УДК 57.087.1: 616-036.22: 578.82/.83
DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.11

Читать онлайн

Научная статья

ОБОСНОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ И ПРОГНОЗА РИСКОВ НАСЕЛЕНИЯ ПОДВЕРГНУТЬСЯ АТАКАМ ИКСОДОВЫХ КЛЕЩЕЙ

В.А. Мищенко[1,2], И.А. Кшнясев[2], Ю.А. Давыдова[2], И.В. Вялых[1]

[1]Екатеринбургский научно-исследовательский институт вирусных инфекций Государственного научного центра вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора, Россия, 620030, г. Екатеринбург, ул. Летняя, 23
[2]Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН, Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Заболеваемость клещевым вирусным энцефалитом и другими клещевыми инфекциями коррелирует с обращаемостью населения в связи с укусами иксодовых клещей. Очевидно, что число зарегистрированных случаев присасывания клещей пропорционально хозяйственной и рекреационной активности населения на эндемичной территории и численности голодных клещей. В свою очередь, численность иксодовых клещей зависит от обилия основных прокормителей для питающихся кровью стадий иксодид, причём с некоторым лагом, обусловленным параметрами жизненного цикла: линькой на следующую стадию, диапауз и выраженной сезонностью в условиях континентального бореального климата.

Осуществлены анализ и синтез адекватной формализованной / параметризованной статистической модели для описания и прогноза рисков населения подвергнуться атакам иксодовых клещей.

Для описания динамики и прогноза количества пострадавших от укусов клещей на примере Свердловской области использовали ряд линейных (по параметрам) моделей логистической регрессии. Адекватность описания наблюдаемой динамики оценивали с помощью аппарата мультимодельного вывода. Многолетняя динамика количества пострадавших от укусов клещей в Свердловской области характеризуется наличием высокоамплитудного медленного длинноволнового колебания (деканного, с квазипериодом порядка 10 лет) и коротковолновой 2–3-летней цикличности. Первое – может являться отражением климатической ритмичности и тренда в социально-экономической ситуации, вторая – вероятно, обусловлена биотическими факторами.

С помощью модели логит-регрессии показано, что численность мелких млекопитающих как в предшествующем году, так и в начале текущего сезона активности иксодовых клещей может служить ценным предиктором риска для населения пострадать от укусов иксодовых клещей.

Прогнозные значения полученной статистической модели адекватно описывают исходный временной ряд шансов / вероятностей атак иксодовых клещей.

Ключевые слова: *иксодовые клещи, мелкие млекопитающие, пострадавшие от укусов клещей, передача патогена, динамика популяций, популяционные циклы, отношение шансов, временной ряд.*

Клещевой вирусный энцефалит (КВЭ) является эндемичным заболеванием в Центральной, Восточной и некоторых частях Северной Европы, а также в Северной и Центральной Азии, где ежегодно регистрируется 10–12 тыс. случаев [1].

Уральский федеральный округ (УФО) является высокоэндемичным по клещевому энцефалиту, при этом наибольшее количество пострадавших от укусов клещей и заболеваемость приходятся на Свердловскую и Курганскую области [2, 3]. Регистрируе-

© Мищенко В.А., Кшнясев И.А., Давыдова Ю.А., Вялых И.В., 2022

Мищенко Владимир Алексеевич – научный сотрудник лаборатории трансмиссивных вирусных инфекций и клещевого энцефалита, инженер-исследователь лаборатории эволюционной экологии (e-mail: mischenko_va@eniivi.ru, innamoramento23@yandex.ru; тел.: 8 (343) 261-99-47, 8 (965) 515-34-89; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4280-283X).

Кшнясев Иван Александрович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории популяционной экологии и моделирования (e-mail: kia@ipae.uran.ru; тел.: 8 (343) 210-38-58; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6281-7644).

Давыдова Юлия Алексеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экотоксикологии популяций и сообществ (e-mail: davydova@ipae.uran.ru; тел.: 8 (343) 210-38-58; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3721-629X).

Вялых Иван Владимирович – кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией трансмиссивных вирусных инфекций и клещевого энцефалита (e-mail: vialykh_iv@eniivi.ru; тел.: 8 (343) 261-99-47; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3123-8359).

мая заболеваемость КВЭ коррелирует с обращаемостью в связи с укусами клещей. Также для КВЭ характерны долгосрочные периодические изменения, наблюдаемые на протяжении многих десятилетий и связанные с такими факторами, как демография человеческой популяции, изменения в землепользовании и соответствующей плотности организмов (популяций) в условиях дикой природы, рекреационная деятельность людей. Необходимо отметить важное влияние изменений в климатической системе как возможной движущей силе для цикличности процессов, связанных с КВЭ [4].

