

DOI: 10.21055/0370-1069-2026-2-84-93

УДК 616.995.7:614.4

И.Д. Зарва^{1,2}, Ю.И. Ивайловская³, А.Д. Ботвинкин¹, Ю.А. Вержуцкая², Е.А. Сидорова²,
А.Я. Никитин², С.В. Балахонов²**Разработка технологии пространственного анализа риска заражения клещевыми инфекциями на основе сведений из экстренных извещений**

¹Иркутский государственный медицинский университет, Иркутск, Российская Федерация; ²Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока, Иркутск, Российская Федерация; ³Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области, Иркутск, Российская Федерация

Цель исследования – разработка и апробация технологии пространственного анализа эпидемиологического риска заражения инфекциями, передающимися клещами, на основе геокодированных данных экстренных извещений. **Материалы и методы.** Проведен ретроспективный пространственный анализ сплошной выборки экстренных извещений по Иркутской области за 2023–2024 гг. о случаях присасывания клещей (n=21 585) и заболевания клещевым вирусным энцефалитом (n=171). Геокодирование мест жительства и предполагаемых мест экспозиции выполнялось автоматически с помощью программы на языке R через программный интерфейс сервиса DaData с последующим картографированием с использованием геоинформационных систем. **Результаты и обсуждение.** Доля экстренных извещений, содержащих текстовую информацию, пригодную для геокодирования, составила 48,1 % для присасываний клещей и 52,0 % для случаев клещевого вирусного энцефалита (КВЭ). Совпадение муниципального образования места экспозиции с районом проживания пациента наблюдалось лишь в 29,6 % случаев присасывания и 30,3 % случаев КВЭ. В большинстве случаев муниципальный район предполагаемого места нападения клеща отличался от места проживания пациента. Предлагаемый подход к пространственному анализу выявил скрытые зоны риска инфицирования КВЭ на территориях, не входящих в официальный перечень эндемичных районов, и продемонстрировал несоответствие зон с высоким уровнем расчетной заболеваемости местам наибольшей концентрации фактов инфицирования. Разработанная технология повышает точность оценки территориального риска заражения клещевыми инфекциями. Внедрение функций геокодирования данных экстренных извещений в систему эпидемиологического надзора за клещевыми инфекциями обеспечит объективное районирование для планирования адресных профилактических мероприятий.

Ключевые слова: клещевой вирусный энцефалит, экстренные извещения, пространственный анализ, геокодирование, эпидемиологический риск, геоинформационные системы.

Корреспондирующий автор: Зарва Иван Дмитриевич, e-mail: ivan_zarva@mail.ru.

Для цитирования: Зарва И.Д., Ивайловская Ю.И., Ботвинкин А.Д., Вержуцкая Ю.А., Сидорова Е.А., Никитин А.Я., Балахонов С.В. Разработка технологии пространственного анализа риска заражения клещевыми инфекциями на основе сведений из экстренных извещений. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2026; 2:84–93. DOI: 10.21055/0370-1069-2026-2-84-93

Поступила 23.04.2026. Принята к публикации 29.04.2026.

I.D. Zarva^{1,2}, Yu.I. Ivaylovskaya³, A.D. Botvinkin¹, Yu.A. Verzhutskaya², E.A. Sidorova²,
A.Ya. Nikitin², S.V. Balakhonov²**Development of a Technology for Spatial Risk Analysis of Tick-Borne Infections Based on Emergency Notification Data**

¹Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russian Federation;

²Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and the Far East, Irkutsk, Russian Federation;

³Center of Hygiene and Epidemiology in the Irkutsk Region, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The aim of the study was to develop and test a technology for the spatial analysis of the epidemiological risk of tick-borne infections based on geo-encoded emergency notification data. **Materials and methods.** A retrospective spatial analysis of a continuous sample of emergency notifications for the Irkutsk Region over the period of 2023–2024 was conducted, including cases of tick bites (n=21,585) and tick-borne viral encephalitis (n=171). The geo-encoding of residential addresses and presumed exposure sites was performed automatically using an R-based program through the DaData application programming interface, followed by mapping using geographic information systems. **Results and discussion.** The proportion of emergency notifications containing textual information suitable for geo-encoding was 48.1 % for tick bites and 52.0 % for tick-borne viral encephalitis cases. Concordance between the municipality of exposure and the patient's district of residence was observed in only 29.6 % of tick bite cases and 30.3 % of tick-borne viral encephalitis cases. In most instances, the municipal district of the presumed tick attack site differed from the patient's place of residence. The proposed spatial analysis approach has revealed hidden zones of tick-borne viral encephalitis infection risk in territories not included in the official list of endemic districts, and demonstrated a discrepancy between areas with high calculated incidence levels and locations with the highest concentration of infection events. The developed technology improves the accuracy of assessing the territorial risk of tick-borne infections. Implementing geo-encoding features for emergency notification data into the tick-borne infection epidemiological surveillance system will ensure objective zoning for planning targeted preventive measures.

Key words: tick-borne encephalitis, emergency notifications, spatial analysis, geo-encoding, epidemiological risk, geographic information systems.

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

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

Corresponding author: Ivan D. Zarva, e-mail: ivan_zarva@mail.ru.

Citation: Zarva I.D., Ivaylovskaya Yu.I., Botvinkin A.D., Verzhutskaya Yu.A., Sidorova E.A., Nikitin A.Ya., Balakhonov S.V. Development of a Technology for Spatial Risk Analysis of Tick-Borne Infections Based on Emergency Notification Data. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2026; 2:84–93. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2026-2-84-93

Received 23.04.2026. Accepted 29.04.2026.

Zarva I.D., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4225-5998>

Ivaylovskaya Yu.I., ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5451-954X>

Botvinkin A.D., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1324-7374>

Verzhutskaya Yu.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9573-4696>

Sidorova E.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0279-5831>

Nikitin A.Ya., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3918-7832>

Balakhonov S.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4201-5828>

Традиционно пространственный эпидемиологический анализ заболеваемости инфекциями, передающимися клещами, основан на данных стандартных форм государственной медицинской статистики, агрегированных по административным единицам (район, область, страна и др.). Это наиболее распространенный вариант эпидемиологического районирования [1, 2]. Ограничением такого подхода является несоответствие места регистрации случая клещевого вирусного энцефалита (КВЭ) и места инфицирования пациента. Местные жители и прибывшие из других регионов (сезонные и вахтовые работники, туристы и др.) активно перемещаются между районами и могут подвергаться нападению клещей в одних муниципальных образованиях (МО), а обращаться за медицинской помощью в других – по месту жительства. Искажения в результатах пространственного анализа в свою очередь могут привести к снижению эффективности профилактических мероприятий, таких как акарицидные обработки, информационно-просветительская работа с населением, и других мер.

