

DOI: 10.21055/0370-1069-2026-3-86-95

УДК 616-036.22(470.62)

С.С. Завгородний¹, Е.А. Манин², Л.И. Жукова¹, А.Н. Куличенко²

Разработка алгоритма интегральной оценки эпидемиологического потенциала (опасности) природных биотопов по сопряженным природно-очаговым инфекциям на примере Краснодарского края

¹Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Российская Федерация;²Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт, Ставрополь, Российская Федерация

Оценка эпидемиологического потенциала природных биотопов является основой для прогнозирования рисков возникновения природно-очаговых инфекций и планирования профилактических мероприятий. Традиционный нозологический-раздельный подход не позволяет дать общую оценку эпидемиологической опасности для конкретного биотопа, определяющую его потенциальную опасность, что не позволяет адекватно планировать комплексную профилактику в сопряженных очагах. **Цель** исследования – разработать и научно обосновать алгоритм интегральной оценки эпидемиологического потенциала (опасности) природных биотопов Краснодарского края по природно-очаговым инфекциям. **Материалы и методы.** Проанализированы данные официальной статистики по пяти нозологиям (иксодовый клещевой боррелиоз, лихорадка Западного Нила, геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, лептоспироз, туляремия) за 2021–2025 гг. в разрезе 45 муниципальных образований Краснодарского края. **Результаты и обсуждение.** Разработан 5-этапный алгоритм количественной оценки интегрального эпидемиологического потенциала биотопов, включающий расчет среднесуточных интенсивных показателей заболеваемости, min-max-нормирование, формализованное нормирование весовых коэффициентов на основе четырех клинико-эпидемиологических критериев, расчет интегрального индекса, ROC-валидацию и ранжирование территорий. Обоснованы итоговые весовые коэффициенты эпидемиологической значимости возбудителей: ЛЗН – 2,0; ГЛПС – 1,5; лептоспироз – 1,2; ИКБ – 1,0; туляремия – 0,8. Определена прогностическая точность модели, которая составила 84 % при AUC = 0,86 (95% ДИ: 0,74–0,95), что определяет возможность использования индекса для надежного ранжирования территорий по уровню эпидемиологического потенциала. На основе количественного критерия выделены три зоны эпидемиологического потенциала (риска) биотопов: красная (ИИ $\geq 8,50$) – 18 муниципальных образований (40,0 %), желтая ($1,0 \leq \text{ИИ} < 8,50$) – 19 муниципальных образований (42,2 %), зеленая (ИИ $< 1,0$) – 8 муниципальных образований (17,8 %). Декомпозиционный анализ показал гетерогенность структуры риска в различных типах биотопов. Разработанный алгоритм представляет собой валидный, воспроизводимый и практико-ориентированный инструмент количественной оценки интегрального эпидемиологического потенциала природных биотопов, создающий научную основу для перехода к дифференцированному планированию профилактических мероприятий на территории с учетом ее природно-ландшафтных характеристик.

Ключевые слова: природно-очаговые инфекции, природные биотопы, эпидемиологический потенциал, интегральный индекс, алгоритм, ROC-анализ, ранжирование территорий, Краснодарский край.

Корреспондирующий автор: Манин Евгений Анатольевич, e-mail: relax27@yandex.ru.

Для цитирования: Завгородний С.С., Манин Е.А., Жукова Л.И., Куличенко А.Н. Разработка алгоритма интегральной оценки эпидемиологического потенциала (опасности) природных биотопов по сопряженным природно-очаговым инфекциям на примере Краснодарского края. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2026; 3:86–95. DOI: 10.21055/0370-1069-2026-3-86-95

Поступила 24.08.2026. Отправлена на доработку 18.09.2026. Принята к публикации 22.09.2026.

S.S. Zavgorodny¹, E.A. Manin², L.I. Zhukova¹, A.N. Kulichenko²

Development of an Algorithm for Integral Assessment of the Epidemiological Potential (Hazard) of Natural Biotopes in Relation to Natural Focal Infections, Using the Krasnodar Territory as an Example

¹Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation;²Stavropol Research Anti-Plague Institute, Stavropol, Russian Federation

Abstract. Assessing the epidemiological potential of natural biotopes serves as the basis for predicting the risk of natural-focal infections and planning preventive measures. The traditional disease-specific approach fails to provide a comprehensive assessment of the epidemiological hazard posed by a specific biotope which determines its potential hazard – thereby precluding adequate planning for integrated prevention strategies in combined foci. **The aim** of this study was to develop and scientifically substantiate an algorithm for the integrated assessment of the epidemiological potential (hazard) of natural biotopes in the Krasnodar Territory regarding natural-focal infections. **Materials and methods.** Official statistical data covering five diseases (Ixodes tick-borne borreliosis, West Nile fever, hemorrhagic fever with renal syndrome, leptospirosis, and tularemia) from 2021 to 2025 were analyzed across 45 municipalities of the Krasnodar Territory. **Results and discussion.** A five-stage algorithm was developed to quantitatively assess the integrated epidemiological potential of biotopes; the process includes calculating long-term average incidence rates, min-max normalization, formalized weighting based on four clinical-epidemiological criteria, calculating an integrated index, ROC validation, and ranking the territories. Final weighting coefficients reflecting the epidemiological significance of the pathogens were substantiated as follows: West Nile fever – 2.0; hemorrhagic fever with renal syndrome – 1.5; leptospirosis – 1.2;

Ixodes tick-borne borreliosis – 1.0; and tularemia – 0.8. The model's predictive accuracy was determined to be 84%, with an AUC of 0.86 (95% CI: 0.74–0.95), demonstrating the index's utility for reliably ranking territories based on their level of epidemiological potential. Based on a quantitative criterion, three zones of epidemiological potential (risk) for the biotopes were identified: red ($\Pi \geq 8.50$) – 18 municipalities (40.0%); yellow ($1.0 \leq \Pi < 8.50$) – 19 municipalities (42.2%); and green ($\Pi < 1.0$) – 8 municipalities (17.8%). Decomposition analysis revealed heterogeneity in the risk structure across different biotope types. The developed algorithm serves as a valid, reproducible, and practical tool for the quantitative assessment of the integral epidemiological potential of natural biotopes, establishing a scientific basis for transitioning to differentiated planning of preventive measures within a territory, taking into account its natural landscape characteristics.