В Западной Европе вирус клещевого энцефалита (ВКЭ) передается главным образом клещами *Ixodes ricinus*, тогда как переносчиком для сибирских и дальневосточных подтипов вируса является *I. persulcatus* [5]. Для иксодид характерно наличие нескольких стадий развития в жизненном цикле. Каждая стадия жизненного цикла клеща длится от нескольких месяцев до одного года, поэтому весь цикл обычно завершается за два или три года, хотя, в зависимости от географического положения и актов питания, может варьироваться от двух до шести лет. Стадийность развития иксодид непосредственно связана со сменой их основных хозяев – прокормителей для личинок и нимф, а также и (пусть, возможно, и в меньшей степени) для имаго – мелких млекопитающих (ММ) [6]. Выраженные резкие изменения плотности популяций мелких млекопитающих с амплитудой 2–3-го порядка и квазипериодом 3–5 лет, известны как пример так называемых популяционных циклов [7, 8]. Предполагается, что обилие мелких млекопитающих положительно сказывается (с некоторыми лагами) на численности генераций последовательных стадий (в основном личинок и нимф) иксодовых клещей (ИК). Через контур численности голодных и свободных ИК – не нашедших обычного прокормителя – существует прямая связь с рисками для населения пострадать от укусов клещей [9].

Цель исследования – анализ и синтез адекватной формализованной / параметризованной статистической модели для описания и прогноза рисков населения подвергнуться атакам иксодовых клещей.

Материалы и методы. Исходные данные (количество пострадавших от укусов клещей) в Свердловской области получены из формы федерального статистического наблюдения (ФФСН) № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях» (раздел 1) (за 2007–2021 гг.) и из материалов ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области» (за 1992–2006 гг.).

Учет ММ проводили на стационарных участках методом ловушко-линий с помощью ловушек-плашек и деревянных трапиковых живоловок [10] в весенний и осенний периоды с 1992 по 2021 г.

С целью количественной оценки влияния плотности ММ на обращаемость пострадавших в связи с укусами клещей рассчитывали шансы атак. Шансы (*odds*) – отношение числа пострадавших от укусов клещей (N_1) к населению Свердловской области, за исключением пострадавших (N_0).

От шансов возможно перейти к интуитивно понятной шкале вероятностей или рисков (1):

$$P(X) = \frac{\exp(LogOdds)}{1+\exp(LogOdds)} = \frac{Odds}{1+Odds}. \quad (1)$$

Использовали стандартный аппарат теории обобщенных линейных моделей (GLM)[1] – логит-регрессию (2):

$$Ln\left(\frac{N_1}{N_0}\right) = b_0 + \sum b_i X_i. \quad (2)$$

Оценивали эффекты следующих (экзогенных) предикторов (X_i): плотность ММ: весной и осенью предыдущего года (SMspr (t–1) и SMfall (t–1)) и весной текущего года (SMspr (t)). А для учёта явной нестационарности (тренда) временного ряда зависимой переменной – логарифма шансов атак ИК (Log odds ticks attacks – LOTA) использовали несколько (различной степени строгости или, наоборот, эвристичности) подходов:

1) включение в модель члена авторегрессии первого порядка: AR (1) X – где дополнительным предиктором служило наблюдаемое значение LOTA (t–1) в предыдущем году;

2) предварительное сглаживание (и последующее включение в модель как дополнительного предиктора) временного ряда LOTA с помощью локальной регрессии (*loess*); оптимальное значение параметра сглаживания (*span* = 0,427) установлено с помощью 10-кратной перекрестной проверки (cross-validation);

3) предварительная STL (Seasonal and Trend decomposition using Loess) – декомпозиция временного ряда LOTA, и выделение тренда с помощью сглаживания методом локальной регрессии.

Исходный временной ряд и варианты сглаживания представлены на рис. 1.

Отношения шансов (*OR*) и их доверительные интервалы (95 % ДИ) приведены после преобразования: $OR = \exp(b_i)$ или $OR^{-1} = 1/\exp(b_i)$, где b_i – параметры логит-регрессии (логарифмы отношения шансов). Отношения шансов для редких событий (частота < 10^{-1}) приближаются к значениям относительного риска, что упрощает интерпретацию.

Для сравнения и ранжирования моделей логит-регрессии использовали *информационный критерий Акаике* (*Akaike information criterion – AIC*), определяющий оптимальность как компромисс между

[1] McCullagh P., Nelder J.A. Generalized linear models. – London: Chapman and Hall, 1989. – 511 p.

