



ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

Научная статья/Research article

УДК 636.09:578.4::578.427

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-114-126

Дмитрий Васильевич Подшибякин¹, Лариса Павловна Падило²✉,
Валерий Александрович Агольцов³, Людмила Викторовна Ступина⁴

¹ООО «Научно-исследовательский институт технологий органической, неорганической химии и биотехнологий», Саратов, Россия

^{2,3,4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологий и инженерии им. Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

¹podshibyakin@list.ru

²padilo-2019@mail.ru

³agoltsov-saratov@yandex.ru

⁴stupinalv58@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РИСК РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗУД КРС В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ (2020–2024 гг.)

Цель исследования – оценка влияния природных и антропогенных факторов на риск распространения вируса ЗУД КРС на территории Юго-Восточной Азии в 2020–2024 гг. Оценку проводили, моделируя методом максимальной энтропии экологические ниши возбудителя, занимаемые им в каждой из трех климатических зон Индокитая и Малайского архипелага: зоне тропического влажного климата, зоне тропического муссонного климата и зоне тропических саванн с сухой зимой. Для моделирования использовалась информация о локализации 1315 вспышек ЗУД КРС, зарегистрированных Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН в указанный период. Наивысшая вероятность возникновения новых вспышек заболевания приходится на территории с плотностью автодорожной сети свыше 200 м/км², плотностью поголовья восприимчивого скота более 20 голов/10 км², количеством осадков во время самого теплого квартала года не более 1200 мм и среднегодовой скоростью ветра не более 2,7 м/с. Кроме этого, в зонах с тропическим влажным и тропическим муссонным климатом наблюдается повышенный риск на территориях с преобладанием распаханых земель. В зоне с тропическим влажным климатом и зоне саванн с сухой зимой лимитирующим фактором является среднее количество осадков, выпадающих в месяц. В первом случае риск снижается при данном показателе, превышающем 280 мм, во втором – 160 мм. В целом главенствующую роль в геопространственном распределении риска возникновения вспышек играют антропогенные факторы. Наиболее подвержены риску развития эпизоотии центральные, восточные, северо-восточные и южные районы Таиланда, южные районы Камбоджи, побережья полуострова Малакка (Малайзия), центральные и южные районы Вьетнама, а также центральные районы острова Суматра (Индонезия).

Ключевые слова: ЗУД КРС, факторы окружающей среды, геопространственный анализ, климатические зоны

Для цитирования: Подшибякин Д.В., Падило Л.П., Агольцов В.А., и др. Влияние факторов окружающей среды на риск распространения ЗУД КРС в Юго-Восточной Азии (2020–2024 гг.) // Вестник КрасГАУ. 2026. № 4. С. 114–126. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-114-126.

Dmitry Vasilyevich Podshibyakin¹, Larisa Pavlovna Padilo², Valery Aleksandrovich Agoltsov³, Lyudmila Viktorovna Stupina⁴

¹Research Institute of Organic and Inorganic Chemistry and Biotechnology LLC, Saratov, Russia

¹podshibyakin@list.ru

^{2,3,4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov

²padilo-2019@mail.ru

³agoltsov-saratov@yandex.ru

⁴stupinalv58@mail.ru

ENVIRONMENTAL FACTORS INFLUENCE ON THE RISK OF BOVINE LSD SPREAD IN SOUTHEAST ASIA (2020–2024)

The objective of the study is to assess the influence of natural and anthropogenic factors on the risk of bovine LSD virus (BLSD) spread in Southeast Asia in 2020–2024. The assessment was conducted using maximum entropy modeling of the pathogen's ecological niches in each of the three climatic zones of Indochina and the Malay Archipelago: a tropical humid climate zone, a tropical monsoon climate zone, and a tropical savannah zone with dry winters. Information on the localization of 1,315 BLSD outbreaks registered by the Food and Agriculture Organization of the United Nations during the specified period was used for the modeling. The highest probability of new outbreaks occurs in areas with a road network density exceeding 200 m/km², a susceptible cattle population density exceeding 20 heads/10 km², precipitation during the warmest quarter of the year no more than 1,200 mm, and an average annual wind speed of no more than 2.7 m/s. Furthermore, in tropical humid and tropical monsoon climates, the risk is higher in areas with predominantly cultivated land. In tropical humid climates and savannah zones with dry winters, the limiting factor is the average monthly precipitation. In the former, the risk decreases when the average monthly precipitation exceeds 280 mm, while in the latter, it decreases when the average monthly precipitation exceeds 160 mm. On the whole, anthropogenic factors play a dominant role in the geospatial distribution of outbreak risk. Those most at risk for epizootic outbreaks include the central, eastern, northeastern, and southern regions of Thailand, southern Cambodia, the coast of the Malay Peninsula (Malaysia), central and southern Vietnam, and central Sumatra (Indonesia).

Keywords: LSD, environmental factors, geospatial analysis, climatic zones, tropical climate

For citation: Podshibyakin DV, Padilo LP, Agoltsov VA, et al. Environmental factors influence on the risk of bovine LSD spread in Southeast Asia (2020–2024). *Bulletin of KSAU*. 2026;(4):114-126. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-114-126.

Введение. Заразный узелковый дерматит крупного рогатого скота (нодулярный дерматит, ЗУД КРС) – это эмерджентная трансмиссивная трансграничная болезнь, возбудителем которой является ДНК-содержащий каприпоксвирус (сем. *Poxviridae*). Из числа сельскохозяйственных животных к данному заболеванию восприимчивы крупный рогатый скот (*Bos spp.*) и буйволы (*Bubalis spp.*) [1, 2]. Из-за объемов вызываемых экономических потерь ЗУД КРС был внесен Всемирной организацией по охране здоровья животных в список болезней, подлежащих обязательной нотификации [3].

Впервые случай заболевания ЗУД КРС был зарегистрирован в 1929 г. на территории современной Замбии, впоследствии нозоареал возбудителя неуклонно расширялся, охватив большую часть Африки. В 1980–1990 гг. вспышки

были впервые зарегистрированы в Европе и на Ближнем Востоке. В первые два десятилетия XXI в. отмечено широкое распространение вируса в восточном направлении: на территорию России возбудитель проник в 2015 г., в страны Южной Азии – в 2019 г. На территории государств Юго-Восточной Азии (ЮВА) первые вспышки были зарегистрированы в 2020 г. [4–10].