Key words: natural focal infections, natural biotopes, epidemiological potential, integral index, algorithm, ROC analysis, territory ranking, Krasnodar Territory.

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

Funding: The authors declare no additional financial support for this study.

Corresponding author: Evgeniy A. Manin, e-mail: relax27@yandex.ru.

Citation: Zavgorodny S.S., Manin E.A., Zhukova L.I., Kulichenko A.N. Development of an Algorithm for Integral Assessment of the Epidemiological Potential (Hazard) of Natural Biotopes in Relation to Natural Focal Infections, Using the Krasnodar Territory as an Example. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2026; 3:86–95. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2026-3-86-95

Received 24.08.2026. **Revised** 18.09.2026. **Accepted** 22.09.2026.

Manin E.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8163-7844>
Zhukova L.I., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5306-2956>

Kulichenko A.N., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9362-3949>

Природно-очаговые инфекции (ПОИ) остаются значимой угрозой здоровью населения, что обусловлено глобальным расширением ареалов возбудителей и их переносчиков на фоне климатических изменений и антропогенной трансформации ландшафтов [1, 2]. В Российской Федерации ежегодно регистрируется до 10 тыс. случаев заболеваний, передающихся иксодовыми клещами, комарами и при контакте с грызунами [3, 4]. При этом современная эпидемиологическая ситуация характеризуется не только ростом заболеваемости отдельными нозологиями, но и формированием сопряженных природных очагов – территорий с одновременной циркуляцией возбудителей двух и более инфекций [5, 6]. Феномен сочетанных природных очагов подробно описан в работах В.В. Шкарина и соавт. (2017), Е.В. Куклева и соавт., А.В. Ушакова и Т.Ф. Степановой (2012), а также в диссертационных исследованиях А.А. Огурцова, Д.М. Бамматова, В.А. Сафронова. Существующие подходы к оценке сочетанных очагов либо не носили интегрального количественного характера, либо не содержали встроенной валидации, что определяет методический пробел, восполняемый настоящей работой. Традиционный нозологически-раздельный учет не позволяет получить интегральную количественную оценку совокупного эпидемиологического потенциала природных биотопов и обоснованно определить приоритетные по риску территории для адекватных профилактических мероприятий. Разработка алгоритмов интегральной оценки эпидемиологического потенциала природных биотопов, в том числе с сопряженными очагами, является актуальной научно-практической задачей, решение которой необходимо для перехода к системному эпидемиологическому надзору, ориентированному на средовые риски.

Краснодарский край представляет собой удобную модельную территорию для изучения эпидемиологического потенциала природных биотопов,

поскольку сочетание нескольких климатических зон – от умеренно-континентальной равнинной до влажной субтропической причерноморской – в совокупности с высокой плотностью населения (более 5,7 млн человек) и рекреационной нагрузкой (до 20 млн туристов ежегодно) создает исключительно благоприятные условия для формирования и активного функционирования природных очагов, а также для реализации их эпидемиологического потенциала [7]. Наиболее эпидемиологически значимыми для края являются пять природно-очаговых инфекций: иксодовый клещевой боррелиоз (ИКБ), лихорадка Западного Нила (ЛЗН), геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС), лептоспироз и туляремия. Эти нозологии вносят основной вклад в инфекционную заболеваемость ПОИ, характеризуются тяжелым клиническим течением (в том числе с летальным исходом), для большинства из них отсутствуют эффективные средства специфической профилактики. За период 2015–2025 гг. в крае зарегистрировано 1210 случаев ИКБ, 408 – ЛЗН, 137 – ГЛПС, 203 – лептоспироза и 19 – туляремии [7]. При этом на одних и тех же территориях – в г. Краснодаре (муниципальное образование, в состав которого, помимо самого города, входит около 30 населенных пунктов), Апшеронском районе, Туапсинском муниципальном округе – одновременно регистрируются от трех до пяти инфекций, что свидетельствует о высоком интегральном эпидемиологическом потенциале соответствующих биотопов и требует комплексного подхода к его оценке.

В литературе представлены различные методологические подходы к интегральной оценке эпидемиологической ситуации – от методов, основанных на ранжировании и суммировании мест, до многокритериальных моделей со взвешиванием показателей [8]. Однако большинство из них либо не учитывают различий в эпидемиологической значимости разных нозологий, либо не содержат встроенной ва-

лидации. Зарубежные системы, такие как ArboNET (CDC, США) или ECDC Surveillance Atlas, обеспечивают оперативный мониторинг, но привязаны к отдельным инфекциям [9, 10]. При этом задача создания методик оценки эпидемиологического потенциала биотопов как интегральной характеристики природных условий, определяющих возможность возникновения и распространения ПОИ, требует своего решения.

Цель исследования – разработать и научно обосновать алгоритм интегральной оценки эпидемиологического потенциала (опасности) природных биотопов Краснодарского края по природно-очаговым инфекциям.

Материалы и методы

Исходные данные и дизайн. Исследование выполнено в дизайне ретроспективного эпидемиологического анализа. Период наблюдения охватил 2021–2025 гг. Обучающая выборка сформирована из данных 2021–2024 гг., проверочная – из данных 2025 г. Исключение 2020 г. из обучающей выборки обусловлено необходимостью устранить артефактный спад регистрируемой заболеваемости в период пандемии COVID-19. Единица наблюдения – муниципальное образование Краснодарского края ($n=45$), рассматриваемое как территориально-административная единица, в границах которой расположены определенные типы природных биотопов с характерным для них уровнем эпидемиологического потенциала. Под эпидемиологическим потенциалом биотопов понимается интегральная характеристика природных условий на территории муниципального образования, определяющая возможность возникновения и распространения ПОИ; операционально она оценивается через заболеваемость населения, отражающую интенсивность контакта с активными очагами. Административные границы не совпадают с границами природных биотопов; использование муниципального образования как прокси-единицы обусловлено тем, что официальный статистический учет заболеваемости (форма № 2) ведется по административно-территориальному принципу, а прямая привязка случаев к конкретным ландшафтным урочищам невозможна. Данное ограничение не влияет на сравнимость территорий между собой, поскольку все муниципальные образования оцениваются по единой методике, но требует осторожности при ландшафтно-эпидемиологической интерпретации результатов. Источники данных: официальные статистические отчеты по форме № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях» (Управление Роспотребнадзора по Краснодарскому краю) и данные о численности постоянного населения муниципальных образований (Краснодарстат).