Научные публикации, посвященные моделированию распределения клещевых инфекций по территориям, зачастую основаны на агрегированных данных [3–5]. Эти математические модели имеют такие же ограничения и систематические ошибки, как и традиционный пространственный анализ.

Для объективной пространственной оценки эпидемиологического риска клещевых инфекций нами предлагается использовать сведения о случаях нападения клещей на людей. Выбор Иркутской области в качестве модельной территории обусловлен ее природно-климатическими условиями, благоприятными для распространения иксодовых клещей и формирования природных очагов КВЭ [6–9]. Согласно письму Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 02.02.2026 № 02/1395-2026-27 «О перечне эндемичных территорий по клещевому вирусному энцефалиту в 2025 году», 36 из 42 МО субъекта относятся к эндемичным по КВЭ. Ежегодно регистрируются случаи заболевания КВЭ среди взрослого населения и детей, в том числе с летальным исходом [1]. Регистрация экстренных извещений (ЭИ) о присасываниях клещей в Иркутской области ведется с 2011 г. С 2020 г. работа с ЭИ осуществля-

ется в единой информационно-аналитической системе (ЕИАС) Роспотребнадзора, которая обеспечивает унифицированный электронный формат записей и стандартизованный набор полей, включая указание места жительства, предполагаемого места присасывания клеща или заражения КВЭ и др. Наличие этих сведений создает новые возможности для геокодирования случаев и пространственного анализа больших массивов данных, в том числе и в режиме реального времени.

Таким образом, актуальной является разработка технологии пространственного анализа эпидемиологического риска клещевых инфекций, основанной на данных о фактических местах нападения клещей и заражения КВЭ. Такая технология позволит более корректно оценивать территориальное распределение и активность природных очагов, уточнять перечень эндемичных территорий для разработки адресных профилактических мероприятий и более точного математического моделирования эпидемиологического риска.

Цель исследования – разработка и апробация технологии пространственного анализа эпидемиологического риска заражения инфекциями, передающимися клещами, на основе геокодированных данных экстренных извещений.

Материалы и методы

Для пространственного анализа использована сплошная выборка экстренных извещений (форма 058/у) за 2023–2024 гг. по диагнозам W57 «Укус или ужаление неядовитым насекомым и другими неядовитыми членистоногими» (n=21 585) и A84 «Клещевой вирусный энцефалит» (n=171). В исследование включили ЭИ, содержащие информацию о поле, возрасте пациента, дате обращения, адресе проживания, а также текстовое описание предполагаемого места нападения клеща (для W57) или места заражения КВЭ (для A84). По каждому коду диагноза оценивали общее число ЭИ, долю ЭИ с указанным местом предполагаемого присасывания/заражения и долю ЭИ, пригодных для геокодирования.

В работе использованы данные форм государственного статистического наблюдения № 1 и 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях» по Иркутской области за 2014–2024 гг.,

данные информационных бюллетеней по инфекционной и паразитарной заболеваемости за аналогичный период.

С учетом особенностей заполнения ЭИ и во избежание терминологической путаницы в настоящей работе приняты следующие рабочие определения. Под термином «место нападения клеща» (для диагноза W57) понимается географическая локация (лесной массив, садоводческое товарищество и др.), где, по данным ЭИ, произошел контакт пациента с переносчиком. Под термином «место предполагаемого заражения» (для диагноза A84) понимается территория вероятного контакта с клещом у пациентов с подтвержденным КВЭ.

Геокодирование мест проживания проводилось в автоматизированном режиме с использованием программы, разработанной нами на языке R, посредством API-сервиса DaData. Информацию о месте предполагаемого нападения клещей и инфицирования КВЭ из блока «Примечания» ЭИ (W57 и A84) сопоставляли с пространственными объектами (точный адрес в населенном пункте, садоводческое товарищество, база отдыха, лесной массив и др.) в открытых ГИС-сервисах в целях присвоения географических координат. ЭИ с неполными или неконкретными описаниями места (например, указан только регион или наименование крупного города без уточнения) в пространственный анализ не включались.

Геокодированные места нападения клещей, предполагаемого инфицирования КВЭ и места жительства пациентов использовали для построения точечных и линейных слоев для последующего картографирования в QGIS 3.44. Для каждого пространственного объекта определяли принадлежность к конкретному МО (району или городскому округу). Затем рассчитывали линейные расстояния от мест нападения клещей и предполагаемого заражения КВЭ до мест проживания пациентов. Верхнюю границу статистических выбросов при анализе расстояний определяли на основе межквартильного размаха по формуле $Q3 + 1,5 \cdot IQR$ (где $Q3$ – третий квартиль, IQR – межквартильный размах). На основе полученных данных вычисляли долю случаев, для которых место экспозиции и место жительства находились в границах одного МО. Полученные показатели сопоставляли с официальным перечнем эндемичных по КВЭ территорий.

Для сравнения подходов пространственного анализа заболеваемости КВЭ выполняли ранжирование МО по уровню заболеваемости по данным форм № 1, 2 и информационных бюллетеней. МО были распределены по четырем группам уровня заболеваемости с использованием квартильного метода.

Для оценки нормальности распределения количественных признаков использовали критерий Шапиро – Уилка, статистики асимметрии, эксцесса, а также графики Q-Q. Статистический анализ выполнен в программной среде R с использованием

базовых функций пакетов stats, moments и ggplot2. В связи с незначительным отклонением распределения данных от нормального сравнение количественных показателей (возраст) между группами проводили с использованием непараметрического U-критерия Манна – Уитни. Для сравнения категориальных признаков (пол, месяцы обращения, группы муниципальных образований) применяли критерий χ^2 Пирсона. Различия считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Для рассчитанных экстенсивных показателей вычисляли 95% ДИ по методу Вилсона с использованием пакета binom в среде R.

Результаты и обсуждение

Результаты геокодирования информации из экстренных извещений и оценка репрезентативности выборки. Среди ЭИ по коду W57 в 65,9 % случаев было указано предполагаемое место нападения клеща, а 48,1 % ЭИ от общего числа содержали информацию, пригодную для геокодирования. Для случаев заболевания КВЭ (A84) доля ЭИ с указанием предполагаемого места заражения составила 58,4 %, при этом 52,0 % от их общего числа были пригодны для геокодирования. Таким образом, почти половина ЭИ о присасывании клещей и более половины извещений о КВЭ содержат сведения о месте экспозиции, пригодные для геокодирования.

Для обоснования репрезентативности исследуемой выборки с целью экстраполяции результатов исследования на весь пораженный контингент (генеральную совокупность) проводили сопоставление части ЭИ с возможностью геокодирования места присасывания клеща с ЭИ без корректно заполненных данных о месте контакта с переносчиком.