Таким образом, к настоящему времени нозоареал возбудителя ЗУД КРС охватывает значительные территории Африки и Евразии, характеризующиеся разнообразными природными и антропогенными условиями. В связи с этим представляет интерес анализ факторов окружающей среды в различных климатических зонах, способных оказывать влияние на распространение этого заболевания.

Цель исследования – оценка влияния природных и антропогенных факторов на риск распространения вируса ЗУД КРС на территории Юго-Восточной Азии в 2020–2024 гг.

Объекты и методы. Факторы окружающей среды можно подразделить на природные, антропогенные и факторы смешанного природно-антропогенного происхождения. К числу первых относятся климатические параметры, высота над уровнем моря, количество солнечной радиации и др. К числу вторых – размеры поголовья восприимчивых сельскохозяйственных животных и характер его пространственного размещения, плотность сети автомобильных дорог и т. д. Такой фактор как землепользование, т. е. совокупность биогеоценозов данной местности, может формироваться совместным влиянием природных факторов и деятельностью человека (землепользованием).

В качестве источника информации о климатических условиях использовали два набора

данных. На основе информации из набора Climatic Research Unit gridded Time Series 4.08 [11] были вычислены средние месячные климатические показатели для периода 2011–2023 гг. Помимо этого также были использованы климатические данные на основе метеорологических наблюдений за 1970–2000 гг., а также информация о высоте над уровнем моря, среднегодовых показателях скорости ветра и уровне солнечной радиации из базы данных WorldClim v.2.1 [12]. Расстояние до ближайших водоемов и плотность гидросети вычисляли, основываясь на информации из Global River Classification Framework [13].

Сведения о плотности поголовья восприимчивых животных были взяты из набора данных Gridded Livestock of the World 4.0 [14]. Информация о плотности сети автодорог получена из Global Roads Inventory Project 4 [15].

Сведения о господствующем типе землепользования (табл. 1) взяты из базы данных FAO Global Land Cover SHARE [16].

Таблица 1

Типы землепользования, использовавшиеся в исследовании риска распространения возбудителя ЗУД КРС в Юго-Восточной Азии [16]
Types of land cover used in the study of the spread risk of LSD in Southeast Asia [16]

Номер в базе данных	Тип землепользования
1	Искусственные поверхности (населенные пункты)
2	Распаханные земли
3	Пастбища
4	Леса и лесные насаждения
5	Кустарниковые поросли
6	Луга, заболоченные или регулярно затапливаемые
7	Мангровые заросли
8	Редкотравье
9	Пустоши
10	Многолетние снега и ледники
11	Водоемы

Информация о границах климатических зон, в пределах которых проводилось исследование, была получена из цифровой карты классификации климатов Кеппена-Гейгера VASCLimO v. 1.1, основанной на метеорологических наблюдениях за 1951–2000 гг. [17].

Данные о вспышках ЗУД КРС получены из FAO Global animal disease information system (EMPRES-i) (URL: <https://empres-i.apps.fao.org>).

Вся вышеуказанная информация была представлена в виде геопространственных данных,

которые обрабатывали и визуализировали в геоинформационной системе (ГИС) ESRI ArcGIS Desktop 10.8 (URL: <https://esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/overview>). Для визуализации геопространственной информации использовали базовые карты GADM (URL: <https://gadm.org/index.html>).

Оценку влияния факторов окружающей среды на риск распространения возбудителя ЗУД КРС проводили при помощи моделирования его экологической ниши методом максимальной

энтропии. Поскольку наличие взаимной корреляции (мультиколлинеарности) между факторами способно вызвать искажение модели пространственного распределения изучаемого вида, проводили предварительный анализ с целью ее обнаружения. Для этого в каждой тропической

климатической зоне Юго-Восточной Азии было очерчено по одной тестовой территории с таким расчетом, чтобы внутри них оказалась большая часть вспышек ЗУД КРС, произошедших в 2020–2024 гг. (рис. 1).

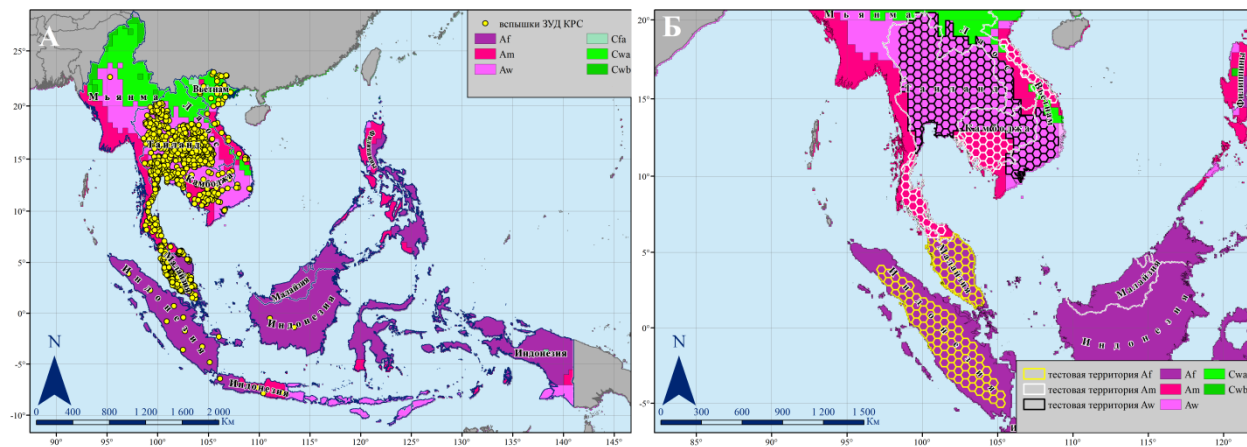


Рис. 1. Климатические зоны стран Юго-Восточной Азии и вспышки ЗУД КРС, зарегистрированные в 2020–2024 гг. (А); тестовые территории, разделенные на ячейки ($\approx 25 \text{ км}^2$ на экваторе) и использованные для оценки влияния факторов окружающей среды на риск распространения ЗУД КРС в различных климатических зонах (Б)
 Climate zones of Southeast Asian countries and LSD outbreaks registered in 2020–2024 (A); test territories divided into cells ($\approx 25 \text{ км}^2$ at the equator) and used to assess the influence of environmental factors on the risk of LSD spread in different climate zones (B)