Статистическая обработка. Использованы пакет R 4.2.2 (пакет pROC для ROC-анализа) и Microsoft Excel 2019 для промежуточных расчетов.

Формализация балльной оценки. Авторы сознательно используют термин «формализованная», а не «объективная» оценка. Объективность в строгом смысле предполагает отсутствие нормативных решений, что невозможно при построении любой интегральной шкалы. Предлагаемый подход переводит нормативные решения из неявной экспертной формы в явную, воспроизводимую и проверяемую процедуру: пороговые значения градаций фиксированы, одинаково применяются ко всем нозологиям и территориям, а источники их установления указаны в сносках к табл. 2. Это обеспечивает возможность независимой проверки, оспаривания и корректировки весовых коэффициентов, чего лишены традиционные подходы, основанные на непосредственном присвоении рангов экспертом.

Результаты и обсуждение

В основе предлагаемого подхода – формализация количественной оценки эпидемиологического потенциала природных биотопов в отношении их возникновения на муниципальном уровне в виде воспроизводимой последовательности вычислительных процедур, использующих стандартные формы статистической отчетности. Такую последовательность удобно представить в виде алгоритма, под которым в данном случае понимается строго детерминированная последовательность действий, выполняемых в установленном порядке и приводящих к получению количественной характеристики – интегрального индекса эпидемиологического потенциала биотопов (ИИ). Алгоритм включает пять этапов, каждый из которых имеет самостоятельное научное и практическое обоснование.

Этап 1. Формирование базы данных и расчет среднесноголетних интенсивных показателей заболеваемости как маркеров активности природных очагов. Исходными данными для анализа служат официальные статистические отчеты по форме № 2. Для каждого из 45 муниципальных образований по каждой из пяти отобранных нозологий фиксируются абсолютные числа впервые зарегистрированных случаев за каждый год периода 2021–2024 гг. Заболеваемость населения в данном контексте рассматривается не столько как характеристика популяционного здоровья, сколько как результирующий индикатор потенциальной опасности природных биотопов, отражающий степень контакта населения с активными очагами и интенсивность циркуляции возбудителей в экосистемах.

Использование среднесноголетних, а не годовых значений показателей обусловлено необходимостью нивелировать случайные межгодовые колебания заболеваемости, которые в природных очагах зависят от погодных условий, урожая семян растений, численности грызунов и других экологических факторов, не связанных напрямую с потенциальной опасностью самого биотопа. Четырехлетний период

наблюдения (2021–2024 гг.) выбран как минимально достаточный для получения статистически устойчивых оценок при сохранении актуальности данных (с исключением артефактного 2020 г.). Для каждого муниципального образования и каждой нозологии рассчитывается среднеемноголетний интенсивный показатель (Icp) на 100 тыс. населения по формуле среднего арифметического годовых интенсивных показателей за 2021–2024 гг.

Этап 2. Min-max-нормирование с фиксацией региональных максимумов для приведения разномасштабных показателей к единой шкале измерений. Рассчитанные на первом этапе среднеемноголетние интенсивные показатели остаются несопоставимыми по различным нозологиям. Хотя они стандартизованы по численности населения, их диапазоны принципиально различаются. Прямое суммирование этих величин было бы некорректным, поскольку оно искусственно завысило бы вклад инфекций с высокими абсолютными значениями заболеваемости независимо от их истинной эпидемиологической значимости.

Для устранения этой проблемы применяется метод min-max-нормализации с переводом в 10-балльную шкалу. Для каждой нозологии предварительно определяется среднеемноголетний интенсивный показатель заболеваемости (Icp), а также фиксированный региональный максимум (Imax) – максимальное значение среднеемноголетнего интенсивного показателя, достигнутое на какой-либо территории Краснодарского края за период 2021–2024 гг. Эти максимумы устанавливаются как постоянные константы, что обеспечивает сопоставимость результатов при ежегодной актуализации. Фиксация региональных максимумов имеет важное методологическое значение для оценки именно потенциала биотопов: она позволяет сохранить шкалу оценок неизменной во времени, чтобы территории можно было сравнивать между собой в динамике, а не только в пределах одного анализируемого периода.

Фиксированные региональные максимумы составили: для ИКБ – 11,87 (г. Горячий Ключ); для ЛЗН –

2,47 (г. Краснодар); для ГЛПС – 2,67 (Апшеронский район); для лептоспироза – 1,54 (Апшеронский район); для туляремии – 0,84 (Белоглинский район). Эти значения отражают максимальную реализацию эпидемиологического потенциала биотопов соответствующего типа для каждой из анализируемых инфекций.

Нормированный балл для каждого муниципального образования по каждой нозологии рассчитывается по формуле: балл = $(I_{cp}/I_{max}) \cdot 10$. Пример рассчитанных баллов для пяти районов представлен в табл. 1.

