



Прогнозирование заболеваемости иксодовым клещевым боррелиозом с использованием методов математического моделирования (на примере Кировской области)

Утенкова Е.О.[✉], Княжев И.С., Щур Н.С.

Кировский государственный медицинский университет, Киров, Россия

Аннотация

Введение. Кировская область — эндемичный регион по иксодовому клещевому боррелиозу (ИКБ), что обусловлено климатическими условиями, обилием клещей и их прокормителей. Экономический ущерб от ИКБ включает затраты на лечение больных и ликвидацию природных очагов. Прогнозирование заболеваемости необходимо для планирования профилактических мероприятий (акарицидных обработок, информационно-разъяснительной работы с населением) и энтомологического мониторинга. Эффективность таких мер превышает вышеуказанные затраты, что подчёркивает актуальность исследования.

Цель исследования — изучение влияния различных факторов на заболеваемость ИКБ с использованием методов математического моделирования для дальнейшего эпидемиологического прогнозирования на примере Кировской области.

Материалы и методы. Изучены данные государственных докладов «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Кировской области» за 2006–2023 гг. по заболеваемости ИКБ, первому и последнему зарегистрированным случаям присасывания клеща к человеку и объёму акарицидных работ. Гидрометеорологические данные: среднемесячные и среднегодовые значения температуры воздуха, влажности воздуха и объёма осадков. Проводили корреляционный анализ по Спирмену и множественный регрессионный анализ, в качестве критерия статистической значимости был выбран уровень $p < 0,05$.

Результаты. Интервальный прогноз заболеваемости: к 2024 г. — до 18,67 на 100 тыс. населения, к 2025 г. — 16,51, к 2026 г. — 14,36. Выявлены корреляции между климатическими факторами и заболеваемостью ИКБ, отрицательная достоверная корреляционная связь умеренной тесноты между заболеваемостью ИКБ в Кировской области и объёмом акарицидных работ. Разработаны две модели прогнозирования: на основе сроков первого и последнего зарегистрированных случаев присасывания клещей; на основе гидрометеорологических факторов и объёма акарицидных работ.

Заключение. Заболеваемость ИКБ в Кировской области характеризуется тенденцией к снижению. Предложены математические модели для прогнозирования заболеваемости ИКБ в Кировской области.

Ключевые слова: иксодовый клещевой боррелиоз, заболеваемость, математическая модель, абиотические факторы, биотические факторы, антропогенные факторы

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Утенкова Е.О., Княжев И.С., Щур Н.С. Прогнозирование заболеваемости иксодовым клещевым боррелиозом с использованием методов математического моделирования (на примере Кировской области). *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2025;102(2):179–189.

DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-647>

EDN: <https://www.elibrary.ru/NWVFFR>

Prediction of the incidence of lyme disease using mathematical modeling methods (using the example of the Kirov region)

Elena O. Utenkova[✉], Ilya S. Knyazhev, Nikolay S. Shchur

Kirov State Medical University, Kirov, Russia

Annotation

Introduction. The Kirov region is an endemic region for Lyme disease (ixodic tick-borne borreliosis), which is caused by climatic conditions, an abundance of ticks and their feeders. The economic damage caused by Lyme disease includes the cost of treating patients and eliminating natural foci. Morbidity forecasting is necessary for planning preventive measures (acaricide treatments, awareness-raising activities with the population) and entomological monitoring. The effectiveness of such measures exceeds the above costs, which underlines the relevance of the study.

The **aim** of the study is to analyze the influence of various factors on the incidence of Lyme disease using mathematical modeling methods for further epidemiological forecasting using the example of the Kirov region.

Materials and methods. The data of the state reports «On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Kirov region» for 2006–2023 on the incidence of Lyme disease, the first and last reported cases of tick attachment to humans and the volume of acaricide treatments were studied. Hydrometeorological data: monthly and annual averages of air temperature, humidity, and precipitation. Spearman correlation analysis and multiple regression analysis were performed using the «Excel MS Office-2021» and «Statistica Advanced 12 for Windows RU» software. The level of $p < 0.05$ was chosen as a criterion of statistical significance.

Results. The interval forecast of incidence is up to 18.67 by 2024, 16.51 by 2025, and 14.36 per 100,000 population by 2026. Correlations between climatic factors and morbidity have been identified. A negative reliable correlation of moderate density was revealed between the incidence of Lyme disease in the Kirov region and the volume of acaricide treatments. Two forecasting models have been developed: based on the timing of the first and last reported cases of tick bites; based on hydrometeorological factors and the volume of acaricide treatment.

Conclusion. The incidence of Lyme disease in the Kirov region is characterized by a downward trend. Mathematical models for predicting morbidity in the Kirov region are proposed.

Keywords: *Lyme disease, morbidity, mathematical model, abiotic factors, biotic factors, anthropogenic factors*

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Utenkova E.O., Knyazhev I.S., Shchur N.S. Prediction of the incidence of lyme disease using mathematical modeling methods (using the example of the Kirov region). *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology*. 2025;102(2):179–189.

DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-647>

EDN: <https://www.elibrary.ru/NWVFFR>

Введение

Иксодовый клещевой боррелиоз (ИКБ) — природно-очаговое зоонозное заболевание с трансмиссивным механизмом передачи, вызываемое бактериями рода *Borrelia* семейства *Spirochaetaceae*, передающимися клещами рода *Ixodes*. В эпидемиологическом аспекте значение имеют клещи *I. persulcatus* и *I. ricinus*, не исключается роль иных видов [1–3]. Кировская область расположена на севере Приволжского федерального округа и характеризуется наиболее высоким уровнем заболеваемости ИКБ не только в округе, но и в России [4]. Большая часть территории исследуемого субъекта располагается в зоне средней и южной тайги, которая характеризуется благоприятными условиями для жизнедеятельности клещей — переносчиков боррелий и их прокормителей [5]. Природно-очаговые инфекции, к числу которых относится ИКБ, являются климатозависимыми, поскольку вариация погодных условий не только влияет на среду обитания клещей, расширяя их ареал, но и оказывает воздействие на их жизнедеятельность. Высокая среднегодовая температура, тёплые межсезонья, обилие атмосферных осадков, повышенная влажность воздуха и почвы, возросшая интенсивность солнечной радиации способствуют выживаемости,

ранней активизации, размножению, продлению периода активности клещей [6–9]. Анализ влияния абиотических, биотических и антропогенных факторов на клещевую популяцию играет ключевую роль для эпидемиологического надзора, т. к. позволяет прогнозировать активность и распространение клещей, оптимизировать профилактические мероприятия и снижать риски массового заражения населения [4, 10–16]. Принимая во внимание вышеперечисленные факты, становится понятным, что клещевые инфекции являются серьёзной угрозой как для здоровья населения, так и для экономики региона. Высокая интенсивность эпидемического процесса ИКБ может привести к значительным финансовым потерям из-за расходов на оказание медицинской помощи, увеличению сроков временной нетрудоспособности, отдалённым осложнениям и снижению эффективности производственного сектора [17–19].

Всё вышеперечисленное делает актуальным прогнозирование уровня заболеваемости ИКБ. Предсказание очередного подъёма заболеваемости ИКБ позволит своевременно произвести комплекс предупредительных мероприятий: акарицидные обработки территорий и информирование населения о мерах защиты. Экономическая выгода и эффек-

тивность таких мероприятий значительно превышает затраты на ликвидацию природных очагов и лечение больных [10, 14–16, 20].

Цель исследования — изучение влияния различных факторов на заболеваемость ИКБ с использованием методов математического моделирования для дальнейшего прогнозирования заболеваемости ИКБ на примере Кировской области.

Материалы и методы

Для ретроспективного анализа заболеваемости ИКБ в Кировской области использовали данные государственных докладов Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Кировской области «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Кировской области» за 2006–2023 гг. по показателям: заболеваемость ИКБ (на 100 тыс. населения) в Кировской области, первый зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку (февраль, март и апрель) с 2006 по 2023 г., последний зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку (сентябрь, октябрь и ноябрь) с 2006 по 2023 г. и объём акарицидных работ (га).

В качестве гидрометеорологических данных были использованы данные архива погоды аэропорта Победилово по месяцам (январь–декабрь) за 2006–2023 гг.: среднемесячные и среднегодовые значения температуры воздуха (°C), влажности воздуха (%) и объёма осадков (мм) за 2006–2023 гг. Результаты обрабатывали с применением методов математической статистики с использованием стандартных пакетов программного обеспечения «Excel MS Office-2021» и «Statistica Advanced 12 for Windows RU». Для установления связей между изучаемыми величинами применяли корреляцион-

ный анализ по Спирмену. Для оценки возможности прогнозирования использовали множественный регрессионный анализ. В качестве критерия статистической значимости был выбран уровень $p < 0,05$, что соответствует 5% вероятности ошибки первого рода.

Результаты

В 2006–2023 гг. эпидемический процесс в Кировской области характеризовался тенденцией к снижению заболеваемости ИКБ (**рис. 1**). Так, наблюдается снижение заболеваемости ИКБ в Кировской области — ежегодно в среднем на 2,2 на 100 тыс. населения ($R^2 = 0,660$).

Показатели динамического ряда заболеваемости ИКБ (на 100 тыс. населения) в Кировской области отражены в **табл. 1**.

Проведено прогнозирование заболеваемости ИКБ в Кировской области до 2026 г. С вероятностью ошибки 5% можно утверждать, что уровень заболеваемости ИКБ в среднем на 2024 г. составит до 18,67 на 100 тыс. населения, на 2025 г. — до 16,51, на 2026 г. — до 14,36 (**рис. 2**).