Затем средствами ArcGIS геопространственную информацию, соответствующую данным территориям, разделяли на ячейки площадью $0,5$ угловых градуса ($\approx 25 \text{ км}^2$ на экваторе) и переводили в форму таблицы, а затем обрабатывали в программной среде R 4.1.2 [18]. Обработка осуществлялась путем построения обобщенных линейных моделей по общепринятой методике для каждого табличного набора данных. Среднее ожидаемое количество вспышек в каждой ячейке было принято как зависимая переменная, а изучаемые факторы – как независимые переменные окружающей среды. Обнаружение мультиколлинеарности в полученных моделях осуществляли при помощи программного пакета для R mctest, рассчитывая коэффициент инфляции дисперсии (VIF) [19]. Факторы с $VIF \geq 10$ исключали из последующего моделирования. При этом землепокровные рассматривали как категориальный фактор, а все другие переменные – как количественные.

На основе отобранных таким образом факторов окружающей среды строили финальные модели вероятности обнаружения возбудителя

ЗУД КРС на изучаемых территориях при помощи MaxEnt 3.4.4 согласно рекомендациям разработчиков [20]. Полученные данные интерпретировали как индекс пространственного распределения возбудителя ЗУД КРС. Значение данного индекса, равное $0,5$, принимали как средний риск возникновения вспышки заболевания, значения выше и ниже $0,5$ – как повышенный и пониженный риск соответственно.

Для оценки качества построенных моделей использовали показатель площади под кривой ошибок (area under receiver operating characteristic curve, AUROC). Значения AUROC в диапазоне $0,5$ – 1 демонстрировали наличие у моделей способности определять территории повышенного риска. Для оценки значимости каждого из рассматриваемых факторов в предсказании вероятности присутствия возбудителя ЗУД КРС применяли аппарат эвристического анализа и статистический анализ методом складного ножа, включенные в MaxEnt. Эвристический анализ рассчитывал значимость каждой переменной окружающей среды для предсказания пространственного распределения вируса, затем

полученные данные дополнительно подвергались перестановочному тесту для уточнения оценки. Полученные данные представлены как результирующее падение AUROC, нормализованное в процентах. Результат анализа методом складного ножа представлен в виде графиков, отображающих прирост значений AUROC моделей при исключении из них конкретного рассматриваемого фактора или всех факторов, кроме него. Оценка значимости фактора проводится в этом случае в сравнении с приростом значений AUROC полной модели со всеми факторами. Характер изменения индекса пространственного распределения возбудителя в количественном выражении при изменении конкретной переменной окружающей среды представлен в виде кривых отклика, при этом подразумевается, что значения остальных переменных остаются на уровне их среднего выборочного значения.

Поскольку на риск возникновения вспышек ЗУД КРС оказывает влияние деятельность человека, их расположение не выдерживает проверки на пространственную автокорреляцию [21]. В связи с этим мы отказались от оценки глобального индекса Морана I как неподходящего при выбранном методе учета данных.

Результаты и их обсуждение. К Юго-Восточной Азии относят полуостров Индокитай и большую часть Малайского архипелага (рис. 1, А). Согласно классификации климатов Кеппена-Гейгера на данной территории выделяют несколько климатических зон. Зона Af (тропический влажный (экваториальный) климат) занимает центральную часть региона, Am (тропический муссонный) – северо-западную часть Филиппин, центральную часть Вьетнама и западное побережье Мьянмы, Aw (тропический климат саванн с сухой зимой и дождливым летом) – юг Малайского архипелага, центральную часть Мьянмы, Таиланда, Лаоса, Камбоджи и южную часть Вьетнама. На севере региона климат переходит в умеренный с сухой зимой и жарким (Cwa) или теплым (Cwb) летом.

За период 2020–2024 гг. на территории стран ЮВА было зарегистрировано 1342 вспышки ЗУД КРС (рис. 2). Из них 1315, или 98 % от общего числа, находились на территории очерченных нами тестовых территорий (рис. 1, Б), что позволило оценивать влияние факторов окружающей среды на риск распространения данного заболевания в указанных климатических зонах с высокой степенью достоверности. Из 1315 вспышек 300 было зарегистрировано в климатической зоне Af, 133 – в зоне Am и 882 – в зоне Aw.

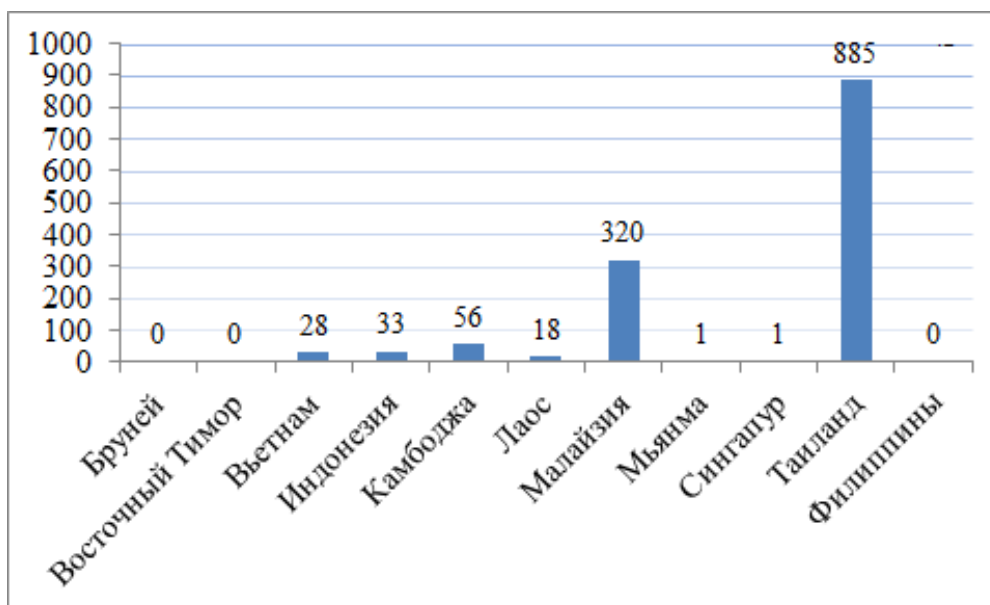


Рис. 2. Количество зарегистрированных вспышек ЗУД КРС в странах Юго-Восточной Азии (2020–2024 гг.)