Для случаев КВЭ (A84) статистически значимых различий между массивами экстренных извещений с указанным и без указанного места инфицирования по полу ($\chi^2=0,10$; $p=0,749$), возрасту ($U=2864,0$; $p=0,827$), месяцам выявления заболевания ($\chi^2=6,93$; $p=0,327$) и МО регистрации ($\chi^2=50,78$; $p=0,065$) не выявлено.

Для ЭИ о присасывании клещей (W57) отмечено умеренное смещение по полу и возрасту. Доля мужчин с данными, содержащими информацию о месте контакта с клещами (геокодируемые ЭИ), составляла 53,5 % против 51,7 % в группе ЭИ без сведений о месте нападения клеща (негеокодируемые ЭИ); $\chi^2=4,20$; $p=0,04$. Медиана возраста существенно не различалась и составила 42 и 43 года в геокодируемых и негеокодируемых ЭИ соответственно. Различия по месяцу обращения пострадавших от присасывания клеща ($\chi^2=17,87$; $p=0,06$) и МО регистрации ($\chi^2=988,86$; $p=0,086$) статистически незначимы. Соответственно, часть ЭИ с возможностью геокодирования места нападения клеща / инфицирования можно считать достаточно репрезентативной для пространственного анализа эпидемиологической ситуации по приса-

сыванию клещей и заболеваемости КВЭ населения Иркутской области в целом.

Расстояние между местом контакта с клещами и местом регистрации (проживания) пострадавших и заболевших КВЭ. Установлено, что участки нападения клеща и предполагаемого заражения КВЭ расположены на различном удалении от места проживания пациента (рис. 1). Отмечены случаи, когда человек подвергся нападению клеща на территории собственного приусадебного участка. В таких случаях столбец «Расстояние» заполнялся нулевыми значениями.

Отдельно анализировали случаи, в которых расстояние превышало границу статистических выбросов (226,2 км для ЭИ о присасывании клеща и 172,2 км для случаев КВЭ). Доля таких случаев составила 11,9 и 15,7 % от всех геокодированных извещений соответственно (табл. 1). Подобные выбросы, как правило, связаны с туристическими поездками в другой регион, при которых участок инфицирования существенно удален от места проживания, что искажает оценку эпидемиологического риска для МО. Во всех этих случаях место экспозиции и жительства различалось. Максимальные различия расстояний выявляли при инфицировании пострадавших в

туристических зонах других субъектов Российской Федерации и зарубежных стран.

Совпадение участка контакта с клещами с местом жительства пострадавших от нападения клещей и регистрации заболевших КВЭ. Сопоставление МО, в которых произошло нападение клеща, с местом жительства пострадавших от присасывания (табл. 2) показало, что лишь в небольшом числе случаев эти районы совпадают. У подавляющего большинства пострадавших контакт с клещом регистрировали за пределами района проживания, в том числе небольшая часть пациентов отмечала нападение клеща вне пределов Иркутской области (табл. 2).

Аналогичная картина прослеживается и для случаев подтвержденного КВЭ. Территориальное совпадение места жительства с предполагаемой территорией инфицирования отмечено менее чем у трети заболевших. Более половины пациентов заразились в других МО Иркутской области, а каждый десятый случай инфицирования произошел за пределами региона.

Пространственное распределение мест инфицирования заболевших КВЭ. Пространственный анализ эпидемиологического риска КВЭ выявил

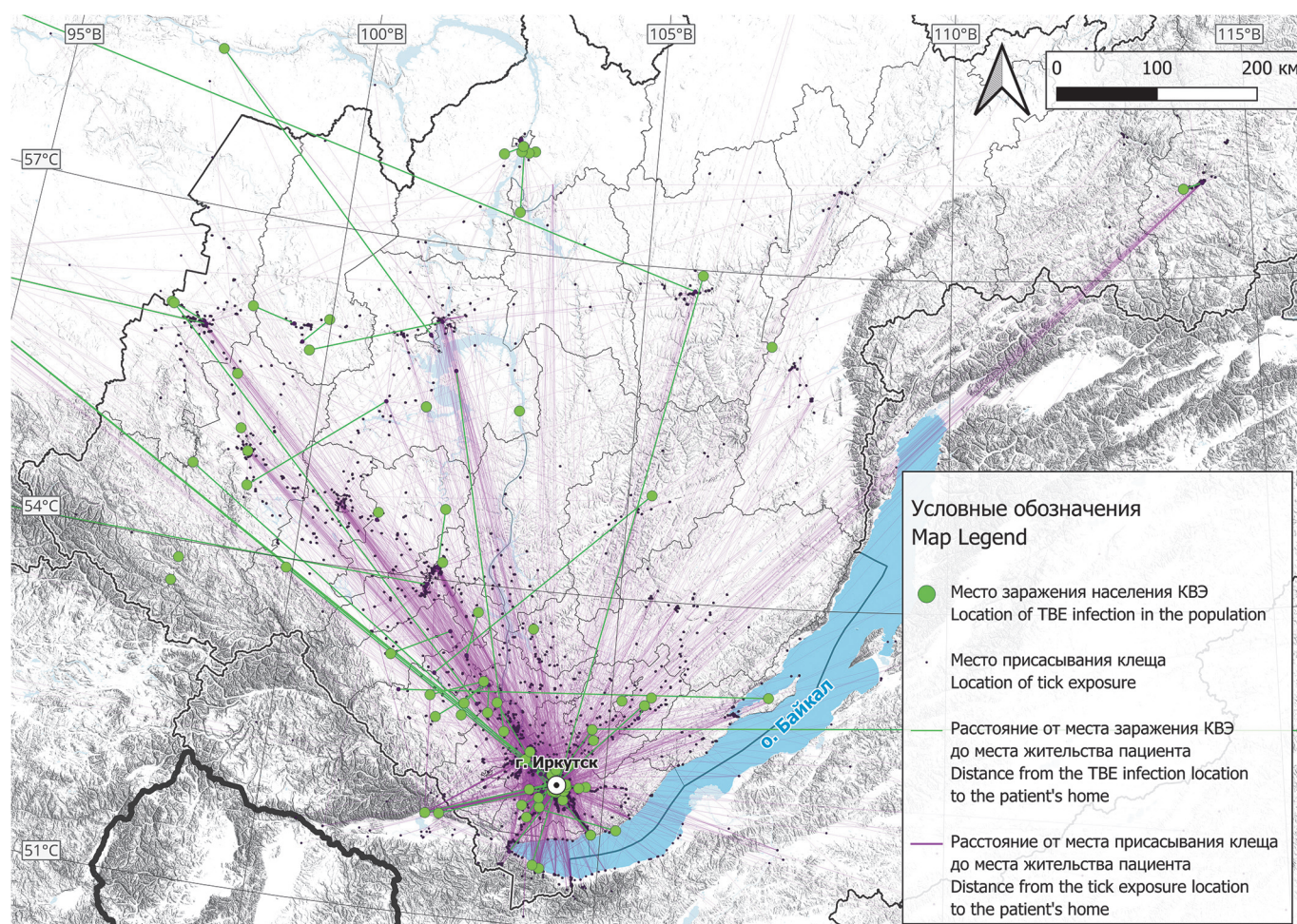


Рис. 1. Картографический анализ различий между местом нападения клеща / заражения КВЭ и местом проживания пострадавших от нападения клещей и заболевших КВЭ в Иркутской области в 2023–2024 гг.