Рис. 1. Динамика логарифма шансов атак иксодовых клещей и варианты сглаживания временного ряда для выделения тренда. Свердловская область, 1992–2021 гг.

точностью и сложностью модели. Наименьшей величине *AIC* соответствует и статистически более адекватная модель. Сравнение моделей выполнено на основе модификации исходного *AIC* – *состоятельного критерия Акаике (CAIC),* рассчитанного по формуле (3):

$$CAIC = -2LL + k\left[1 + \ln(m)\right], \qquad (3)$$

где *LL* – логарифм максимума функции правдоподобия, *k* – число параметров, *m* – число наблюдений. В данной модификации, в сравнении с *AIC*, назначает более жесткий «штраф» за дополнительные параметры[2].

«Вес» (относительное правдоподобие) каждой модели, рассчитанный по формуле (4), использовали для ранжирования и сравнения конкурирующих моделей:

$$w_i = \frac{\exp\left(-0,5\Delta CAIC_i\right)}{\sum \exp\left(-0,5\Delta CAIC_i\right)}. \qquad (4)$$

Представленный «вес» может быть интерпретирован как апостериорная вероятность того, что *i*-я модель является лучшей при исследованном множестве прочих моделей-претендентов. Если «вес» отличается менее чем на 10 % от $w_{\max}$, считали, что эти модели идентичны по качеству наилучшей [11].

Статистическая обработка результатов и их визуализация проведены с использованием пакета прикладных программ Statistica v. 10.0 (StatSoft, Inc) и статистической среды R (v. 3.4.4) [12].

Результаты и их обсуждение. Наблюдаемая многолетняя динамика шансов для населения пострадать от укусов ИК представляет собой очевидно нестационарный (ни по среднему, ни по амплитуде, ни по периоду) временной ряд (рис. 1), в котором можно выделить:

– тренд – долговременный дрейф средних значений, относительно медленные изменения во времени;

– квазипериодическую относительно быструю повторяющуюся компоненту;

– остатки – нерегулярный компонент ряда, относительно высокочастотный шум.

Тренд, вероятно, является «эхом»: 1) как длинного циркадианного погодного-климатического цикла, связанного с крупномасштабными феноменами (формированием и продолжительностью / устойчивостью форм атмосферной циркуляции и таких феноменов, как антициклоны, блокирующие западный перенос), вызывающими характерные многолетние колебания температуры воздуха и количества осадков в регионе [13, 14]; 2) так и особенностей социально-экономической ситуации в 90-е гг. XX в. в Российской Федерации и последующим её улучшением [15].

Квазитрехлетние циклы (*T* = 2–3 года) могут быть связаны и с параметрами жизненного цикла ИК, и с динамикой численности ММ [16], для которых характерны такие периоды [17]. Популяции ММ и ИК связаны – годы с высокой активностью клещей (оцениваемой здесь по числу пострадавших) следуют за годами с максимальной плотностью грызунов [18]. Личинки и нимфы питаются в основном на мелких млекопитающих, что приводит к естественной передаче ВКЭ.

Динамика логарифма шансов атак иксодовых клещей оптимально ($w \approx 1$, *CAIC* = 13005588) описывается моделью с трендом, полученным путем STL-декомпозиции. Модели авторегрессии и локального сглаживания значительно «проигрывают» вышеуказанной: $w \sim 0$, *CAIC* = 13009459 и $w \sim 0$, *CAIC* = 13072412 соответственно.

В оптимальную модель включено пять параметров: тренд, выделенный из временного ряда LOTA с помощью STL-декомпозиции (trend-STL); плотность ММ: весной текущего, весной предыдущего и осенью предыдущего годов; свободный член b_0 (таблица).

Включение в список предикторов модели логит-регрессии дополнительной компоненты – оценки тренда позволяет учесть, пусть и эвристически, нестационарность ряда и оценить интересующие нас эффекты (рис. 2, *а*).

Рост плотности ММ весной предыдущего года приведет к возрастанию ($p < 0,01$) шансов атак ИК (относительно населения Свердловской области) в 1,04 раза (больше на 3,53 %, рис. 2, *б*). Вероятно, за счет обилия прокормителей весной прошлого года в текущем году ожидается увеличение численности иксодид различных стадий (нимфы, имаго), вышедших из диапаузы.

[2] Akaike H. A new look at the statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1974. – Vol. 19. – P. 716–723.