Number of LSD outbreaks registered in Southeast Asian countries (2020–2024)

Площадь данных тестовых территорий составила: Af – 3475 км², Am – 2125 км², Aw – 6250 км². Проведенная предварительная проверка на наличие взаимной корреляции между факторами окружающей среды, потенциально способными оказывать влияние на распространение возбудителя, для каждой тестовой территории отдельно и на всех территориях взятых вместе, позволила определить статистически значимые ($p < 0,05$) и не коррелирующие между собой факторы (VIF < 10). В каждой из моделей для конкретной климатической зоны наиболее зна-

чимыми оказалось по четыре фактора окружающей среды, в объединенной модели – пять факторов. При этом такие переменные, как плотность поголовья восприимчивого скота и плотность сети автодорог, прошли проверки на значимость и отсутствие мультиколлинеарности во всех построенных моделях. Переменные среднегодовая скорость ветра, средний уровень осадков за самый теплый (bio 18) и самый холодный (bio 19) квартал года оказались значимы только в одной из моделей (табл. 2).

Таблица 2

Факторы окружающей среды ($p < 0,05$, VIF < 10), использованные для прогнозирования пространственного распределения возбудителя ЗУД КРС методом максимальной энтропии, и результаты эвристического анализа их значимости (результатирующее снижение AUROC, нормализованное в %)

Environmental factors ($p < 0.05$, VIF < 10) were used to predict the spatial distribution of the bovine LSD pathogen using the maximum entropy method and the results of a heuristic analysis of their significance (the resulting drop in AUROC, normalized in %)

Фактор	Наименование фактора в моделях	Модель			
		Af	Am	Aw	Объединенная
Плотность поголовья восприимчивого скота	Cattle_density	14,6	16,2	6,3	12,8
Плотность сети автодорог	Roads_density	31	44,1	66	68,4
Землепокpытие	Land_cover	38,4	31,6		
Среднее расстояние от водоемов	Waterbodies_distance		8,1		4,1
Среднее месячное количество осадков	pre	16		24,9	
Средний уровень осадков в самом холодном квартале года	bio_19			2,8	
Средний уровень осадков в самом теплом квартале года	bio_18				10,6
Среднегодовая скорость ветра	Wind_speed				4,1

Показатели отобранных климатических факторов колебались в довольно широких пределах значений (табл. 3). Из рассмотренных типов землепокpытия на тестовых территориях доминировали леса и лесные насаждения, а также распаханная земля. При этом большую часть территории в зоне Af занимали леса, в зонах Am и Aw – пашни. Среднее расстояние от водоемов было крайне невелико и не отличалось большими колебаниями.

Построенные с использованием данных факторов методом максимальной энтропии модели продемонстрировали хорошую предсказательную способность, согласно значениям AUROC: Af-модель – $0,869 \pm 0,03$, Am-модель – $0,722 \pm 0,08$, Aw-модель – $0,725 \pm 0,018$, объединенная модель – $0,711 \pm 0,03$. Проведенный анализ методом складного ножа уточняет результаты эвристического анализа (рис. 3).

Диапазон колебаний факторов окружающей среды, использованных при построении моделей максимальной энтропии, на тестовых территориях
Range of environmental factor variations used in constructing maximum entropy models in test territories

Фактор	Тестовая территория			
	Af	Am	Aw	Объединенная
Плотность поголовья, голов/10 км ²	0–807,5	0–2197,3	0–3339,9	0–3339,9
Плотность сети автодорог, м/км ²	0–11097	0–9913	0–21881	0–21881
Землепокpытие, доминирующие типы	Леса и лесные насаждения, распаханная земля	распаханные земли, леса и лесные насаждения	распаханные земли, леса и лесные насаждения	леса и лесные насаждения, распаханная земля
Среднее расстояние от водоемов, м		0–0,2		0–0,2
Среднее месячное количество осадков, мм	171,9–367,43		89,8–227,8	
Средний уровень осадков в самом холодном квартале года, мм			8–277	
Средний уровень осадков в самом теплом квартале года, мм				150–2088
Среднегодовая скорость ветра, м/с				0,78–3,33

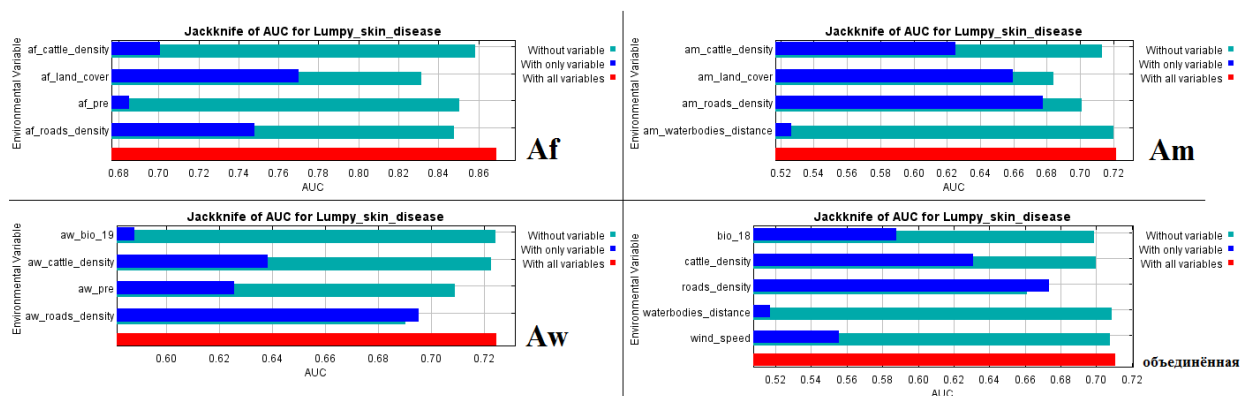


Рис. 3. Результаты анализа методом складного ножа значимости факторов окружающей среды для прогнозирования пространственного распределения возбудителя ЗУД КРС в моделях максимальной энтропии