Fig. 1. Cartographic analysis of discrepancies between the site of tick bite / TBE infection and the place of residence of individuals with tick bites and patients with tick-borne encephalitis in the Irkutsk Region, 2023–2024

Таблица 1 / Table 1

Характеристика данных о расстоянии между участком нападения клеща / заражения КВЭ и местом проживания (Иркутская область, 2023–2024 гг.)

Characteristics of distances between tick bite / TBE infection sites and place of residence (Irkutsk Region, 2023–2024)

Показатель Indicator	Присасывание клещей (W57) Tick bites (W57)	Заболевание КВЭ (A84) TBE cases (A84)
Количество наблюдений, абс. Number of observations, abs.	10383	89
Среднее расстояние, км Mean distance, km	103,3	129,8
Стандартное отклонение, км Standard deviation, km	247,5	330,6
Медиана расстояния, км Median distance, km	33,0	23,4
Q1–Q3, км Q1–Q3, km	13,0–98,3	3,7–71,0
Граница статистических выбросов (Q3+1,5·IQR), км Statistical outlier limit (Q3+1,5·IQR), km	226,2	172,2
Число статистических выбросов, абс. (%) Number of outliers, n (%)	1238 (11,9 %)	14 (15,7 %)
Максимум, км Maximum, km	6114	2657,2

существенные расхождения между традиционным подходом к регистрации и распределением предполагаемых мест инфицирования КВЭ населения Иркутской области. Картографирование геокодированных данных (рис. 2) наглядно демонстрирует, что территории с очень высоким и высоким уровнем заболеваемости местного населения не совпадают с зонами наибольшей концентрации мест инфицирования КВЭ.

Инфицирование происходило преимущественно в южной и центральной частях региона – на территориях с высокой антропогенной нагрузкой, в приго-

родных зонах крупных агломераций и на популярных рекреационных направлениях. Однако интенсивный показатель заболеваемости на этих территориях зачастую фиксируется на среднем (1,4–3,4 на 100 тыс. населения) или низком (0–1,4 на 100 тыс. населения) уровне.

Особого внимания заслуживают данные сравнительного анализа мест фактического заражения с показателями заболеваемости, агрегированными по МО. Геокодирование позволило выявить ряд административных территорий (Жигаловский, Зиминский, Нукутский, Ольхонский, Тулунский и Усть-Илимский районы), относящихся к МО, где сведения о случаях заболевания отсутствуют. Однако на этих территориях зафиксированы факты инфицирования лиц, прибывших из других районов.

Уточнение статуса неэндемичных территорий. Отдельно оценивали МО Иркутской области, которые в настоящее время не входят в официальный перечень эндемичных по КВЭ (табл. 3). Пространственный анализ на основе сведений из ЭИ выявил существенные расхождения с данными традиционного учета по месту жительства. В частности, выявлены эпидемиологические проявления местного природного очага КВЭ в Бодайбинском районе, тогда как в Нижнеилимском районе инфицирование людей происходило за его пределами. Новый метод также позволил зафиксировать скрытые зоны риска и локальные контакты с переносчиком в Мамско-Чуйском, Киренском и Катангском районах при отсутствии или спорадичности данных о регистрации случаев КВЭ согласно официальной статистике.

Сопоставление подходов к пространственному анализу эпидемиологического риска. В ходе исследования разработана и успешно апробирована технология пространственного анализа эпидемиологического риска заражения КВЭ и нападения клеща на основе геокодированных данных из ЭИ (более

Таблица 2 / Table 2

Оценка совпадения участка нападения клеща и предполагаемого места заражения КВЭ с местом проживания пациентов и регистрации заболевания в Иркутской области за 2023–2024 гг.

Assessment of concordance between tick bite site / presumed TBE infection site and patients' place of residence and case registration in the Irkutsk Region, 2023–2024

Показатель Indicator	Категория Category	Абс. Abs.	% от геокодированных % of geo-encoded	95 % ДИ 95 % CI
Присасывание клеща (W57) Tick bites (W57)	Одно и то же МО Same municipality	3077	29,6 %	28,7–30,5
	Разные МО Different municipalities	6668	64,2 %	63,3–65,1
	За пределами области Outside the region	638	6,1 %	5,7–6,6
Заболевание КВЭ (A84) TBE cases (A84)	Одно и то же МО Same municipality	27	30,3 %	21,8–40,5
	Разные МО Different municipalities	53	59,5 %	49,2–69,1
	За пределами области Outside the region	9	10,1 %	5,41–18,1