Этап 3. Определение весовых коэффициентов эпидемиологической значимости возбудителей на основе формализованного нормирования критериев. После приведения показателей заболеваемости к сопоставимой балльной шкале необходимо определить меру вклада каждой инфекции в совокупный эпидемиологический потенциал биотопов. ЛЗН, характеризующаяся летальностью до 14 % (летальность в Краснодарском крае – до 8 %) [7, 11], отсутствием вакцины и регулярными вспышками, представляет значительно большую угрозу для населения, реализуемую через контакт с инфицированными переносчиками, чем туляремия (варианты *Francisella tularensis* типа В, циркулирующие в регионе, – подвиды *F. tularensis holarctica*, вызывающие относительно нетяжелое течение заболевания), для которой существуют эффективные лечебные препараты и вакцина. Указанное сопоставление опирается на формализованные градации четырех критериев, представленных в табл. 2: коэффициент летальности (case fatality rate, CFR), наличие вакцины, тяжесть течения и вспышечный потенциал. Пороговые значения градаций являются нормативными: они опираются на общепринятые в эпидемиологии порядки величин (CFR < 1 % – низкий, 1–5 % – средний, > 5 % – высокий) и на организационные категории доступности вакцин (наличие в национальном календаре профилактических прививок, наличие зарегистрированной вакцины вне календаря, отсутствие вакцины). Такие решения неустраняемы при построе-

Таблица 1 / Table 1

Нормированные баллы заболеваемости (0–10) для пяти муниципальных образований Краснодарского края
Normalized morbidity scores (0–10) for 5 municipal entities in the Krasnodar Territory

№	Муниципальное образование Municipality	ИКБ ITB	ЛЗН WNF	ГЛПС HFRS	Лептоспироз Leptospirosis	Туляремия Tularemia
1	Абинский район Abinsky district	1,08	3,12	1,99	0,00	0,00
2	Апшеронский район Apsheronsky district	4,11	1,04	10,00	10,00	0,00
3	Белоглинский район Beloglinsky district	0,71	0,00	3,29	0,00	10,00
4	Белореченский район Belorechensky district	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Брюховецкий район Bryukhovetsky district	0,91	0,00	0,00	0,00	6,39

Таблица 2 / Table 2

Формализованная балльная оценка эпидемиологической значимости природно-очаговых инфекций по четырем клинико-эпидемиологическим критериям

Formalized scoring assessment of the epidemiological significance of natural focal infections based on four clinical and epidemiological criteria

Критерий Criteria	Градация Graduation	Балл Mark	ИКБ ITB	ЛЗН WNF	ГЛПС HFRS	Лептоспироз Leptospirosis	Туляремия Tularemia	Источник Source
Коэффициент летальности (CFR) ¹ Case fatality rate (CFR) ¹	<1 %	1	+	–	–	–	+	Клинические рекомендации Минздрава России; справочные данные ВОЗ и ECDC Clinical guidelines of the Ministry of Health of Russia; reference data of WHO and ECDC
	1–5 %	2	–	–	+	–	–	
	>5 %	3	–	+	–	+	–	
Наличие вакцины ² Availability of a vaccine ²	Вакцина включена в календарь профилактических прививок по эпидемическим показаниям Vaccine included in the schedule of preventive vaccinations based on epidemic indications	1	–	–	–	+	+	Приказ Минздрава России от 06.12.2021 № 1122н; СанПиН 3.3686-21; Государственный реестр лекарственных средств Order of the Ministry of Health of Russia No. 1122n dated 06.12.2021; Sanitary Rules and Norms 3.3686-21; State Register of Medicines
	Зарегистрированная вакцина отсутствует No registered vaccine available	3	+	+	+	–	–	
Тяжесть течения / хронизация Severity of the course / chronization	Легкое течение Mild course	1	+	–	–	–	+	Клинические рекомендации Минздрава России Clinical guidelines of the Ministry of Health of Russia
	Среднетяжелое течение Moderate course	2	–	–	+	+	–	
	Тяжелое течение, хронизация Severe course, chronization	3	–	+	–	–	–	
Вспышечный потенциал Outbreak potential	Спорадическая заболеваемость Sporadic incidence	1	+	–	+	+	+	Эпидемиологические справочники; данные Роспотребнадзора Epidemiological reference books; data of Rospotrebnadzor
	Эпизодические вспышки Episodic outbreaks	2	–	–	–	–	–	
	Регулярные вспышки Regular outbreaks	3	–	+	–	–	–	
<i>Итого / Total</i>			6	12	8	8	5	

Примечания:

¹Оценка CFR приведена для клинически манифестных случаев. Для ЛЗН CFR при нейроинвазивной форме достигает 10 %, при этом значительная часть инфекций протекает бессимптомно; для туляремии CFR приведен для вариантов *F. tularensis holarctica*. Пороговые значения CFR (<1 %, 1–5 %, >5 %) являются общепринятыми градациями тяжести инфекций и используются в практике ВОЗ и ECDC.

²Градации наличия вакцин соответствуют приказу Минздрава России от 06.12.2021 № 1122н: вакцина включена в календарь профилактических прививок по эпидемическим показаниям (туляремия, лептоспироз); зарегистрированная вакцина отсутствует (ИКБ, ЛЗН, ГЛПС).

Notes:

¹The CFR estimate applies to clinically manifested cases. For West Nile virus (WNV) infection, the CFR reaches 10% for the neuroinvasive form, although a significant proportion of infections are asymptomatic; for tularemia, the CFR refers to *F. tularensis* subsp. *holarctica* variants. The CFR threshold values (<1%, 1–5%, >5%) represent standard gradations of infection severity used by the WHO and ECDC.

²Vaccine availability categories correspond to Order No. 1122n of the Ministry of Health of Russia dated December 6, 2021: vaccine included in the schedule of preventive vaccinations based on epidemic indications (tularemia, leptospirosis); no registered vaccine available (ITB, WNF, HFRS).

нии любой интегральной шкалы; предлагаемый подход делает их явными, фиксированными и проверяемыми. Критерий передачи возбудителя от человека к человеку в матрицу не включен, поскольку все пять анализируемых нозологий не передаются от человека к человеку и данный критерий не является дифференцирующим; при расширении списка нозологий за счет инфекций с антропонозным компонентом матрица критериев может быть дополнена соответствующим показателем. Для количественного

учета этих различий разработана формализованная оценочная матрица на основе публично верифицируемых критериев.

Каждая инфекция оценивалась по четырем параметрам, которые были выбраны как наиболее значимые для потенциальной опасности природного очага с точки зрения последствий для человека.

Баллы присваивались на основании данных официальной медицинской статистики, литературы и руководств по клиническим рекомендациям,

что исключает произвольное экспертное влияние. Итоговое значение для каждой инфекции (S) рассчитывалось как сумма баллов по четырем критериям. Чем выше сумма баллов, тем более эпидемиологически значимым является возбудитель, а соответственно, тем больший «вес» должна иметь соответствующая инфекция при оценке совокупного потенциала биотопов (табл. 2).