Results of a jackknife analysis of the significance of environmental factors for predicting the spatial distribution of the LSD pathogen in maximum entropy models

Так, к числу наиболее значимых факторов в моделях относятся плотность сети автомобильных дорог, господствующий тип землепокpытия и плотность поголовья восприимчивых животных. При их исключении из модели снижение AUROC оказывается наибольшим. В то же время моделирование только с учетом пространственного распределения одного из этих факторов может с хорошей степенью предсказатель-

ной способности установить территории повышенного риска возникновения новых вспышек ЗУД КРС. Наименее значимыми факторами при прогнозировании оказались среднее расстояние от водоемов и средний уровень осадков в самом холодном квартале года. В объединенной модели большинство рассмотренных факторов имеет примерно одинаковую значимость, за исключением плотности сети автодорог.

Кривые отклика переменных окружающей среды представлены на рисунке 4. Слева от разделителя показаны графики четырех переменных, присутствующих во всех моделях –

плотности автодорожной сети и плотности поголовья восприимчивых животных. Справа находятся кривые отклика остальных переменных.

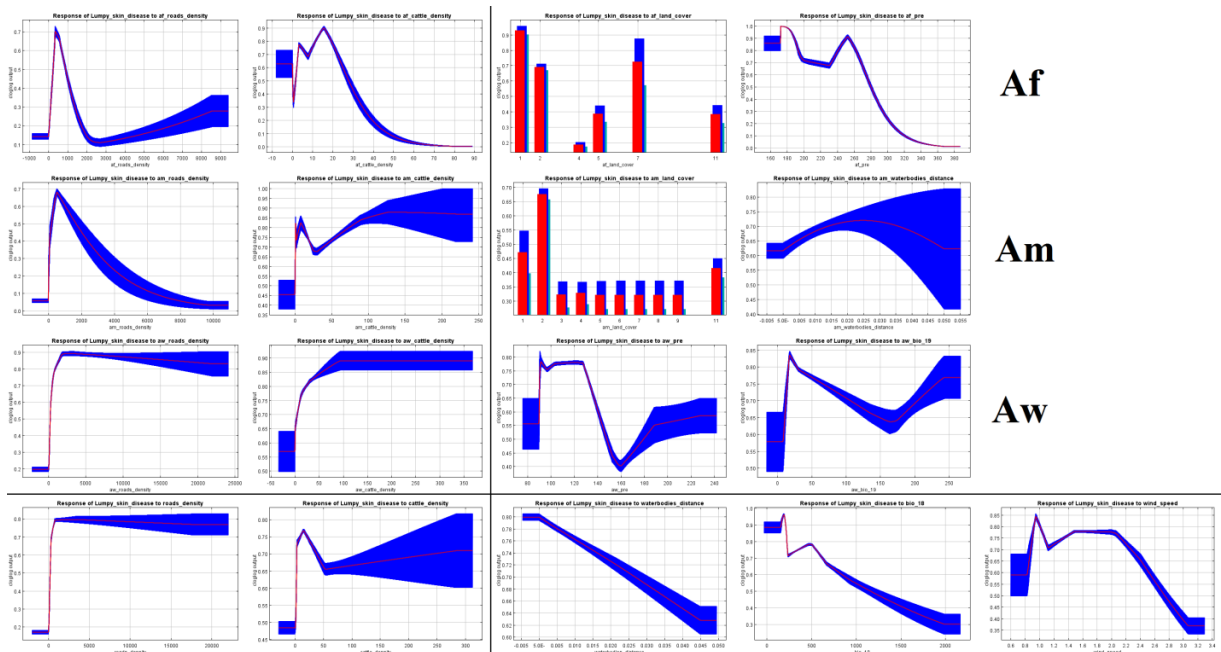


Рис. 4. Кривые отклика переменных окружающей среды, полученные при моделировании риска распространения ЗУД КРС на тестовых территориях в климатических зонах Af, Am, Aw и при анализе риска с помощью объединенной модели
 Response curves of environmental variables obtained during the risk of LSD spread in test territories of Af, Am, and Aw climate zones and risk analysis using the combined model

В климатической зоне Af повышенный риск возникновения вспышек ЗУД КРС приходился на территории населенных пунктов, пахотных земель и мангровых зарослей, с плотностью сети автодорог в диапазоне $\approx 200\text{--}800$ м/км², плотностью поголовья восприимчивого скота – $\approx 20\text{--}280$ голов/10 км², а среднее месячное количество осадков не превышало 280 мм. В зоне Am повышенный риск был ассоциирован с пахотными землями и плотностью дорожной сети $\approx 200\text{--}1800$ м/км². Остальные показатели создавали фон, оказывающий благоприятное влияние на повышение риска, независимо от своих значений. В зоне Aw фактором, лимитирующим возрастание риска, стало среднее месячное количество осадков. Снижение риска происходило при повышении этого показателя свыше 160 мм. Согласно данным обобщенной модели, риск возникновения вспышек ЗУД КРС снижался при повышении среднего уровня

осадков в наиболее теплом квартале года свыше ≈ 1200 мм и увеличении среднегодовой скорости ветра свыше 2,7 м/с.

Визуализация территориального распределения риска возникновения вспышек на тестовых территориях представлена на рисунке 5. Зона наибольшего риска, согласно обобщенной модели, находится в центральных районах Таиланда. Вторая обширная зона с повышенным риском – в его восточных и северо-восточных провинциях. Зоны повышенного риска также отмечены на юге Таиланда, юге Камбоджи, побережьях Западной Малайзии на полуострове Малакка, центральной части индонезийского острова Суматра, а также на территориях Вьетнама, проанализированных в данной модели.

Модели, построенные для отдельных климатических зон, в целом подтверждают прогноз обобщенной модели.