Оценки параметров оптимальной модели для описания многолетней динамики логарифма шансов атак иксодовых клещей. Свердловская область, 1992–2021 гг. («лучшая» модель логит-регрессии: LR (4) = 99827; $p < 0{,}0001$; $R^2 = 0{,}66$)

Параметр	b	SE (b)	Z-Вальда	p-значение	Отношение шансов		
					OR	95 % ДИ	
b_0	1,10	0,02	47,72	< 0,0001	–	–	–
trend-STL	1,24	0,004	272,10	< 0,0001	3,45	3,42	3,48
SMspr (t–1)	0,03	0,001	41,04	< 0,0001	1,04	1,03	1,04
SMspr (t)	– 0,06	0,001	– 80,81	< 0,0001	$1{,}06^{-1}$	$1{,}057^{-1}$	$1{,}061^{-1}$
SMfall (t–1)	0,02	0,001	20,83	< 0,0001	1,02	1,017	1,021

П р и м е ч а н и е : b_0 – свободный член; OR – odds ratio – отношение шансов; *LR (df)* – тест отношения правдоподобий с количеством степеней свободы; *trend-STL* – тренд, выделенный из временного ряда LOTA с помощью STL-декомпозиции; плотность ММ – SM: *spr (t–1)* – весной прошлого года, *spr (t)* – весной текущего года, *fall (t–1)* – осенью прошлого года; -1 – $OR^{-1} = 1/\exp(b_i)$.

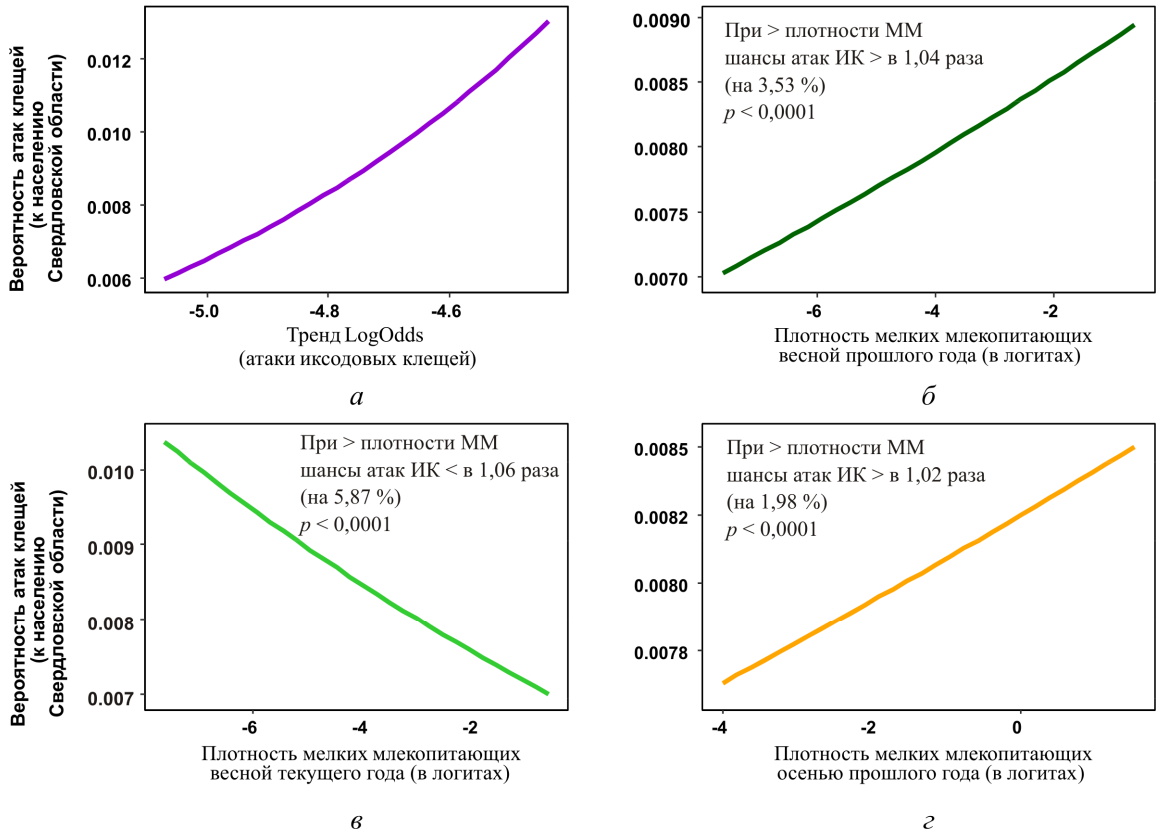

Рис. 2. Зависимость вероятности атак иксодовых клещей от плотности мелких млекопитающих: *а* – зависимость от логарифма шансов атак иксодовых клещей; зависимость от плотности мелких млекопитающих: *б* – весной прошлого года, *в* – весной текущего года; *г* – осенью прошлого года

Увеличение плотности ММ весной текущего года приведет к статистически значимому снижению шансов атак ИК в 1,06 раза (меньше на 5,87 %, рис. 2, *в*). Таким образом, популяции ММ в фазе роста, являются «перехватчиками» нимф и имаго ИК – достаточное количество прокормителей способствует меньшей вероятности атак на крупных млекопитающих и людей.