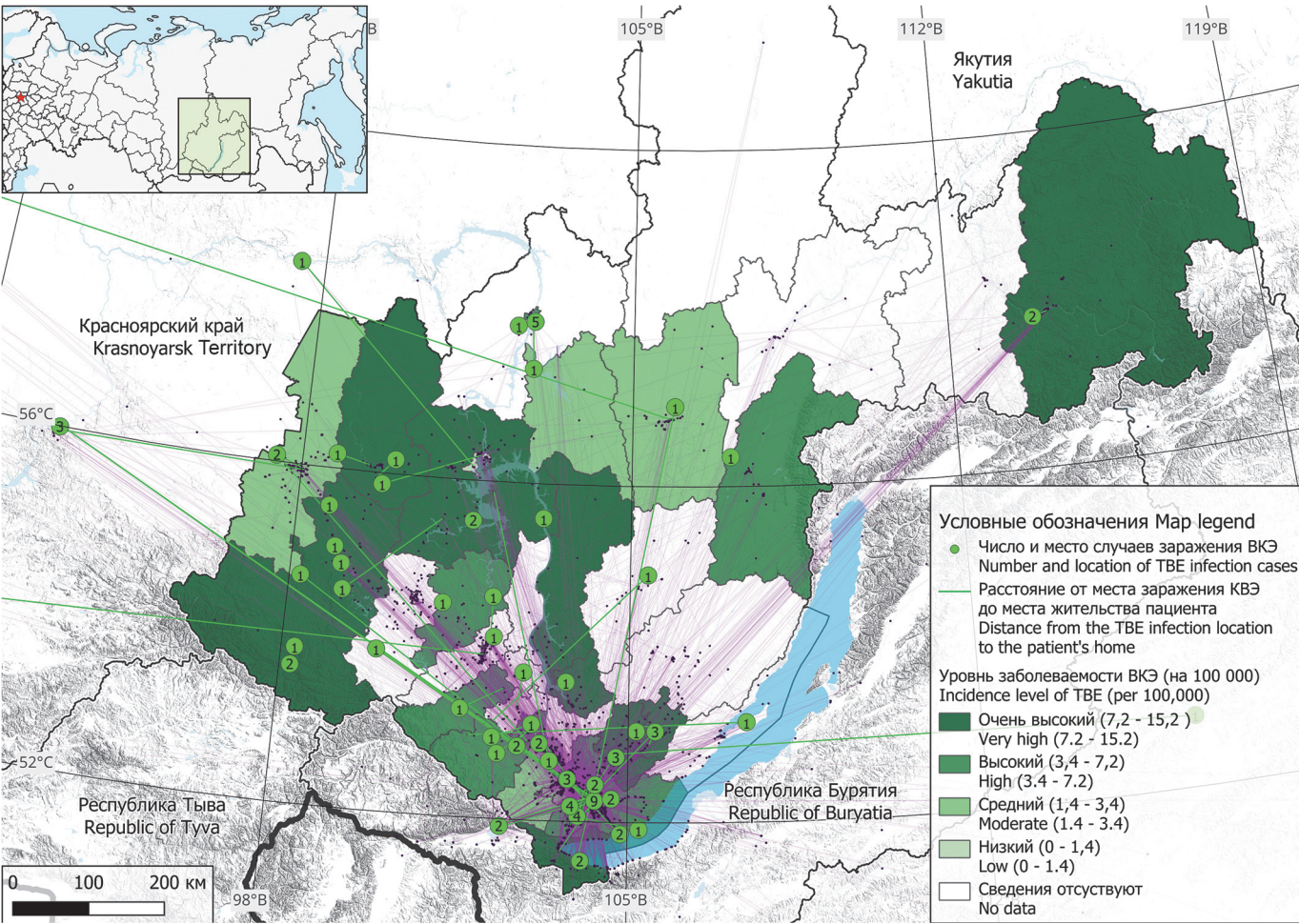


Рис. 2. Территории предполагаемого инфицирования в сравнении с местом регистрации заболевших КВЭ и традиционным ранжированием МО Иркутской области по среднему уровню заболеваемости населения за 2023–2024 гг.

Fig. 2. Presumed infection sites compared with the place of registration of tick-borne encephalitis cases and the conventional ranking of administrative districts of the Irkutsk Region by average incidence level in 2023–2024

Таблица 3 / Table 3

Эпидемиологическая характеристика МО Иркутской области, не входящих в перечень эндемичных по КВЭ (2023–2024 гг.)

Epidemiological characteristics of administrative territories of the Irkutsk Region which are not included in the list of tick-borne encephalitis-endemic areas (2023–2024)

Муниципальное образование District	Наличие или отсутствие эпидемиологических данных Presence or absence of epidemiological data			
	КВЭ по месту жительства TBE by place of residence	КВЭ по месту предполагаемого инфицирования TBE by suspected site of infection	Укусы клещей по месту жительства Tick bites by place of residence	Укусы клещей по месту выявления Tick bites by place of detection
Бодайбинское Bodaibinsky	+	+	+	+
Усть-Кутское Ust-Kutsky	+	–	+	+
Нижнеилимское Nizhneilimsky	+	–	+	–
Мамско-Чуйское Mamsko-Chuysky	–	–	+	+
Киренское Kirensky	–	–	+	+
Катангское Katangsky	–	–	–	+

27 тыс. документов). Впервые на модели эндемичного по КВЭ субъекта РФ использованы данные, накопленные после внедрения в практику подачи ЭИ не только на случаи заболевания клещевыми инфекциями, но и присасывания клещей к людям. Предлагаемый подход, основанный на геокодировании мест экспозиции на индивидуальном уровне, устранял ключевое ограничение традиционного пространственного анализа, связанное с привязкой случаев только к месту обращения за медицинской помощью. Такая комбинация детализированных данных и компьютерных методов пространственного анализа позволяет создать основу для повышения адресности и эффективности профилактических мероприятий и актуализации перечня эндемичных территорий с учетом фактических мест инфицирования.

Традиционный пространственный анализ заболеваемости клещевыми инфекциями базируется на агрегированных данных федеральной статистики и информационных бюллетеней, где случаи КВЭ и присасывания клеща регистрировали по месту обращения за медицинской помощью [1]. Такой подход применяют в большинстве рутинных эпидемиологических исследований. Он обеспечивает простоту, наличие длительных временных рядов и сопоставимость показателей между регионами РФ [1, 2]. На основе тех же агрегированных административных данных выполняется ГИС-картографирование заболеваемости КВЭ и разработка нейросетевых и пространственно-временных моделей эпидемиологического риска [3, 5, 10–12]. Однако общим ограничением таких работ остается территориальная привязка по месту проживания или обращения за медицинской помощью, а не по району фактического инфицирования.

Проблема несовпадения места проживания и места инфицирования. Совпадение МО участка экспозиции с местом проживания пациента не превышает 31 % как по показателю присасывания клещей, так и для случаев КВЭ (табл. 2). При этом 64,2 % присасываний и около 60 % заболеваний КВЭ происходили за пределами МО проживания. Значительные медианные расстояния (23–33 км) между предполагаемым местом присасывания / инфицирования КВЭ и местом жительства свидетельствовали о системном характере ошибки территориальной привязки и ее возможном влиянии на результаты традиционного описательного анализа и математического моделирования эпидемиологического риска.

Проблема несовпадения территориальной привязки заболевания и фактического места инфицирования не является уникальной для российской системы эпидемиологического надзора. Еще в 1997 г. P. Zeman [13] одним из первых обратил внимание на эту проблему при картировании КВЭ и клещевого боррелиоза в Чешской Республике. Автор параллельно использовал для ГИС-анализа данные о предполагаемых участках инфицирования и о месте

проживания пациентов и показал, что расстояние от места жительства до места контакта с переносчиком может достигать 3–4 км. Кроме того, автор исключил из анализа жителей крупных городов (в частности, Праги) в связи с их склонностью посещать удаленные рекреационные территории, что могло исказить результаты картирования.