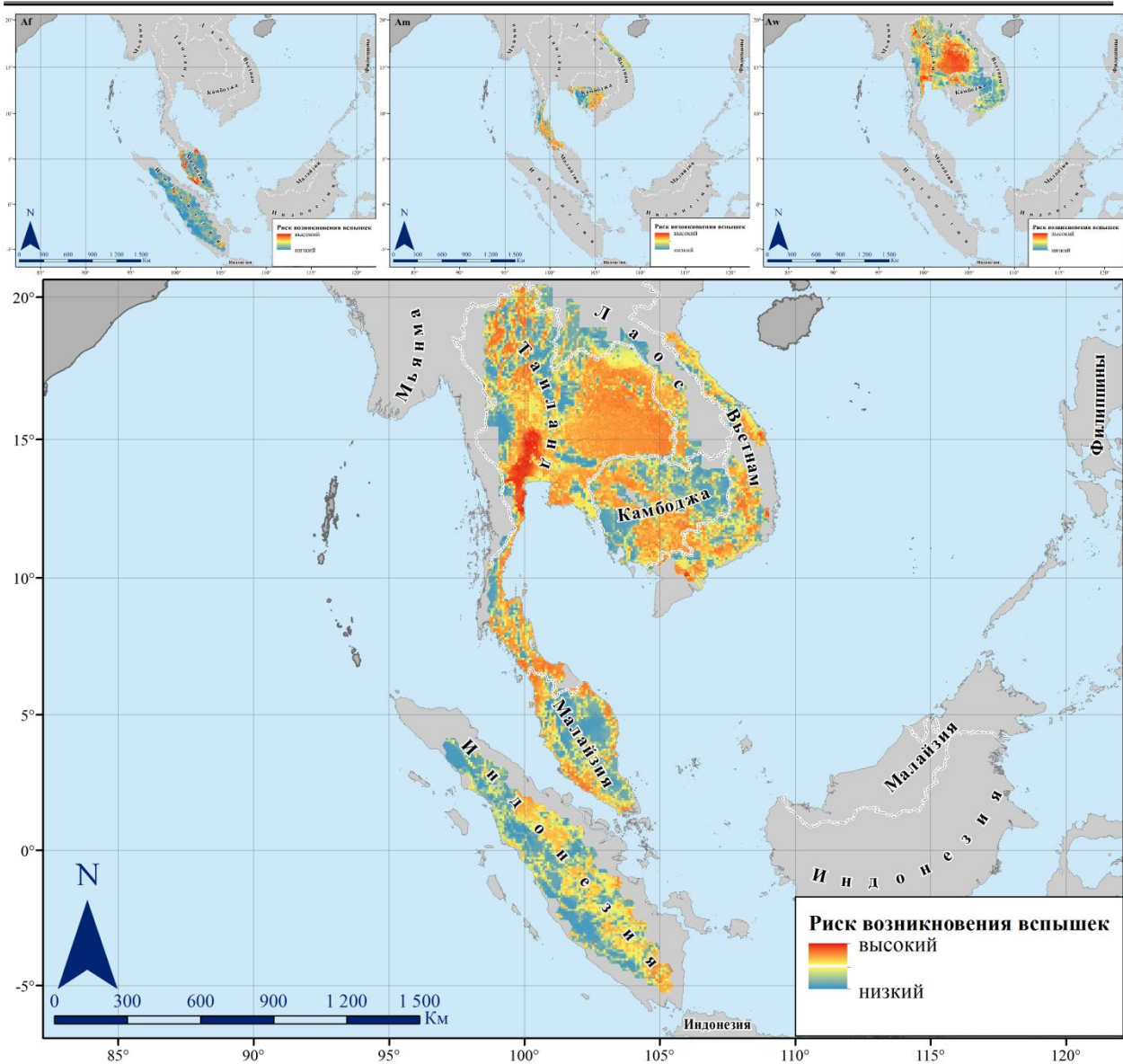


Рис. 5. Геопространственное распределение риска возникновения вспышек ЗУД КРС, согласно обобщенной модели (на врезках – геопространственное распределение риска согласно моделям для климатических зон Af, Am, Aw)

Geospatial distribution of the risk of LSD outbreaks according to the generalized model (insets show the geospatial distribution of risk according to models for climatic zones Af, Am, and Aw)

Распространение ЗУД КРС обусловлено как транспортировкой зараженных восприимчивых животных и вирусоносителей, так и механической трансмиссией возбудителя членистоногими переносчиками (отр. *Arthropoda*). Для артропод крайне благоприятен теплый и влажный климат, что оказывает влияние на пространственный характер распространения возбудителя в странах региона [1, 22, 23].

Все рассмотренные в данной работе тропические климатические зоны отличаются высокими среднемесячными температурами на протяжении всего года (более 18 °С) и большим

количеством осадков. Для влажного экваториального климата (Af) характерны среднее ежемесячное количество осадков более 60 мм, слабые ветра, среднегодовая температура около 28 °С и ее малые колебания, плохая выраженность времен года. В областях с тропическим муссонным климатом (Am) и тропическим климатом саванн с сухой зимой (Aw) отмечается наличие четко выраженного сухого сезона, когда среднее количество осадков в самый сухой месяц падает ниже 60 мм, что обусловлено наличием устойчивого сезонного направления ветров. При этом климат саванн Aw отличается большей

сухостью по сравнению с Am, что приводит к формированию характерных ландшафтов.

Проведенный анализ риска распространения возбудителя ЗУД КРС на тестовых территориях в Юго-Восточной Азии показывает, что в целом он связан, в первую очередь, с антропогенными факторами окружающей среды. Так, во всех построенных моделях важными факторами риска являются плотность сети автомобильных дорог и плотность поголовья восприимчивого скота. В зонах Af и Am наличие верхнего предела плотности автодорожной сети (800 и 1800 м/км² соответственно), за которым вероятность обнаружения вируса снова снижается, может быть обусловлено концентрацией восприимчивых животных за пределами крупных населенных пунктов с развитой транспортной инфраструктурой. Также в данных зонах, помимо указанных факторов, значимую роль в пространственном распределении риска играют антропогенные типы землепользования, а именно населенные пункты и пашни. Из числа природных факторов, имеющих наибольшее значение, стоит также отметить наличие мангровых зарослей, являющихся местом массового выплода членистоногих (в зоне Af), а также среднее количество осадков в месяц (в зоне Aw). Прочие факторы окружающей среды, хотя и являются статистически значимыми в построенных моделях, ока-

зывают незначительное влияние на количественные вариации степени риска, очерчивая лишь зону, где вероятность возникновения вспышек заболевания выше случайной.