Увеличение плотности ММ осенью предшествующего года приведет к статистически значимому росту шансов атак ИК в 1,02 раза (больше на 1,98 %, рис. 2, *г*). Состояние популяций ММ в осенний сезон является проекцией весенне-летней плотности (численности). Следовательно, в текущий клещевой сезон стоит ожидать увеличения количества перезимовавших иксодид различных стадий, что способствует росту вероятности атак населения.

На рис. 3 показаны наблюдаемые и ожидаемые (предсказанные) моделью риски (вероятности) атак ИК для населения Свердловской области.

Из рис. 3 видно, что прогнозируемые моделью значения адекватно соответствуют исходному временному ряду: как тренд, так и периодическая составляющая сходны как для наблюдаемых, так и для ожидаемых значений, полученных из статистической модели (сильная прямая связь: коэффициент

Рис. 3. Наблюдаемые и ожидаемые значения вероятности атак иксодовых клещей для населения Свердловской области, 1992–2021 гг.

корреляции Спирмена – $r_S = 0{,}70$; $p < 0{,}0001$). Коэффициент детерминации достаточно высок: $R^2 = 0{,}66$, следовательно, модель в состоянии объяснить 66 % дисперсии динамики логарифма риска (или вероятности) атак ИК. Ожидается, что включение в модель дополнительных предикторов, связанных с динамикой популяций ИК и прокормителей, климатическими изменениями и социально-экономическими факторами, может улучшить предсказательную способность модели.

Выводы:

1. Многолетнюю динамику числа пострадавших от укусов клещей можно адекватно описать с помощью модели нестационарного временного ряда, который содержит компоненту тренда и квазипериодическую составляющую.

2. С помощью модели логит-регрессии показано, что численность мелких млекопитающих в предшествующем году и начале текущего эпидсезона активности ИК может служить упреждающим предиктором риска для населения пострадать от укусов иксодовых клещей: высокая плотность мелких млекопитающих в весенний период данного клещевого сезона приводит к выявленному эффекту «перехвата» и количественно оцененному снижению вероятности населения пострадать от укусов клещей. Однако если плотность мелких млекопитающих была высокой в весенний и осенний сезоны года, предшествующего текущему клещевому сезону, то следует ожидать увеличения количества перелинявших и перезимовавших иксодид различных стадий (нимфы, имаго) и роста риска для населения подвергнуться атакам клещей.

3. Прогнозные значения полученной статистической модели адекватно описывают исходный временной ряд шансов / вероятностей атак иксодовых клещей. Включение дополнительных параметров возможно улучшит прогнозные свойства модели.

