияқты бірқатар өзара байланысты себептер жатады, мұнда тек ошақты диагностикалау және жою жөніндегі мемлекеттік қызметтердің, қадағалау және атқарушы органдардың іс-қимылдарын

– 2016. – № 10. – С. 3-7.

5. Abdrakhmanov, S.K., Mukhanbetkaliyev, Y.Y. Korennoy, F.I., Karatayev, B.Sh, Mukhanbetkaliyeva, A.A., Abdrakhmanova, A.S. Spatio-temporal analysis and visualisation of the anthrax epidemic situation in livestock in Kazakhstan over the period 1933-2016 // Geospatial Health. – 2017. – 12:589. – P.316-324.

[DOI: 10.34617/snkk-vh25](https://doi.org/10.34617/snkk-vh25)

УДК 619:616.993

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА ЭПИЗООТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС БЕШЕНСТВА
THE EFFECT OF NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS
ON THE EPIZOOTIC PROCESS OF RABIES**

Абдрахманов Сарсенбай Кадырович, д-р вет. наук,
Бейсембаев Канатжан Каиргельдинович, доктор PhD,
Кабжанова Анар, докторант

АО «Казакский агротехнический университет имени
С. Сейфуллина», г. Нур-Султан, Республика Казахстан,
Abdrakhmanov Sarsenbay Kadyrovich, Dr. Vet. Sci.,
Beisembayev Kanatzhan Kairgeldinovich, Ph.D.,
Kabzhanova Anar, doctoral student
JSC «Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin»,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

Аннотация: в статье приводятся исследования по выяснению наиболее преобладающих переменных, влияющих на распространение бешенства среди различных категорий восприимчивых животных. При этом для категории «сельскохозяйственные животные» наибольшее значение имеют такие переменные как «уровень осадков самого холодного квартала», «тип землепользования» и «годовая средняя температура», для «домашних и диких животных» – «среднегодовое количество осадков», «тип землепользования», «высота над уровнем моря» и «уровень осадков самого холодного квартала».

«Сейфуллин оқулары – 18(2): «XXI ғасыр ғылыми - трансформация дәуірі» халықаралық ғылыми - практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения - 18(2): «Наука XXI века - эпоха трансформации». - 2022.- Т.1, Ч.II.- С. 284-286.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПО БЕШЕНСТВУ ЖИВОТНЫХ В КАЗАХСТАНЕ

Кабжанов А.М., м.в.н

Бейсембаев К.К., доктор PhD, ассоциированный профессор

Абдрахманов С.К., д.в.н., профессор

Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, г.Астана

Глобализация торговли продовольствием, предусматривающая быстрое перемещение животных и животноводческой продукции из одного региона в другой, между государствами, а иногда на другой континент, обусловила все ярче проявляющуюся в последние годы тенденцию повышения риска распространения инфекционной патологии животных и птиц, в том числе и опасных для человека [1].

Бешенство – вакцино-контролируемое вирусное заболевание, которое встречается в более чем в 150 странах и территориях. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), бешенство ежегодно вызывает 59 000 человеческих смертей, причем 95% случаев приходится на Африку и Азию [2].

Эпидемиологическая ситуация по бешенству находится в прямой зависимости от количества вспышек и очагов, при этом смертность от бешенства в нашей стране выше, чем в Российской Федерации и в сотни раз ниже, чем в Китае [3,4], однако стоит отметить отсутствующую смертность людей от бешенства с 2018 года по настоящее время, что явилось следствием улучшения системы профилактических, антирабических мероприятий в республике.

В связи с этим, целью наших исследований явилось изучение эпизоотического проявления бешенства животных на территории РК за последние 10 лет (период наблюдения 2012-2021 года).

Материалы и методы.

Необходимые исходные материалы формировали за счет собственных данных, собранных при выездах в хозяйствующие субъекты, а также в районные и областные территориальные инспекции. В качестве материалов также были использованы отчетные и обзорные данные Комитета ветеринарного контроля и надзора МСХ РК и статистические данные Комитета по статистике МНЭ РК.