Заключение. Таким образом, наиболее благоприятные условия для возбудителя ЗУД КРС на территориях с тропическим климатом в Юго-Восточной Азии ассоциированы с областями интенсивного сельского хозяйства, находящимися на не занятых тропическими лесами территориях. Зоны повышенного риска определяются плотностью автодорожной сети свыше 200 м/км² и распаханными землями как доминирующим типом землепользования, а также территориями, где количество осадков, выпадающих во время самого теплого квартала года, не превышает 1200 мм, а среднегодовая скорость ветра – 2,7 м/с. В зонах с тропическим влажным климатом (Af) и тропических саванн с сухой зимой (Aw) лимитирующим распространение возбудителя фактором является, кроме этого, среднее количество осадков в месяц (не более 280 мм в зоне Af и не более 160 мм в зоне Aw). Наиболее подвержены риску центральные, восточные, северо-восточные и южные районы Таиланда, южные районы Камбоджи, побережья полуострова Малакка (Малайзия), центральные и южные районы Вьетнама, а также центральные районы острова Суматра (Индонезия).

Список источников

1. Tuppurainen E., Alexandrov T., Beltrán-Alcrudo D. Lumpy skin disease field manual – A manual for veterinarians. FAO Animal Production and Health Manual № 20. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017. 60 p.
2. Hidayatik N., Khairullah A.F., Yuliani M.G.A., et al. Lumpy skin disease: A growing threat to the global livestock industry // *Open Veterinary Journal*. 2025. Vol. 15, N 2. P. 541–555.
3. Bonbon E., Funes G.M., Hammami S., et al. Terrestrial Animal Health Code. Vol. 2. Recommendations applicable to WOAH listed diseases. Paris: World Organization for Animal Health, 2024. P. 704–709.
4. Namazi F., Tafti A.K. Lumpy skin disease, an emerging transboundary viral disease: A review // *Veterinary Medicine and Science*. 2021. Vol. 7, N 3. P. 888–896.
5. Rathyotha K., Prakobwong S., Piratae S. Lumpy skin disease: A newly emerging disease in Southeast Asia // *Veterinary World*. 2022. Vol. 15, N 12. P. 2764–2771.
6. Abdulqa H.Y., Rahman H.S., Dyary H.O., et al. Lumpy skin disease // *Reprod. Immunol. Open Acces*. 2016. Vol. 1, N 4. P. 2476–1974.
7. Бирюченкова М.В., Тимина А.М., Зиняков Н.Г., и др. Результаты генодиагностики нодулярного дерматита в Дагестане и Чеченской республике – первое официальное подтверждение болезни на территории Российской Федерации // *Ветеринария сегодня*. 2015. № 4. С. 43–45.

8. Roche X., Rozstalnyy A., TagoPacheco D., et al. Introduction and spread of lumpy skin disease in South, East and Southeast Asia: Qualitative risk assessment and management. FAO animal production and health. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020. 65 p.
9. Tran H.T.T., Truong A.D., Dang A.K., et al. Lumpy skin disease outbreaks in Vietnam, 2020 // *Transbound Emerg Dis.* 2021. Vol. 00. P. 1–4.
10. Hidayatik N., Khairullah A.F., Yuliani M.G.A., et al. Lumpy skin disease: A growing threat to the global livestock industry // *Open Veterinary Journal.* 2025. Vol. 15, N 2. P. 541–555.
11. Harris I., Osborn T.J., Jones Ph., et al. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset // *Scientific Data.* 2020. Vol. 7, N 109. P. 1–18.
12. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology.* 2017. Vol. 37, N 12. P. 4302–4315.
13. Ouellet Dallaire C., Lehner B., Sayre R., et al. A multidisciplinary framework to derive global river reach classifications at high spatial resolution // *Environmental Research Letters.* 2019. Vol. 14, N 2. P. 1–12.
14. Gilbert M., Nicolas G., Cinardi G., et al. Global distribution data for cattle, buffaloes, horses, sheep, goats, pigs, chickens and ducks in 2010 // *Scientific Data.* 2018. Vol. 5. P. 1–11.
15. Meijer J.R., Huijbegts M.A.J., Schotten C.G.J., et al. Global patterns of current and future road infrastructure // *Environmental Research Letters.* 2018. Vol. 13, N 6. P. 1–10.
16. Latham J., Cumani R., Rosati I., et al. Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE) database Beta-Release Version 1.0. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2014. 38 p.
17. Kottek M., Grieser J., Beck C., et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // *Meteorologische Zeitschrift.* 2006. Vol. 15, N 3. P. 259–263.
18. Venables W.N., Smith D.M. An Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics // *The Comprehensive R Archive Network.* 2024. Доступно по: <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>. Ссылка активна на: 30.09.2025.
19. Ullah M.I., Aslam M., Altaf S. Mctest: An R Package for Detection of Collinearity among Regressors // *The R Journal.* 2016. Vol. 8, N 2. P. 495–505.
20. Merow C., Smith M.J., Silander J.J.A. A practical guide to MaxEnt for modelling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter // *Ecography.* 2013. Vol. 36, N 10. P. 1058–1069.
21. Guisan A., Thuiller W., Zimmermann N.E. Habitat suitability and distribution models with Applications in R. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 462 p.
22. Sprygin A., Pestova Ya., Wallace D.B., et al. Transmission of lumpy skin disease virus: A short review // *Virus Research.* 2019. Vol. 269. P. 1–10.
23. Maulana K.Y., Na-Lampang K., Arjokumpa O., et al. Geographical Distribution, Spatial Directional Trends, and Spatio-Temporal Clusters of the First Rapid and Widespread Lumpy Skin Disease Outbreaks in Thailand // *Transboundary and Emerging Diseases.* 2025. N 4900775. P. 1–13.