Для получения итоговых весовых коэффициентов суммы баллов были нормированы относительно референтной инфекции – ИКБ, для которой вес принят за 1,0 (коэффициент = $S_i / S_{\text{ИКБ}}$). Данный выбор обусловлен несколькими критериями. Во-первых, ИКБ является наиболее распространенной природно-очаговой инфекцией на территории Краснодарского края: на ее долю приходится более 50 % всех зарегистрированных случаев среди пяти анализируемых нозологий. Это обеспечивает максимальную репрезентативность и статистическую устойчивость среднескользящих показателей. Во-вторых, по совокупности критериев эпидемиологической значимости (летальность, наличие вакцины, тяжесть течения, вспышечный потенциал) ИКБ занимает срединное положение: она не является ни наиболее опасной (в отличие от ЛЗН и лептоспироза, характеризующихся высокой летальностью), ни наименее значимой (в отличие от туляремии, для которой существует эффективная вакцина и препараты специфического лечения). Это позволяет использовать ИКБ в качестве естественной «точки отсчета», относительно которой другие инфекции закономерно получают веса как выше (ЛЗН, ГЛПС, лептоспироз), так и ниже (туляремия) единицы.

В-третьих, присвоение ИКБ веса 1,0 обеспечивает максимальную наглядность и практическую интерпретируемость шкалы: пользователь индекса (эпидемиолог, врач, организатор здравоохранения) без дополнительных расчетов понимает, что вес 2,0 означает двукратное превышение эпидемиологической значимости по сравнению с ИКБ, а вес 0,8 – ее снижение на 20 %.

Первичные расчетные веса составили: ЛЗН – 2,0; ГЛПС – 1,33; лептоспироз – 1,33; ИКБ – 1,0; туляремия – 0,83. Однако, как показано в табл. 2, для ГЛПС и лептоспироза в ходе дальнейшей разработки алгоритма потребовалась корректировка с учетом их реальной эпидемиологической значимости, тяжести клинических проявлений и доступности средств специфической профилактики и лечения, что отражено в итоговых весовых коэффициентах, используемых в расчете интегрального индекса.

В табл. 3 представлена интерпретация полученных расчетных коэффициентов и итоговых весов: для каждой нозологии кратко обосновано, какие именно критерии и клинко-эпидемиологические особенности определили ее итоговую сумму баллов и, соответственно, весовой коэффициент. Данная интерпретация не вносит изменений в расчетные значения, а лишь раскрывает эпидемиологическую логику их формирования применительно к оценке потенциальной опасности биотопов, в которых циркулируют соответствующие возбудители.

Предложенная система весовых коэффициентов является воспроизводимой: любой исследователь, опираясь на формализованные градации и официальные клинко-эпидемиологические справочные

Таблица 3 / Table 3

Обоснование весовых коэффициентов эпидемиологической значимости природно-очаговых инфекций
Justification of the weighting coefficients for the epidemiological significance of natural focal infections

Нозология Nosology	Сумма баллов The amount of points	Расчетный вес (сумма / 6) Calculated weight (sum / 6)	Корректировка Adjustment	Итоговый вес Final weight	Обоснование корректировки Justification of the adjustment
ЛЗН WNF	12	2,0	–	2,0	Высокий CFR, отсутствие вакцины и препаратов для специфической терапии, тяжелое течение, регулярные вспышки High case fatality rate, lack of a vaccine and drugs for specific therapy, severe course, regular outbreaks
ГЛПС HFRS	8	1,33	↑ (повышение) ↑ (raising)	1,5	Отсутствие вакцины и препаратов для специфической терапии, тяжелое течение The absence of a vaccine and medications for specific therapy, severe course
Лептоспироз Leptospirosis	8	1,33	↓ (снижение на 0,13) ↓ (a decrease of 0,13)	1,2	Высокий CFR, но наличие вакцины (хотя и ограниченно эффективной) High case fatality rate, but there is a vaccine (albeit one with limited effectiveness)
ИКБ ITB	6	1,0	–	1,0	Референтная группа (база для сравнения) Reference group (base for comparison)
Туляремия Tularemia	5	0,83	–	0,8	Наличие эффективной вакцины, легкое течение, крайне низкая летальность The presence of an effective vaccine, a mild course, and an extremely low mortality rate

данные, может самостоятельно присвоить баллы по каждому критерию и получить идентичные весовые коэффициенты. Авторы подчеркивают, что воспроизводимость процедуры не тождественна отсутствию нормативных решений; пороговые значения градаций являются нормативными и могут быть пересмотрены при появлении новых данных. Корректировка весов для ГЛПС и лептоспироза проведена с учетом доступности специфической профилактики и тяжести течения; решение является методическим и может быть пересмотрено при изменении эпидемиологической ситуации или появлении новых данных.

Этап 4. Расчет интегрального индекса эпидемиологического потенциала биотопов (ИИ). Интегральный индекс эпидемиологического потенциала природных биотопов для каждого муниципального образования рассчитывается как сумма взвешенных нормированных баллов по формуле:

$$\text{ИИ} = \sum (\text{Балл}_i \cdot \text{Вес}_i),$$

где i – индекс нозологической формы (от 1 до 5, соответствует ИКБ, ЛЗН, ГЛПС, лептоспирозу и туляремии). При расчете используются итоговые весовые коэффициенты из табл. 2.

Полученные значения ИИ для 45 муниципальных образований варьировали от 0 до 33,20. Наиболее высокие значения (максимальный эпидемиологический потенциал биотопов) зафиксированы в Апшеронском (33,20), Кореновском (25,69) районах, г. Краснодаре (23,86), Выселковском (19,79), Славянском (18,29), Динском (17,62), Тимашевском (17,28), Кавказском (16,96) районах, Туапсинском муниципальном округе (16,74) и г. Горячий Ключ (16,50). Семь муниципальных образований, включая Ленинградский муниципальный округ, Крыловский район, Староминский район и городской округ Сириус, получили нулевые значения ИИ, что свидетельствует об отсутствии зарегистрированных случаев всех пяти анализируемых инфекций за 2021–2024 гг. и, соответственно, о минимальном эпидемиологическом потенциале расположенных там биотопов.