S. Jore et al. [4] на основании опроса населения Скандинавских стран (Норвегия, Швеция, Дания) с помощью веб-сервиса установили, что большинство нападений клещей происходило за пределами муниципалитета проживания респондента. Авторы выделили два профиля экспозиции: по месту жительства (преимущественно в менее урбанизированных территориях) и в посещаемых муниципалитетах (преимущественно для жителей пригородных зон). Согласованность наших данных (совпадение МО – около 30 %) с результатами скандинавского исследования представляется значимой, учитывая принципиально различные источники данных.

В недавнем исследовании F. Dagostin et al. [3] при построении общеевропейской модели прогнозирования риска КВЭ авторы для повышения точности были вынуждены исключить из анализа массив пациентов, инфицированных за рубежом или с неизвестным местом экспозиции. Сам этот критерий исключения является наглядным отражением проблемы пространственного смещения данных, которую количественно характеризует и решает наш подход к пространственному анализу риска заражения КВЭ. Более того, европейские ученые отдельно подчеркнули острую необходимость перехода к сбору эпидемиологических данных хотя бы на муниципальном уровне (NUTS-3/LAU) [3].

В этом контексте отечественная система санитарно-эпидемиологического надзора обладает уникальным потенциалом. Как показала наша работа, алгоритмическое геокодирование записей из ЭИ позволяет значительно более точно локализовать места контактов с клещами – вплоть до конкретных участков, снижая влияние систематических ошибок.

Ранее в отечественной литературе расхождение места контакта с клещом и места регистрации случая изучали преимущественно на примере случаев, завезенных из других регионов и стран. В частности, Г.А. Данчинова и соавт. [14] определили долю таких случаев по данным обращений в центр клещевых инфекций в г. Иркутске. В отличие от этой работы, мы использовали сплошной массив ЭИ со всей территории Иркутской области и проанализировали перемещение пострадавших не только из-за пределов субъекта, но и между МО внутри региона. Показано, что в малонаселенных МО северной части региона даже единичные случаи КВЭ формируют высокий интенсивный показатель, создавая искаженную картину высокого риска заражения.

Значение результатов для оценки эндемичности территорий. Анализ неэндемичных МО (табл. 3) выявил различные сочетания наличия

или отсутствия регистрации КВЭ и присасываний клещей по месту проживания и по месту экспозиции. Наиболее показательным является пример Бодайбинского района, расположенного в северной части Иркутской области и в настоящее время не входящего в перечень эндемичных территорий. Установлено, что случаи заражения местного населения КВЭ связаны с присасыванием клещей непосредственно в границах муниципалитета.

В Нижнеилимском районе при наличии регистрации КВЭ по месту жительства пространственный анализ не выявил случаев инфицирования в границах самого муниципалитета – заражение жителей происходило на территориях других районов. Противоположная ситуация отмечена в Катангском районе: по данным традиционного учета случаи нападения клещей среди местных жителей не фиксировали, однако пространственный анализ по месту нападения клеща выявил факты контакта с переносчиком на данной территории. Эти примеры наглядно демонстрируют способность разработанного метода выявлять скрытые зоны риска, не выявляемые при традиционном анализе.

Ограничения исследования. Необходимо отметить, что на текущем этапе предлагаемый подход не может полностью заменить традиционный пространственный анализ клещевых инфекций. Основным ограничением является неполнота записей в ЭИ, не позволявших провести геокодирование. Тем не менее объем собранной информации существенно превосходил размеры выборок, использованных в ранее опубликованных работах по этому направлению [3, 13, 15]. Существенным источником систематической ошибки могут быть ошибки припоминания: пациенты могли неточно указывать место контакта с переносчиком [15, 16].

Двухлетний период наблюдения (2023–2024 гг.), использованный в нашем исследовании, также ограничивал возможности анализа. Традиционные подходы пространственного анализа остаются незаменимыми для оценки долгосрочных трендов и межрегиональных сравнений, тогда как предлагаемый нами метод обеспечивал более точное выделение территорий риска.

Предложения по совершенствованию системы надзора. В настоящее время ЕИАС Роспотребнадзора обеспечивает централизованный сбор ЭИ из всех субъектов Российской Федерации. Внедрение в эту систему функции автоматического геокодирования позволит привязывать каждый случай заболевания к территории фактического инфицирования, независимо от того, в каком регионе был выявлен пациент.

Для реализации этой задачи в электронной форме ЭИ ЕИАС целесообразно закрепить обязательное стандартизированное поле «Предполагаемое место нападения клеща / инфицирования КВЭ» с возможностью указания географического места нападения клеща или инфицирования КВЭ (населенный пункт,

учебное заведение, садоводческое товарищество, лесной массив) в свободной форме.

При наличии точного адреса возможно автоматизированное получение координат на этапе ввода данных в случае использования интегрированного сервиса нормализации и автодополнения адресов (например, DaData).

При отсутствии точного адреса (например, описания «в лесу за деревней» или «на 5-м километре тракта») предлагается реализовать в ЕИАС централизованный модуль обработки таких текстовых данных. Используя технологии обработки естественного языка (в том числе большие языковые модели), он сможет автоматически извлекать географические указания и сопоставлять их с наиболее вероятными координатами по обученной модели на размеченных данных экстренных извещений.

Накопление геокодированных данных о местах экспозиции и их интеграция с ГИС-слоями средовых факторов (вегетационными индексами, рельефом, климатом, плотностью населения) создают основу для формирования более точных предиктивных моделей эпидемиологического риска, учитывающих фактические места контакта с переносчиком.

Однако для комплексной оценки и моделирования эпидемиологической ситуации недостаточно включать в анализ только данные ЭИ. Геокодированные точки нападения клеща и инфицирования КВЭ необходимо сопоставлять с результатами энтомологического мониторинга и лабораторной диагностики – результатами ПЦР-исследования клещей (флаговые учеты, определение зараженности), а также генетическим секвенированием для отслеживания филогеографии возбудителей [8, 9, 17]. Такое объединение эпидемиологических, экологических и лабораторных данных позволит проводить более объективное районирование территорий и целенаправленно планировать профилактические мероприятия.

Практическим результатом создания такой системы может стать открытый, постоянно обновляемый ГИС-сервис визуализации эпидемиологического риска клещевых инфекций, адаптированный для широкого круга пользователей. Доведение информации до населения о реальном риске инфицирования и мерах профилактики позволит повысить приверженность вакцинации и использованию средств индивидуальной защиты.