References

1. Tuppurainen E, Alexandrov T, Beltrán-Alcrudo D. Lumpy skin disease field manual – A manual for veterinarians. *FAO Animal Production and Health Manual № 20.* Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2017. 60 p.
2. Hidayatik N, Khairullah AF, Yuliani MGA, et al. Lumpy skin disease: A growing threat to the global livestock industry. *Open Veterinary Journal.* 2025;15(2):541-555. DOI: 10.5455/OVJ.2025.v15.i2.5.
3. Bonbon E, Funes GM, Hammami S, et al. *Terrestrial Animal Health Code.* Vol. 2. Recommendations applicable to WOA listed diseases. Paris. World Organization for Animal Health; 2024. P. 704–709.
4. Namazi F, Tafti AK. Lumpy skin disease, an emerging transboundary viral disease: A review. *Veterinary Medicine and Science.* 2021;7(3):888-896. DOI: 10.1002/vms3.434.
5. Rathyotha K, Prakobwong S, Piratae S. Lumpy skin disease: A newly emerging disease in Southeast Asia. *Veterinary World.* 2022;15(12):2764-2771. DOI: 10.14202/vetworld.2022.2764-2771.

6. Abdulqa HY, Rahman HS, Dyary HO, et al. Lumpy skin disease. *Reprod. Immunol. Open Acces.* 2016;1(4):2476-1974.
7. Biryuchenkova MV, Timina AM, Zinyakov NG, et al. Results of gene diagnosis of lumpy skin disease in the Dagestan and Chechen republics – the first official confirmation of the disease occurrence in the Russian Federation territory. *Veterinary today.* 2015;4:43-45. (In Russ).
8. Roche X, Rozstalnyy A, TagoPacheco D, et al. Introduction and spread of lumpy skin disease in South, East and Southeast Asia: Qualitative risk assessment and management. *FAO animal production and health.* . Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2020. 65 p.
9. Tran HTT, Truong AD, Dang AK, et al. Lumpy skin disease outbreaks in Vietnam, 2020. *Transbound Emerg Dis.* 2021;00:1-4. DOI: 10.1111/tbed.14022.
10. Hidayatik N, Khairullah AF, Yuliani MGA, et al. Lumpy skin disease: A growing threat to the global livestock industry. *Open Veterinary Journal.* 2025;15(2):541-555. DOI: 10.5455/OVJ.2025.v15.i2.5.
11. Harris I, Osborn TJ, Jones Ph, et al. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data.* 2020;7(109):1-18. DOI: 10.1038/s41597-020-0453-3.
12. Fick SE, Hijmans RJ. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology.* 2017;37(12):4302-4315. DOI: 10.1002/joc.5086.
13. Ouellet Dallaire C, Lehner B, Sayre R, et al. A multidisciplinary framework to derive global river reach classifications at high spatial resolution. *Environmental Research Letters.* 2019;14(2):1-12. DOI: 10.1088/1748-9326/aad8e9.
14. Gilbert M, Nicolas G, Cinardi G, et al. Global distribution data for cattle, buffaloes, horses, sheep, goats, pigs, chickens and ducks in 2010. *Scientific Data.* 2018;5:1-11. DOI: 10.1038/sdata.2018.227.
15. Meijer JR, Huijbegts MAJ, Schotten CGJ, et al. Global patterns of current and future road infrastructure. *Environ. Res. Lett.* 2018;13(6):1-10. DOI: 10.1088/1748-9326/aabd42.
16. Latham J, Cumani R, Rosati I, et al. *Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE) database Beta-Release Version 1.0.* Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2014. 38 p.
17. Kottek M, Grieser J, Beck C, et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift.* 2006;15(3):259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
18. Venables WN, Smith DM. *An Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics.* 2024. Available at: <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>. Accessed: 30.09.2025.
19. Ullah MI, Aslam M, Altaf S. Mctest: An R Package for Detection of Collinearity among Regressors. *The R Journal.* 2016;8(2):495-505.
20. Merow C, Smith MJ, Silander JJA. A practical guide to MaxEnt for modelling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography.* 2013;36(10):1058-1069. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x.
21. Guisan A, Thuiller W, Zimmermann NE. *Habitat suitability and distribution models with Applications in R.* Cambridge. Cambridge University Press. 2017. 462 p. DOI: 10.1017/9781139028271.
22. Sprygin A, Pestova Ya, Wallace DB, et al. Transmission of lumpy skin disease virus: A short review. *Virus Research.* 2019;269:1-10. DOI: 10.1016/j.virusres.2019.05.015.
23. Maulana KY, Na-Lampang K, Arjkumpa O, et al. Geographical Distribution, Spatial Directional Trends, and Spatio-Temporal Clusters of the First Rapid and Widespread Lumpy Skin Disease Outbreaks in Thailand. *Transboundary and Emerging Diseases.* 2025;4900775:1-13 p. DOI: 10.1155/tbed/4900775.

Статья принята к публикации 26.01.2026 / The article accepted for publication 26.01.2026

Информация об авторах:

Дмитрий Васильевич Подшибякин, начальник научно-исследовательского отдела биотехнологий, кандидат биологических наук

Лариса Павловна Падило, доцент кафедры болезней животных и ветеринарно-санитарной экспертизы, кандидат биологических наук

Валерий Александрович Агольцов, профессор кафедры болезней животных и ветеринарно-санитарной экспертизы, доктор ветеринарных наук

Людмила Викторовна Ступина, доцент кафедры болезней животных и ветеринарно-санитарной экспертизы, кандидат ветеринарных наук

Information about the authors:

Dmitry Vasilievich Podshibyakin, Head of Scientific Research department of Biotechnologies, Candidate of Biological Sciences

Larisa Pavlovna Padilo, Associate Professor of the Department of Animal Diseases and Veterinary and Sanitary Expertise, Candidate of Veterinary Sciences

Valery Aleksandrovich Agoltsov, Professor of the Department of Animal Diseases and Veterinary and Sanitary Expertise, Doctor of Veterinary Sciences

Lyudmila Viktorovna Stupina, Associate Professor of the Department of Animal Diseases and Veterinary and Sanitary Expertise, Candidate of Veterinary Sciences