Для проведения эпизоотологических исследований и анализа эпизоотической ситуации по бешенству использован комплексный метод эпизоотологического исследования, включающий сравнительно-историческое, сравнительно-географическое описание и эпизоотологическое обследование.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Разработка и внедрение методической рекомендации по повышению эффективности профилактических мероприятий против бешенства животных

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**

**НАО «КАЗАХСКИЙ АГРОТЕХНИЧЕСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
С.СЕЙФУЛЛИНА»**



**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВОДИМЫХ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ
МЕРОПРИЯТИЙ ПРОТИВ БЕШЕНСТВА ЖИВОТНЫХ**

**Республика Казахстан
Астана, 2025**

УДК [619:616-039.71]:578.824.11
ББК 48.731:48.7-8я81
А16

«Методические рекомендации по повышению эффективности проводимых профилактических мероприятий против бешенства животных»
Астана, 2025. – 30 с.

Авторы: Абдрахманов С.К. д.в.н., профессор, Кабжанова А.М. м.в.н.,
Муханбеткалиев Е.Е. к.в.н., профессор, Кадыров А.С., м.т.н.

Методические рекомендации разработаны в рамках проекта
АР19679670 «Совершенствование профилактических мероприятий против
инфекционных болезней животных (на примере бешенства), на основе
применения информационно-коммуникационных технологий», 2023-2025 гг.

Рассмотрено и одобрено на заседании НТС НАО «КАТУ им.
С.Сейфуллина», протокол № 7 от 20 июня 2025 г.

Рецензенты:

- профессор кафедры «Ветеринарная медицина» НАО «Казахский
агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», доктор
ветеринарных наук, **Абдрахманов Т.Ж.**

- начальник отдела «Регистрационные испытания, апробация и контроль
качества ветеринарных препаратов» РГП на ПХВ «Национальный
референтный центр по ветеринарии» КВКН МСХ РК, магистр ветеринарных
наук, **Аубакиров А.Ш.**

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Акты внедрения



«Утверждаю»

Генеральный директор РГП
«Национальный референтный центр
по ветеринарии» КВКН МСХ РК

М.А. Бердикулов
«11» 08 2025 г.

АКТ

Внедрения в производство научно-технической разработки
«Совершенствование профилактических мероприятий бешенства животных, на основе применения информационно-коммуникационных технологий»
в рамках реализации научного проекта AP19679670 «Совершенствование профилактических мероприятий против инфекционных болезней животных (на примере бешенства), на основе применения информационно-коммуникационных технологий»,
(2023-2025 гг.)

Наименование предложения. Использование результатов научных исследований по совершенствованию проводимых профилактических и противозoonотических мероприятий в РК против бешенства с применением методов количественной эпидемиологии, геопространственного анализа и компьютерных программ.

Каким научным учреждением предложены мероприятия к внедрению. НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина»

Место внедрения. РГП «Национальный референтный центр по ветеринарии» КВКН МСХ РК.

Календарный срок внедрения. С 2025 г.

Объекты внедрения:

1. Электронная база эпизоотологических данных о распространении бешенства на территории Республики Казахстан (Приложение 1);
2. Методология математического моделирования риска возникновения и/или заноса социально-значимых зоонозных заболеваний (бешенства) (Приложение 2);
3. Интерактивные онлайн-карты с отображением статуса районов в отношении безопасности экспорта/импорта животноводческой продукции при бешенстве животных (Приложение 3);
4. План профилактических и противозoonотических мероприятий против бешенства в Республике Казахстан (Приложение 4).