Важно отметить, что ИИ является относительной, а не абсолютной характеристикой потенциальной опасности биотопов. Он не претендует на измерение «истинной опасности» в вероятностных терминах, но позволяет упорядочить территории по степени потенциального эпидемиологического риска их природных биотопов относительно друг друга. Именно эта способность к ранжированию и является его главной практической ценностью, поскольку конечной целью разрабатываемого алгоритма является обоснованное распределение ограниченных ресурсов между территориями с разным уровнем потенциальной опасности биотопов.

Этап 5. Валидация ИИ и ранжирование территорий по степени эпидемиологического потенциала биотопов. Для валидации применен ROC-анализ. Данные 2025 г. выделены в проверочную вы-

борку. В качестве референсного критерия использован бинарный статус муниципального образования («неблагополучное»/«благополучное»), определенный на основе медианы суммарного интенсивного показателя заболеваемости всеми пятью инфекциями за 2025 г. (медиана 1,41 на 100 тыс.). Этот статус рассматривается как ретроспективная реализация потенциальной опасности биотопов, которая должна быть предсказана интегральным индексом, рассчитанным по данным предшествующего периода.

Площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,86 (95% ДИ: 0,74–0,95), что статистически значимо превышает 0,5 ($p < 0,001$). Согласно общепринятым критериям, значение AUC в диапазоне 0,8–0,9 соответствует хорошему качеству классификатора [12, 13]. Иными словами, вероятность того, что случайно выбранное муниципальное образование с биотопами высокого потенциала (неблагополучное по реализации риска в 2025 г.) получит более высокое значение ИИ, чем случайно выбранное образование с биотопами низкого потенциала (благополучное), составляет 86 %. Это подтверждает, что разработанный индекс действительно отражает потенциальную опасность природных биотопов, а не случайные флуктуации заболеваемости.

Оптимальное пороговое значение ИИ, определенное по индексу Юдена (максимизирующему сумму чувствительности и специфичности), составило 8,50 ($J=0,69$). При этом пороге чувствительность – 86 % (из 22 действительно неблагоприятных территорий правильно идентифицировано 19), специфичность – 83 % (из 23 действительно благополучных территорий правильно классифицировано 19). Положительная прогностическая ценность составила 83 %, отрицательная – 86 %, общая точность – 84 %. Полученные показатели подтверждают, что порог ИИ = 8,50 может рассматриваться как объективный количественный критерий для отнесения территории (ее природных биотопов) к группе высокого эпидемиологического потенциала.

На основе установленного порога ИИ = 8,50 и дополнительного порога ИИ = 1,0 (отделяющего территории с единичными спорадическими случаями, отражающими минимальную активность природных очагов, от территорий с полным отсутствием зарегистрированной заболеваемости) проведено ранжирование всех 45 муниципальных образований с выделением трех зон эпидемиологического потенциала (риска) биотопов. Красная зона (высокий потенциал, $\text{ИИ} \geq 8,50$) объединяет 18 муниципальных образований (40,0 % от общего числа). На биотопы этих территорий приходится реализация до 85 % всех случаев ПОИ в крае, что подтверждает адекватность выделения данной зоны как зоны наибольшей потенциальной опасности. Желтая зона (умеренный потенциал, $1,0 \leq \text{ИИ} < 8,50$) включает 19 муниципальных образований (42,2 %). Зеленая зона (низкий потенциал, $\text{ИИ} < 1,0$) – 8 муниципальных образований (17,8 %).

Статистическая значимость различий между выделенными зонами подтверждена расчетом 95% доверительных интервалов для средних значений ИИ, которые не перекрываются: для красной зоны – 16,6 (95% ДИ: 13,20–19,52); для желтой – 5,11 (95% ДИ: 3,82–6,40); для зеленой – 0,18 (95% ДИ: 0,00–0,41).

Красная зона охватывает как урбанизированные территории с трансформированными биотопами (г. Краснодар, ИИ=23,86), так и рекреационные зоны Черноморского побережья с естественными субтропическими биотопами (г. Геленджик – 8,18, Туапсинский муниципальный округ – 16,74) и предгорные районы с лесными биотопами (Апшеронский район – 33,20, г. Горячий Ключ – 16,50). Желтая зона преимущественно представлена муниципальными образованиями, прилегающими к красной зоне, формируя вокруг нее «пояс умеренного потенциала», что может отражать градиент природных условий. Зеленая зона локализована преимущественно в восточных и северных районах края с низкой плотностью населения и отсутствием выраженных природных очагов, что указывает на минимальный эпидемиологический потенциал местных биотопов.

Выделение зон потенциала, однако, не раскрывает внутреннюю структуру опасности биотопов. Для ответа на вопрос, какие именно инфекции формируют совокупный потенциал на каждой территории, выполнен декомпозиционный анализ – расчет средних взвешенных баллов (нормированный балл $\times$ итоговый весовой коэффициент) для каждой инфекции в каждой зоне. Установлено, что в красной зоне ведущий вклад в интегральный потенциал биотопов вносят ЛЗН (33,5 %), ИКБ (26,0 %) и лептоспироз (20,3 %). Вклад ГЛПС составляет 16,6 %, туляремии – 3,5 %. В желтой зоне доминируют ЛЗН (31,7 %) и лептоспироз (27,5 %) при сопоставимом вкладе ИКБ (23,8 %). Декомпозиционный анализ носит иллюстративно-интерпретационный характер и не является независимым методом оценки. Его цель – не повторный анализ отдельных нозологий, а интерпретация интегрального индекса: показать, какие именно инфекции формируют высокий потенциал в каждой зоне и в каждом муниципальном образовании. Это принципиально важно для практического использования индекса, поскольку красная зона объединяет территории с принципиально разным спектром инфекций, определяемым типом доминирующих биотопов. Сравнить такие территории по отдельным показателям заболеваемости некорректно, а выбрать одну из них как единственный приоритет для усиления профилактических мероприятий невозможно. Декомпозиция позволяет дифференцировать профилактические стратегии внутри одной зоны потенциала.