Финансирование. Исследование проводилось в рамках НИР «Комплексный анализ популяционного иммунитета к вирусу клещевого энцефалита в субъектах Уральского федерального округа» (№ регистрации: 121040500096-4).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. A short history of TBE. Chapter 1 / O. Kahl, V.V. Pogodina, T. Poponnikova, J. Süss, V.I. Zlobin // The TBE Book, 3rd ed. / ed. by G. Dobler, W. Erber, M. Bröker, H-J. Schmitt. – Singapore: Global Health Press, 2020. – P. 10–15. DOI: 10.33442.26613980_TBE-3
2. Злобин В.И. Эпидемиологический мониторинг и профилактика иксодовых клещевых инфекций в условиях сочетанных природных и антропургических очагов // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2008. – Т. 39, № 2. – С. 10–14.
3. Современная эпидемиологическая ситуация по клещевому вирусному энцефалиту в Челябинской области / С.В. Лучинина, О.Н. Степанова, В.В. Погодина, Е.А. Стенько, Г.Г. Чиркова, С.Г. Герасимов, Л.И. Колесникова // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2014. – Т. 75, № 2. – С. 32–37.
4. Tick-borne encephalitis (TBE) cases are not random: explaining trend, low- and high-frequency oscillations based on the Austrian TBE time series / F. Rubel, M. Walter, J.R. Vogelgesang, K. Brugger // BMC Infectious Diseases. – 2020. – Vol. 20, № 448. – P. 1–12. DOI: 10.1186/s12879-020-05156-7
5. Gritsun T.S., Nuttall P.A., Gould E.A. Tick-Borne Flaviviruses // Advances in Virus Research, Academic Press / ed. by T.J. Chambers, T.P. Monath. – 2003. – Vol. 61. – P. 317–371. DOI: 10.1016/S0065-3527(03)61008-0
6. Tick-Borne Encephalitis Virus: Seasonal and Annual Variation of Epidemiological Parameters Related to Nymph-to-Larva Transmission and Exposure of Small Mammals / L. Bournez, G. Umhang, M. Moinet, C. Richomme, J.-M. Demerson, C. Caillot, E. Devillers, J.-M. Boucher [et al.] // Pathogens. – 2020. – Vol. 9, № 7. – P. 518. DOI: 10.3390/pathogens9070518
7. Кшнясев И.А., Давыдова Ю.А. Динамика плотности и структуры популяций лесных полевок в южной тайге // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология. – 2005. – № 1. – С. 113–123.
8. Population oscillations of boreal rodents: regulation by mustelid predators leads to chaos / I. Hanski, P. Turchin, E. Korpimaki, H. Henttonen // Nature. – 1993. – № 364. – P. 232–235. DOI: 10.1038/364232a0
9. Tick-borne disease risk in a forest food web / R.S. Ostfeld, T. Levi, F. Keesing, K. Oggenfuss, C.D. Canham // Ecology. – 2018. – Vol. 99, № 7. – P. 1562–1573. DOI: 10.1002/ecy.2386
10. Кшнясев И.А., Давыдова Ю.А. Популяционные циклы и синдром Читти // Экология. – 2021. – Т. 52, № 1. – С. 51–57. DOI: 10.31857/S036705972101008X
11. Burnham K.P., Anderson D.R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. – N.Y.: Springer-Verlag, 2002. – 496 p.

12. R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing [Электронный ресурс]. – Vienna, Austria, 2018. – URL: https://www.R-project.org (дата обращения: 01.08.2022).

13. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe / J.S. Gray, H. Dautel, A. Estrada-Peña, O. Kahl, E. Lindgren // Interdisciplinary Perspectives on Infectious Disease. – 2009. – Vol. 2009. – P. 1–12. DOI: 10.1155/2009/593232

14. Increased relative risk of tick-borne encephalitis in warmer weather / M. Daniel, V. Danielová, A. Fialová, M. Malý, B. Kříž, P.A. Nuttall // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. – 2007. – Vol. 8. – P. 90. DOI: 10.3389/fcimb.2018.00090

15. Клещевой вирусный энцефалит в Российской Федерации: особенности эпидемического процесса в период устойчивого спада заболеваемости, эпидемиологическая ситуация в 2016 г., прогноз на 2017 г. / А.К. Носков, А.Я. Никитин, Е.И. Андаев, Н.Д. Пакскина, Е.В. Яцменко, Е.В. Веригина, Т.И. Иннокентьева, С.В. Балахонов // Проблемы особо опасных инфекций. – 2017. – № 1. – С. 37–43. DOI: 10.21055/0370-1069-2017-1-37-43

16. Rubel F., Brugger K. Tick-borne encephalitis incidence forecasts for Austria, Germany, and Switzerland // Ticks and Tick-borne Diseases. – 2020. – Vol. 11, № 5. – P. 101437. DOI: 10.1016/j.ttbdis.2020.101437

17. Beechnuts and outbreaks of Nephropathia epidemica (NE): of mast, mice and men / J. Clement, P. Maes, C. van Ypersele de Strihou, G. van der Groen, J.M. Barrios, W.W. Verstraeten, M. van Ranst // Nephrology Dialysis Transplantation. – 2010. – Vol. 25, iss. 6. – P. 1740–1746. DOI: 10.1093/ndt/gfq122

18. Balashov Y.S. Demography and population models of ticks of the genus Ixodes with long-term life cycles // Entomological Review. – 2012. – Vol. 92, № 9. – P. 1006–1011. DOI: 10.1134/S0013873812090072

Обоснование статистической модели для описания и прогноза рисков населения подвергнуться атакам иксодовых клещей / В.А. Мищенко, И.А. Кшнясев, Ю.А. Давыдова, И.В. Вялых // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 3. – С. 119–125. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.11

UDC 57.087.1: 616-036.22:578.82/.83
DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.11.eng

Read online

Research article

SUBSTANTIATION OF STATISTICAL MODEL TO DESCRIBE AND PREDICT RISKS OF TICK BITES FOR POPULATION

V.A. Mishchenko[1,2], I.A. Kshnyasev[2], Yu.A. Davydova[2], I.V. Vyalykh[1]