Таким образом, разработана технология пространственного анализа риска заражения клещевыми инфекциями, основанная на индивидуальных данных о месте контакта с клещами и месте регистрации случая присасывания клеща или заболевания пациента. Технология включает геокодирование, статистическую оценку репрезентативности выборки, ГИС-картографирование обработанных данных и позволяет повысить точность оценки риска заражения на уровне МО. Предлагаемый подход позволяет реализовать новые возможности отечественной

системы государственной регистрации случаев контакта с переносчиками клещевых инфекций.

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. Андаев Е.И., Никитин А.Я., Толмачёва М.И., Зарва И.Д., Сидорова Е.А., Бондарюк А.Н., Яценко Е.В., Севостьянова А.В., Лопатовская К.В., Бабаш В.А., Балахонов С.В. Эпидемиологическая ситуация по клещевому вирусному энцефалиту в Российской Федерации за 2015–2024 гг. и краткосрочный прогноз заболеваемости на 2025 г. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2025; (1):6–17. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-1-6-17.
2. Толмачёва М.И., Никитин А.Я., Андаев Е.И., Чумаченко И.Г. Динамика эпидемического процесса клещевого вирусного энцефалита на территории Иркутской области в 2001–2021 гг. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2023; (3):123–31. DOI: 10.21055/0370-1069-2023-3-123-131.
3. Dagostin F., Erazo D., Marini G., Da Re D., Tagliapietra V., Avdicova M., Avšič-Zupanc T., Dub T., Fiorito N., Knap N., Gossner C.M., Kerlik J., Mäkelä H., Markowicz M., Olyazadeh R., Richter L., Wint W., Zuccali M.G., Žygutienė M., Dellicour S., Rizzoli A. Predicting the spatio-temporal risk of human tick-borne encephalitis (TBE) in Europe by combining hazard and exposure drivers. *One Health*. 2026; 22:101331. DOI: 10.1016/j.onehlt.2026.101331.
4. Jore S., Viljugrein H., Hofshagen M., Brun-Hansen H., Kristoffersen A.B., Nygård K., Brun E., Ottesen P., Sævik B.K., Yttrup B. Multi-source analysis reveals latitudinal and altitudinal shifts in range of *Ixodes ricinus* at its northern distribution limit. *Parasit. Vectors*. 2011; 4:184. DOI: 10.1186/1756-3305-4-84.
5. Широкошуп С.В., Лукьяненко Н.В., Салдан И.П., Баланович Б.А. Роль нейросетевой эпидемиологического прогнозирования в системах социально-гигиенического мониторинга и эпидемиологического надзора за заболеваемостью клещевым энцефалитом и другими клещевыми природно-очаговыми инфекциями. *Санитарный врач*. 2019; (12):28–35. DOI: 10.33920/med-08-1912-03.
6. Коренберг Э.И. Биохорологическая структура вида (на примере таежного клеща). М.: Наука; 1979. 172 с.
7. Злобин В.И., Рудаков Н.В., Малов И.В. Клещевые трансмиссивные инфекции. Новосибирск: Наука; 2015. 224 с.
8. Вержуцкий Д.Б., Вержуцкая Ю.А. Предварительные результаты изучения пространственной организации населения таежного клеща *Ixodes persulcatus* по Байкальскому тракту (Южное Прибайкалье). *Байкальский зоологический журнал*. 2015; (16):71–4.
9. Вержуцкая Ю.А., Вержуцкий Д.Б., Андаев Е.И., Никитин А.Я. Динамика пространственного распределения таежного клеща *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Acarina, Ixodidae) в окрестностях Байкальского тракта (Иркутская область). *Паразитология*. 2022; 56(6):495–524. DOI: 10.31857/S0031184722060059.
10. Мельникова О.В., Вершинин Е.А., Корзун В.М., Андаев Е.И., Сидорова Е.А. Современное состояние очага клещевого энцефалита в окрестностях Иркутска. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2011; (4):27–30. DOI: 10.21055/0370-1069-2011-4(110)-27-30.
11. Daniel M., Kolář J., Zeman P. GIS tools for tick and tick-borne disease occurrence. *Parasitology*. 2004; 129(Suppl):S329-52. DOI: 10.1017/S0031182004006080.
12. Kelly P.H., Kwark R., Marick H.M., Davis J., Stark J.H., Madhava H., Dobler G., Moisi J.C. Different environmental factors predict the occurrence of tick-borne encephalitis virus (TBEV) and reveal new potential risk areas across Europe via geospatial models. *Int. J. Health Geogr.* 2025; 24(1):3. DOI: 10.1186/s12942-025-00388-9.
13. Zeman P. Objective assessment of risk maps of tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis based on spatial patterns of located cases. *Int. J. Epidemiol.* 1997; 26(5):1121–9. DOI: 10.1093/ije/26.5.1121.
14. Данчинова Г.А., Ляпунов А.В., Хаснатинов М.А., Туник Т.В., Чапоргина Е.А., Арбатская Е.В., Каверзина А.С., Петрова И.В., Савелькаева М.В., Горбунова Е.Л. «Завозные» случаи обращения с укусами иксодовых клещей и опасность инфицирования населения Прибайкалья неизвестными патогенами. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2011; (5):177–81.
15. Friedsam A.M., Brady O.J., Pilic A., Dobler G., Hellenbrand W., Nygren T.M. Geo-spatial characteristics of 567 places of tick-

borne encephalitis infection in southern Germany, 2018–2020. *Microorganisms*. 2022; 10(3):643. DOI: 10.3390/microorganisms10030643.

16. Coughlin S.S. Recall bias in epidemiologic studies. *J. Clin. Epidemiol.* 1990; 43(2):187–91. DOI: 10.1016/0895-4356(90)90060-3.

17. Kjær L.J., Johansson M., Lindgren P.E., Asghar N., Wilhelmsson P., Fredlund H., Christensson M., Wallenhammar A., Bødker R., Rasmussen G., Kjellander P. Potential drivers of human tick-borne encephalitis in the Örebro region of Sweden, 2010–2021. *Sci. Rep.* 2023; 13(1):7685. DOI: 10.1038/s41598-023-34675-x.