Принципиально важный результат получен при декомпозиции на уровне отдельных муниципальных образований красной зоны. Структура потенциала биотопов здесь оказывается глубоко гетерогенной: в г. Краснодаре доминирует ЛЗН (59 % взвешенного

вклада), что связано с наличием урбанизированных биотопов, благоприятных для размножения комаров-переносчиков; в г. Горячий Ключ – ИКБ (61 %), что отражает преобладание лесных биотопов, благоприятных для иксодовых клещей; в Апшеронском районе – ГЛПС (45 %) и лептоспироз (36 %), что указывает на сочетание лесных и околородных биотопов с высокой численностью грызунов. Это означает, что одна и та же зона высокого потенциала включает территории с принципиально разным спектром инфекций, определяемым типом доминирующих биотопов, что имеет прямое значение для планирования адресных профилактических мероприятий.

Таким образом, в настоящем исследовании предложен и научно обоснован алгоритм количественной оценки совокупного эпидемиологического потенциала (риска) природных биотопов в отношении возникновения природно-очаговых инфекций на муниципальном уровне. Необходимость создания такого инструмента продиктована ограничениями традиционной нозологически-раздельной системы надзора, не позволяющей ранжировать территории по степени интегральной потенциальной опасности их биотопов в условиях формирования сопряженных природных очагов.

Ключевым отличием предлагаемой методологии является перевод нормативных решений из неявной экспертной формы в явную, формализованную и воспроизводимую процедуру, что обеспечивает воспроизводимость результатов и исключает влияние человеческого фактора. Обоснованность перехода от нозологически-раздельного анализа к интегральному ранжированию эпидемиологического потенциала биотопов определяется тремя факторами. Во-первых, в условиях ограниченных ресурсов необходимо иметь единую шкалу для сравнения территорий с разным спектром инфекций, активность которых определяется различными типами биотопов. Во-вторых, как показано в настоящем исследовании, каждая из территорий-лидеров имеет свою уникальную структуру риска: в одних преобладает ЛЗН, в других – ИКБ или ГЛПС. Сравнить такие территории по отдельным показателям заболеваемости некорректно, а нужно выбрать одну из них как единственный приоритет для усиления профилактических мероприятий. Предложенный интегральный индекс устраняет это препятствие, позволяя ранжировать территории по единой шкале совокупной опасности их биотопов. В-третьих, ROC-валидация на независимой выборке 2025 г. подтвердила прогностическую способность интегрального индекса ($AUC=0,86$), что позволяет рассматривать выделенные на его основе зоны потенциала как объективный критерий для планирования профилактических мероприятий на следующий эпидемический сезон.

Практическая направленность предлагаемого алгоритма иллюстрируется следующими примерами дифференцированных профилактических мероприятий, вытекающих из декомпозиционного анализа.

В красной зоне ($ИИ \geq 8,50$): для территорий с доминированием ЛЗН (г. Краснодар) – усиление энтомологического мониторинга, ларвицидные обработки водоемов, информирование населения о необходимости использования репеллентов; для территорий с доминированием ИКБ (г. Горячий Ключ) – акарицидные обработки лесопарковых зон, вакцинация групп риска, экспресс-диагностика в лечебной сети; для территорий с доминированием ГЛПС и лептоспироза (Апшеронский район) – дератизационные мероприятия, контроль качества воды, вакцинация против лептоспироза. В желтой зоне ($1,0 \leq ИИ < 8,50$): выборочный мониторинг, целевое информирование населения, поддержание готовности лабораторной базы. В зеленой зоне ($ИИ < 1,0$): плановый мониторинг без дополнительных мероприятий. Конкретный перечень мероприятий определяется региональными органами Роспотребнадзора с учетом ландшафтно-эпидемиологических особенностей; предложенный индекс дает объективную основу для приоритизации территорий и распределения ресурсов.

Таким образом, интегральный индекс эпидемиологического потенциала биотопов не отменяет анализ по каждой отдельной инфекции, а дополняет его, позволяя объективно ранжировать территории по степени потенциальной опасности их природных биотопов и разумно распределять ресурсы при проведении профилактических мероприятий с учетом средовых характеристик.

Перспективы дальнейших исследований связаны с адаптацией алгоритма для других субъектов Российской Федерации, расширением перечня учитываемых нозологий, а также с сопоставлением рассчитанных индексов с данными прямых эпизоотологических исследований (учет численности переносчиков, инфицированность объектов окружающей среды) для верификации оценок потенциала биотопов.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии дополнительного финансирования при проведении данного исследования.

Список литературы

1. Malkhazova S., Pestina P., Prasolova A., Orlov D. Emerging natural focal infectious diseases in Russia: a medical-geographical study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(21):8005. DOI: 10.3390/ijerph17218005.
2. Rocklöv J., Dubrow R. Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. *Nat. Immunol.* 2020; 21(5):479–83. DOI: 10.1038/s41590-020-0648-y.
3. Рудакова С.А., Теслова О.Е., Муталинова Н.Е., Рудаков Н.В., Пен'евская Н.А., Кузьменко Ю.Ф., Транквиловский Д.В. Эпидемиологическая ситуация по иксодовым клещевым боррелиозам в Российской Федерации в 2010–2024 гг. и прогноз на 2025 г. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2025; (2):39–46. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-2-39-46.
4. Путинцева Е.В., Удовиченко С.К., Никитин Д.Н., Бородай Н.В., Колоскова А.Ю., Антонов А.С., Бондарева О.С., Топорков А.В. Лихорадка Западного Нила в Российской Федерации в 2024 г., прогноз на 2025 г. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2025; (1):84–95. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-1-84-95.