[1]Yekaterinburg Research Institute of Viral Infections, State Research Center of Virology and Biotechnology "Vector", Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, 23 Letnyaya Str., Ekaterinburg, 620030, Russian Federation
[2]Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 202 8 Marta Str., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation

Incidence of tick-borne encephalitis and other tick-borne infections correlates with a number of people applying for medical aid due to tick bites. Obviously, the number of registered tick bites is proportionate to people's economic and recreational activities on an endemic territory and the quantity of hungry ticks. In its turn, the quantity of ticks depends on abundance of main hosts for blood-feeding stages but with a certain time lag caused by their life cycle parameters such as molting to the next stage, diapauses, and apparent seasonality in a continental boreal climate zone.

Our research goal was to analyze and synthesize an adequate formalized/parameterized statistical model to describe and predict risks of tick bites for population.

© Mishchenko V.A., Kshnyasev I.A., Davydova Yu.A., Vyalykh I.V., 2022

Vladimir A. Mishchenko – Researcher at the Laboratory of Vector-Borne Viral Infections and Tick-Borne Encephalitis, Research Engineer at the Laboratory of Evolutionary Ecology (e-mail: mischenko_va@eniivi.ru; innamoramento23@yandex.ru; tel.: +7 (343) 261-99-47, +7 (965) 515-34-89; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4280-283X).

Ivan A. Kshnyasev – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Population Ecology and Modeling (e-mail: kia@ipae.uran.ru; tel.: +7 (343) 210-38-58; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6281-7644).

Yulia A. Davydova – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Population and Community Ecotoxicology (e-mail: davydova@ipae.uran.ru; tel.: +7 (343) 210-38-58; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3721-629X).

Ivan V. Vyalykh – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Vector-Borne Viral Infections and Tick-Borne Encephalitis (e-mail: vialykh_iv@eniivi.ru; tel.: +7 (343) 261-99-47; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3123-8359).

To describe dynamics and to predict a number of people bitten by ticks exemplified by the Sverdlovsk region, we used several linear (by parameters) logistic regression models. We applied a multimodel inference framework to assess whether the observed dynamics was described adequately. Long-tern dynamics of the number of people bitten by ticks in the Sverdlovsk region is characterized with an occurring high-amplitude slow long-wave oscillation (circadecadal one, with a quasi-period being approximately 10 years) and a short-wave 2–3-year cyclicity. The former may be associated with climatic rhythm and socioeconomic trends; the latter may be caused by biotic factors.

By using the logit-regression model, we showed that the number of small mammals, both in the previous year and at the beginning of the current tick activity season can be a valuable predictor of a risk for population to be bitten by ticks.

Predictive values of the created statistical model adequately describe an initial time series of chances / probabilities of tick bites.

Keywords: *ticks, small mammals, affected by tick bites, pathogen transmission, population dynamics, population cycles, odds ratio, time series.*