References

1. Andayev E.I., Nikitin A.Ya., Tolmacheva M.I., Zarva I.D., Sidorova E.A., Bondaryuk A.N., Yatsmenko E.V., Sevostyanova A.V., Lopatovskaya K.V., Babash V.A., Balakhonov S.V. [Epidemiological situation on tick-borne encephalitis in the Russian Federation in 2015–2024 and short-term forecast of the incidence for 2025]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2025; (1):6–17. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-1-6-17.
2. Tolmacheva M.I., Nikitin A.Ya., Andayev E.I., Chumachenko I.G. [Dynamics of the epidemic process of tick-borne viral encephalitis in the Irkutsk Region in 2001–2021]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2023; (3):123–31. DOI: 10.21055/0370-1069-2023-3-123-131.
3. Dagostin F., Erazo D., Marini G., Da Re D., Tagliapietra V., Avdicova M., Avšič-Zupanc T., Dub T., Fiorito N., Knap N., Gossner C.M., Kerlik J., Mäkelä H., Markowicz M., Olyazadeh R., Richter L., Wint W., Zuccali M.G., Žygutienė M., Dellicour S., Rizzoli A. Predicting the spatio-temporal risk of human tick-borne encephalitis (TBE) in Europe by combining hazard and exposure drivers. *One Health*. 2026; 22:101331. DOI: 10.1016/j.onehlt.2026.101331.
4. Jore S., Viljugrein H., Hofshagen M., Brun-Hansen H., Kristoffersen A.B., Nygård K., Brun E., Ottesen P., Sævik B.K., Yttrup B. Multi-source analysis reveals latitudinal and altitudinal shifts in range of *Ixodes ricinus* at its northern distribution limit. *Parasit. Vectors*. 2011; 4:184. DOI: 10.1186/1756-3305-4-84.
5. Shirokostup S.V., Lukyanenko N.V., Saldan I.P., Balandovich B.A. [The role of neural network epidemiological forecasting in systems of socio-hygienic monitoring and epidemiological surveillance of the incidence of tick-borne encephalitis and other tick-borne natural focal infections]. *Sanitarnyy Vrach [Sanitary Doctor]*. 2019; (12):28–35. DOI: 10.33920/med-08-1912-03.
6. Korenberg E.I. [Biochorological Structure of the Species (by the Example of Taiga Tick)]. Moscow: "Nauka"; 1979. 172 p.
7. Zlobin V.I., Rudakov N.V., Malov I.V. [Tick-Borne Transmissible Infections]. Novosibirsk: "Nauka"; 2015. 224 p.
8. Verzhutsky D.B., Verzhutskaya Yu.A. [Preliminary results of studying the spatial organization of the population of the taiga tick *Ixodes persulcatus* along the Baikal tract (Southern Baikal region)]. *Baykalsky Zoologichesky Zhurnal [Baikal Zoological Journal]*. 2015; (16):71–4.
9. Verzhutskaya Yu.A., Verzhutsky D.B., Andayev E.I., Nikitin A.Ya. [Dynamics of the spatial distribution of the taiga tick *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Acarina, Ixodidae) in the vicinity of the Baikal tract (Irkutsk Region)]. *Parazitologiya [Parasitology]*. 2022; 56(6):495–524. DOI: 10.31857/S0031184722060059.
10. Mel'nikova O.V., Vershinin E.A., Korzun V.M., Andayev E.I., Sidorova E.A. [Current state of the tick-borne encephalitis focus in the vicinity of Irkutsk]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2011; (4):27–30. DOI: 10.21055/0370-1069-2011-4(110)-27-30.
11. Daniel M., Kolář J., Zeman P. GIS tools for tick and tick-borne disease occurrence. *Parasitology*. 2004; 129(Suppl):S329-52. DOI: 10.1017/S0031182004006080.
12. Kelly P.H., Kwark R., Marick H.M., Davis J., Stark J.H., Madhava H., Dobler G., Moisi J.C. Different environmental factors predict the occurrence of tick-borne encephalitis virus (TBEV) and reveal new potential risk areas across Europe via geospatial models. *Int. J. Health Geogr.* 2025; 24(1):3. DOI: 10.1186/s12942-025-00388-9.
13. Zeman P. Objective assessment of risk maps of tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis based on spatial patterns of located cases. *Int. J. Epidemiol.* 1997; 26(5):1121–9. DOI: 10.1093/ije/26.5.1121.
14. Danchinova G.A., Lyapunov A.V., Khasnatinov M.A., Tunik T.V., Chaporgina E.A., Arbatskaya E.V., Kaverzina A.S., Petrova I.V., Savelkaeva M.V., Gorbunova E.L. ["Imported" cases of appeals with ixodid tick bites and the risk of infection of the Baikal region population with unknown pathogens]. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center SB RAMS*. 2011; (5):177–81.
15. Friedsam A.M., Brady O.J., Pilic A., Dobler G., Hellenbrand W., Nygren T.M. Geo-spatial characteristics of 567 places of tick-borne encephalitis infection in southern Germany, 2018–2020.

Microorganisms. 2022; 10(3):643. DOI: 10.3390/microorganisms10030643.

16. Coughlin S.S. Recall bias in epidemiologic studies. *J. Clin. Epidemiol.* 1990; 43(2):187–91. DOI: 10.1016/0895-4356-(90)90060-3.

17. Kjær L.J., Johansson M., Lindgren P.E., Asghar N., Wilhelmsson P., Fredlund H., Christensson M., Wallenhammar A., Bødker R., Rasmussen G., Kjellander P. Potential drivers of human tick-borne encephalitis in the Örebro region of Sweden, 2010–2021. *Sci. Rep.* 2023; 13(1):7685. DOI: 10.1038/s41598-023-34675-x.

Authors:

Zarva I.D. Irkutsk State Medical University. 1, Krasnogo Vosstaniya St., Irkutsk, 664003, Russian Federation; e-mail: rektorat@irkgm.ru. Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and the Far East. 78, Trilissera Street, Irkutsk, 664047, Russian Federation; e-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.

Ivaylovskaya Yu.I. Center of Hygiene and Epidemiology in the Irkutsk Region. 51, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russian Federation. E-mail: fguz@sesoirk.irkutsk.ru.

Botvinkin A.D. Irkutsk State Medical University. 1, Krasnogo Vosstaniya St., Irkutsk, 664003, Russian Federation. E-mail: rektorat@irkgm.ru.

Verzhutskaya Yu.A., Sidorova E.A., Nikitin A.Ya., Balakhonov S.V. Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and the Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russian Federation. E-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.

Об авторах:

Зарва И.Д. Иркутский государственный медицинский университет. Российская Федерация, 664003, Иркутск, ул. Красного Восстания, 1; e-mail: rektorat@irkgm.ru. Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока. Российская Федерация, 664047, Иркутск, ул. Трилиссера, 78; e-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.

Ивайловская Ю.И. Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области. Российская Федерация, 664047, Иркутск, ул. Трилиссера, 51. E-mail: fguz@sesoirk.irkutsk.ru.

Ботвинкин А.Д. Иркутский государственный медицинский университет. Российская Федерация, 664003, Иркутск, ул. Красного Восстания, 1. E-mail: rektorat@irkgm.ru.

Вержуцкая Ю.А., Сидорова Е.А., Никитин А.Я., Балахонов С.В. Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока. Российская Федерация, 664047, Иркутск, ул. Трилиссера, 78. E-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.