5. Шкарин В.В., Благоданова А.С., Чумаков М.Э. Эпидемиологические особенности сочетанных природно-очаговых инфекций. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2017; 16(5):43–50. DOI: 10.31631/2073-3046-2017-16-5-43-50.
6. Рудаков Н.В., Пен'евская Н.А. Анализ терминов и положений учения о природной очаговости болезней человека. *Национальные приоритеты России*. 2024; 55(4):21–8.
7. Завгородний С.С., Манин Е.А., Чехвалова Е.В., Таганова А.А., Носов Д.О., Жукова Л.И., Потёмкина М.А., Гречаная Т.В., Куличенко А.Н. Природно-очаговые инфекции Краснодарского края. Современное состояние проблемы. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2026; (1):99–107. DOI: 10.21055/0370-1069-2026-1-99-107.
8. Савилов Е.Д., Колесников С.И., Анганова Е.В., Астафьев В.А. Интегральная оценка заболеваемости по основным статистическим критериям. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(3):274–8. DOI: 10.47470/0016-9900-2018-97-3-274-278.
9. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). ArboNET: National Arboviral Surveillance System. Atlanta: CDC; 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cdc.gov/arbovirus-surveillance/index.html>.
10. Bonicelli L., Porrello A., Vincenzi S., Ippoliti C. Spotting virus from satellites: modeling the circulation of West Nile virus through graph neural networks. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2023; 61:1–12. DOI: 10.1109/TGRS.2023.3293270.
11. Топорков А.В., Путинцева Е.В., Удовиченко С.К. Лихорадка Западного Нила как актуальная угроза здоровью: история изучения и меры профилактики в России. *Анализ риска здоровью*. 2023; (3):138–49. DOI: 10.21668/health.risk/2023.3.13.
12. Nahm F.S. Receiver operating characteristic curve: overview and practical use for clinicians. *Korean J. Anesthesiol.* 2022; 75(1):25–36. DOI: 10.4097/kja.21209.
13. Schober P., Vetter T.R. Logistic regression in medical research. *Anesth. Analg.* 2021; 132(2):365–6. DOI: 10.1213/ANE.0000000000005247.

References

1. Malkhazova S., Pestina P., Prasolova A., Orlov D. Emerging natural focal infectious diseases in Russia: a medical-geographical study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(21):8005. DOI: 10.3390/ijerph17218005.
2. Rocklöv J., Dubrow R. Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. *Nat. Immunol.* 2020; 21(5):479–83. DOI: 10.1038/s41590-020-0648-y.
3. Rudaikova S.A., Teslova O.E., Mutalynova N.E., Rudakov N.V., Pen'evskaya N.A., Kuz'menko Yu.F., Trankvilevsky D.V. [Review of the epidemiological situation of ixodic tick-borne borreliosis in the Russian Federation in 2010–2024 and forecast for 2025]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2025; (2):39–46. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-2-39-46.
4. Putintseva E.V., Udovichenko S.K., Nikitin D.N., Boroday N.V., Koloskova A.Yu., Antonov A.S., Bondareva O.S., Toporkov A.V. [West Nile fever in the Russian Federation in 2024, forecast for 2025]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2025; (1):84–95. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-1-84-95.
5. Shkarin V.V., Blagodarova A.S., Chumakov E.M. [Epidemiological features of combined natural-focal infections]. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika [Epidemiology and Vaccine Prevention]*. 2017; 16(5):43–50. DOI: 10.31631/2073-3046-2017-16-5-43-50.
6. Rudakov N.V., Pen'evskaya N.A. [Analysis of the terms and provisions of the doctrine on the natural focal nature of human diseases]. *Natsional'nye Prioritety Rossii [National Priorities of Russia]*. 2024; 55(4):21–8.
7. Zavgorodny S.S., Manin E.A., Chekhvalova E.V., Taganova A.A., Nosov D.O., Zhukova L.I., Potemkina M.A., Grechanaya T.V., Kulichenko A.N. [Natural focal infections of the Krasnodar Territory. Current state of the problem]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2026; (1):99–107. DOI: 10.21055/0370-1069-2026-1-99-107.
8. Savilov E.D., Kolesnikov S.I., Anganova E.V., Astafey V.A. [The summary assessment of the prevalence rate morbidity on main statistical indices]. *Gigiena i Sanitariya [Hygiene and Sanitation]*. 2018; 97(3):274–8. DOI: 10.47470/0016-9900-2018-97-3-274-278.
9. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). ArboNET: National Arboviral Surveillance System. Atlanta: CDC; 2025. [Internet]. Available from: <https://www.cdc.gov/arbovirus-surveillance/index.html>.
10. Bonicelli L., Porrello A., Vincenzi S., Ippoliti C. Spotting virus from satellites: modeling the circulation of West Nile virus through graph neural networks. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2023; 61:1–12. DOI: 10.1109/TGRS.2023.3293270.

11. Toporkov A.V., Putintseva S.K., Udovichenko S.K. [West Nile fever as a relevant health hazard: the history of studying and measures of its prevention in Russia]. *Analiz Riska Zdorov'yu [Health Risk Analysis]*. 2023; (3):138–49. DOI: 10.21668/health.risk/2023.3.13.

12. Nahm F.S. Receiver operating characteristic curve: overview and practical use for clinicians. *Korean J. Anesthesiol.* 2022; 75(1):25–36. DOI: 10.4097/kja.21209.

13. Schober P., Vetter T.R. Logistic regression in medical research. *Anesth. Analg.* 2021; 132(2):365–6. DOI: 10.1213/ANE.0000000000005247.

Authors:

Zavgorodny S.S., Zhukova L.I. Kuban State Medical University. 4, Mitrofan Sedin St., Krasnodar, 350063, Russian Federation. E-mail: corpus@ksma.ru.

Manin E.A., Kulichenko A.N. Stavropol Research Anti-Plague Institute. 13–15, Sovetskaya St., Stavropol, 355035, Russian Federation. E-mail: stavnipchi@mail.ru.

Об авторах:

Завгородний С.С., Жукова Л.И. Кубанский государственный медицинский университет. Российская Федерация, 350063, Краснодар, ул. им. Митрофана Седина, 4. E-mail: corpus@ksma.ru.

Манин Е.А., Куличенко А.Н. Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт. Российская Федерация, 355035, Ставрополь, ул. Советская, 13–15. E-mail: stavnipchi@mail.ru.