References

1. Kahl O., Pogodina V.V., Poponnikova T., Süss J., Zlobin V.I. A short history of TBE. Chapter 1. *The TBE Boom*, 3rd ed. In: G. Dobler, W. Erber, M. Bröker, H.-J. Schmitt eds. Singapore, Global Health Press, 2020, pp. 10–15. DOI: 10.33442.26613980_TBE-3
2. Zlobin V.I. Epidemiologicheskii monitoring i profilaktika iksodovykh kleshchevykh infektsii v usloviyakh sochetannykh prirodnykh i antropurgicheskikh ochagov [Epidemiological monitoring and prevention of tick-borne cases in conditions of combined natural and anthropurgic foci]. *Epidemiologiya i vaktsinoprofilaktika*, 2008, vol. 39, no. 2, pp. 10–14 (in Russian).
3. Luchinina S.V., Stepanova O.N., Pogodina V.V., Sten'ko E.A., Chirkova G.G., Gerasimov S.G., Kolesnikova L.I. Sovremennaya epidemiologicheskaya situatsiya po kleshchevomu virusnomu entsefalitu v Chelyabinskoi oblasti [Modern epidemiological situation of tick-borne encephalitis in Chelyabinsk region, Russia]. *Epidemiologiya i vaktsinoprofilaktika*, 2014, vol. 75, no. 2, pp. 32–37 (in Russian).
4. Rubel F., Walter M., Vogelgesang J.R., Brugger K. Tick-borne encephalitis (TBE) cases are not random: explaining trend, low- and high-frequency oscillations based on the Austrian TBE time series. *BMC Infectious Diseases*, 2020, vol. 20, no. 448, pp. 1–12. DOI: 10.1186/s12879-020-05156-7
5. Gritsun T.S., Nuttall P.A., Gould E.A. Tick-Borne Flaviviruses. In: T.J. Chambers, T.P. Monath eds. *Advances in Virus Research, Academic Press*, 2003, vol. 61, pp. 317–371. DOI: 10.1016/S0065-3527(03)61008-0
6. Bournez L., Umhang G., Moinet M., Richomme C., Demerson J.-M., Caillot C., Devillers E., Boucher J.-M., Hansmann Y., Boué F., Moutailler S. Tick-Borne Encephalitis Virus: Seasonal and Annual Variation of Epidemiological Parameters Related to Nymph-to-Larva Transmission and Exposure of Small Mammals. *Pathogens*, 2020, vol. 9, no. 7, pp. 518. DOI: 10.3390/pathogens9070518
7. Kshnyasev I.A., Davydova Y.A. Dinamika plotnosti i struktury populyatsii lesnykh polevok v yuzhnoi taige [Dynamics of density and structure of forest vole populations in the southern taiga]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Seriya: Biologiya*, 2005, no. 1, pp. 113–123 (in Russian).
8. Hanski I., Turchin P., Korpimaki E., Henttonen H. Population oscillations of boreal rodents: regulation by mustelid predators leads to chaos. *Nature*, 1993, no. 364, pp. 232–235. DOI: 10.1038/364232a0
9. Ostfeld R.S., Levi T., Keesing F., Oggenfuss K., Canham C.D. Tick-borne disease risk in a forest food web. *Ecology*, 2018, vol. 99, no. 7, pp. 1562–1573. DOI: 10.1002/ecy.2386
10. Kshnyasev I.A., Davydova Y.A. Population cycles and the Chitty syndrome. *Russian Journal of Ecology*, 2021, vol. 52, no. 1, pp. 70–75. DOI: 10.1134/S1067413621010082
11. Burnham K.P., Anderson D.R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. N.Y., Springer-Verlag, 2002, 496 p.
12. R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, The R Foundation for Statistical Computing, 2020. Available at: https://www.R-project.org (01.08.2022).
13. Gray J.S., Dautel H., Estrada-Peña A., Kahl O., Lindgren E. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Disease*, 2009, vol. 2009, pp. 1–12. DOI: 10.1155/2009/593232
14. Daniel M., Danielová V., Fialová A., Malý M., Kříž B., Nuttall P.A. Increased relative risk of tick-borne encephalitis in warmer weather. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2007, vol. 8, pp. 90. DOI: 10.3389/fcimb.2018.00090
15. Noskov A.K., Nikitin A.Y., Andaev E.I., Pakskina N.D., Yatsmenko E.V., Verigina E.V., Innokent'eva T.I., Balakhonov S.V. Kleshchevoi virusnyi entsefalit v Rossiiskoi Federatsii: osobennosti epidemicheskogo protsessa v period ustoichivogo spada zabolevaemosti, epidemiologicheskaya situatsiya v 2016 g., prognoz na 2017 g. [Tick-borne virus encephalitis in the Russian Federation: features of epidemic process in steady morbidity decrease period. Epidemiological condition in 2016 and the forecast for 2017]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2017, no. 1, pp. 37–43. DOI: 10.21055/0370-1069-2017-1-37-43 (in Russian).
16. Rubel F., Brugger K. Tick-borne encephalitis incidence forecasts for Austria, Germany, and Switzerland. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 2020, vol. 11, no. 5, pp. 101437. DOI: 10.1016/j.ttbdis.2020.101437
17. Clement J., Maes P., van Ypersele de Strihou C., van der Groen G., Barrios J.M., Verstraeten W.W., van Ranst M. Beechnuts and outbreaks of Nephropathia epidemica (NE): of mast, mice and men. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 2010, vol. 25, iss. 6, pp. 1740–1746. DOI: 10.1093/ndt/gfq122
18. Balashov Y.S. Demography and population models of ticks of the genus Ixodes with long-term life cycles. *Entomological Review*, 2012, vol. 92, no. 9, pp. 1006–1011. DOI: 10.1134/S0013873812090072

Mishchenko V.A., Kshnyasev I.A., Davydova Yu.A., Vyalykh I.V. Substantiation of statistical model to describe and predict risks of tick bites for population. Health Risk Analysis, 2022, no. 3, pp. 119–125. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.11.eng

Получена: 31.08.2022
Одобрена: 09.09.2022
Принята к публикации: 25.09.2022