Основные результаты внедрения. На основании собранных и обработанных данных по бешенству была создана база данных по бешенству в Arcgis PRO в форматах Geodatabase (.gdb) и CSV (.csv) и проведен пространственный анализ с применением инструментов Geoprocessing. Основу базы данных составляют: 1) векторный слой с районным делением РК с привязанными атрибутами (плотность населения, плотность различных типов животных, плотность автодорог, количество случаев бешенства среди каждой из трех категорий животных); 2) векторный слой со вспышками бешенства за период 2013 – 2023 гг. с атрибутами (местоположение вспышки, число пораженных животных, вид животных, дата выявления заболевания). Для математического моделирования риска возникновения и/или заноса бешенства на территории страны применены несколько методов. Так, прогнозирование случаев бешенства с помощью модели экологических ниш осуществлялось на основе принципа максимальной энтропии (MaxEnt). Также разработана

БЕКІТЕМІН

Басқарма мүшесі – ғылыми
қызмет жөніндегі проректор, физика-
математика ғылымдарының кандидаты
Е.Ө. Сырғалиев
2025



**Оқу үлгісіне
ғылыми-зерттеу
жұмыс нәтижелерін енгізу бойынша
АКТ**

1. Ғылыми-зерттеу, ғылыми-техникалық жұмыстардың және (немесе) ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық қызмет нәтижелерінің атауы (монография, диссертация, ғылыми жоба, патент – жарияланған жылы, беттер саны):

Ғылыми-техникалық әзірлеме: «Ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолдану негізінде жануарлар құтырығын дауалау шараларын жетілдіру»

2. Авторлар туралы мәліметтер (Автордың аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, ғылыми атағы, қызметі, факультет, кафедра):

- Абдрахманов Сарсенбай Кадырович, в.ғ.д., профессор, Жануарлар ғылымы және ветеринария институтының директоры;

- Муханбетқалиев Ерсін Ергазиевич, в.ғ.к., профессор, Жануарлар ғылымы және ветеринария институты, «Ветеринария» БББ тобының профессоры;

- Мұханбетқалиева Айзада Әйкеқызы, ветеринария ғылымдарының кандидаты, доцент Жануарлар ғылымы және ветеринария институты, «Ветеринария» БББ тобының профессоры м.а;

- Кадыров Аблайхан Сарсенбаевич, ғылымды қажетсінетін өндірістерді басқару мамандығы бойынша магистр, Жануарлар ғылымы және ветеринария институты, «Ветеринария» БББ тобында ғылыми қызметкер;

- Кабжанова Анара Мағжановна, ветеринария ғылымдарының магистрі, Жануарлар ғылымы және ветеринария институты, «Ветеринария» БББ тобының оқытушысы;

- Абеннова Асем Жандарбекқызы ветеринария ғылымдарының магистрі, Жануарлар ғылымы және ветеринария институты, «Ветеринария» БББ тобының аға оқытушысы.

3. Қысқаша аннотация:

Ғылыми-техникалық әзірлеме 2023–2025 жылдар аралығында жүзеге асырылып жатқан АР19679670 «Ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолдану негізінде жануарлардың инфекциялық ауруларына қарсы дауалау шараларын жетілдіру (құтырық үлгісінде)» ғылыми жобасының шеңберінде әзірленді. Құтырықтың таралуы бойынша эпизоотологиялық деректер базасы ArcGIS PRO-да құрылды. MaxEnt, SatScan және «кеністіктік-уақыттық куб» әдістері арқылы тәуекелді болжау модельдері әзірленді. ArcGIS Online-да құтырықтың таралуы мен аудандардың эпизоотиялық мәртебесін көрсететін интерактивті карталар жасалды. Көпжылдық талдауға сүйене отырып, дауалық және вакциналау жоспары әзірленді. Жоба нәтижелері құтырықтың індеттік жағдайын тиімді бақылауға, мониторингке және дауалық шаралардың тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Жобаны үске асыру нәтижесінде келесі нысандар, оқу үлгісіне ендірілді:

- Қазақстан Республикасы аумағында жануарлар құтырығының таралуы туралы індеттанулық деректердің электронды базасы;