Для изучения влияния сроков начала и окончания эпидемического сезона (периода активной жизнедеятельности клещей — переносчиков боррелий) на заболеваемость ИКБ в Кировской области построена модель множественной линейной регрессии, где переменной выступал: y_i — заболеваемость ИКБ в Кировской области на 100 тыс. населения. Факторы: x — временной фактор (период с 2006 по 2023 г.), первый зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку (февраль, март и апрель) с 2006 по 2023 г., последний зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку (сентябрь, октябрь и ноябрь) с 2006 по 2023 г. Поскольку в модели использовались качественные признаки,

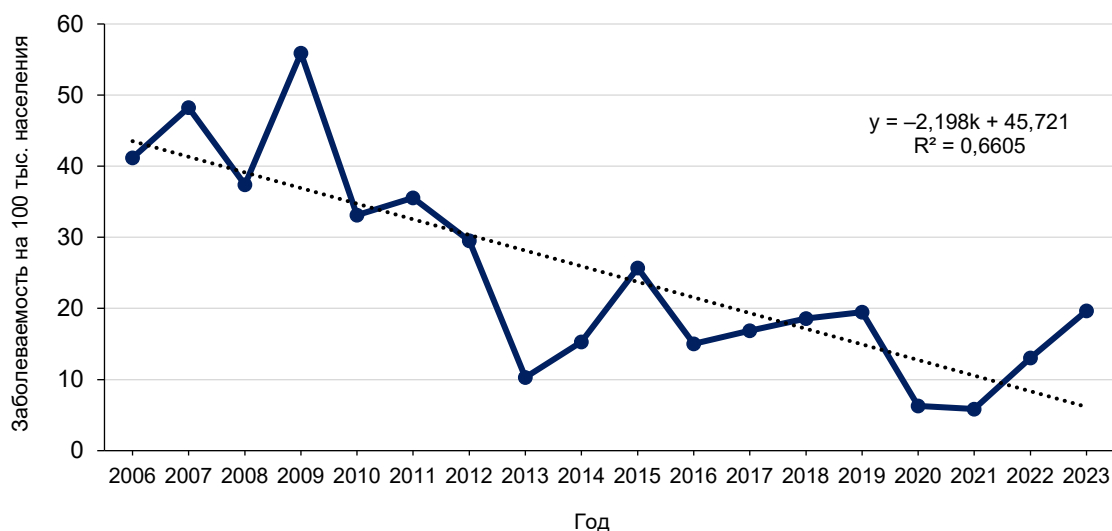


Рис. 1. Динамика заболеваемости ИКБ в Кировской области в 2006–2023 гг.

Таблица 1. Показатели динамического ряда заболеваемости ИКБ (на 100 тыс. населения) в Кировской области

Год	Зарегистрированная заболеваемость ИКБ (на 100 тыс. населения) в Кировской области	Абсолютный прирост	Темп прироста, %	Значение 1% прироста	Темп роста, %
2006	41,19	–	–	–	–
2007	48,24	7,1	17,1	41,19	117,1
2008	37,42	–10,8	–22,4	48,24	77,6
2009	55,9	18,5	49,4	37,42	149,4
2010	33,11	–22,8	–40,8	55,90	59,2
2011	35,57	2,5	7,4	33,11	107,4
2012	29,52	–6,1	–17,0	35,57	83,0
2013	10,3	–19,2	–65,1	29,52	34,9
2014	15,31	5,0	48,6	10,30	148,6
2015	25,71	10,4	67,9	15,31	167,9
2016	15,03	–10,7	–41,5	25,71	58,5
2017	16,88	1,9	12,3	15,03	112,3
2018	18,58	1,7	10,1	16,88	110,1
2019	19,48	0,9	4,8	18,58	104,8
2020	6,29	–13,2	–67,7	19,48	32,3
2021	5,86	–0,4	–6,8	6,29	93,2
2022	13,04	7,2	122,5	5,86	222,5
2023	19,68	6,6	50,9	13,04	150,9
2023/2006	–	–21,5	–52,2	41,19	47,8

вводили фиктивные переменные: z_1 (1 — при значении фактора март, 0 — при остальных значениях фактора); z_2 (1 — при значении фактора апрель, 0 — при остальных значениях фактора); h_1 (1 — при значении фактора сентябрь, 0 — при остальных значениях фактора); h_2 (1 — при значении фактора октябрь, 0 — при остальных значениях фактора). Математическая модель: $y_t = 4433,314 - 2,190x + 9,614z_1 + 4,629z_2 - 19,565h_1 - 3,617h_2$ (табл. 2). Коэффициент детерминации равен $R^2 = 0,718$. Это означает, что уровень заболеваемости ИКБ на 71,8%

определяется факторами x, z_1, z_2, h_1, h_2 и на 28,2% — неучтёнными факторами. Коэффициент Фишера $< 0,05$, на уровне 5% модель признается значимой. На уровне 5% фактор x значим. Можно говорить о том, что с каждым годом заболеваемость ИКБ в Кировской области снижается в среднем на 2,19 на 100 тыс. населения. Поскольку в модели использовались качественные признаки: первый зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку (февраль, март и апрель) с 2006 по 2023 г., последний зарегистрированный случай присасывания клеща

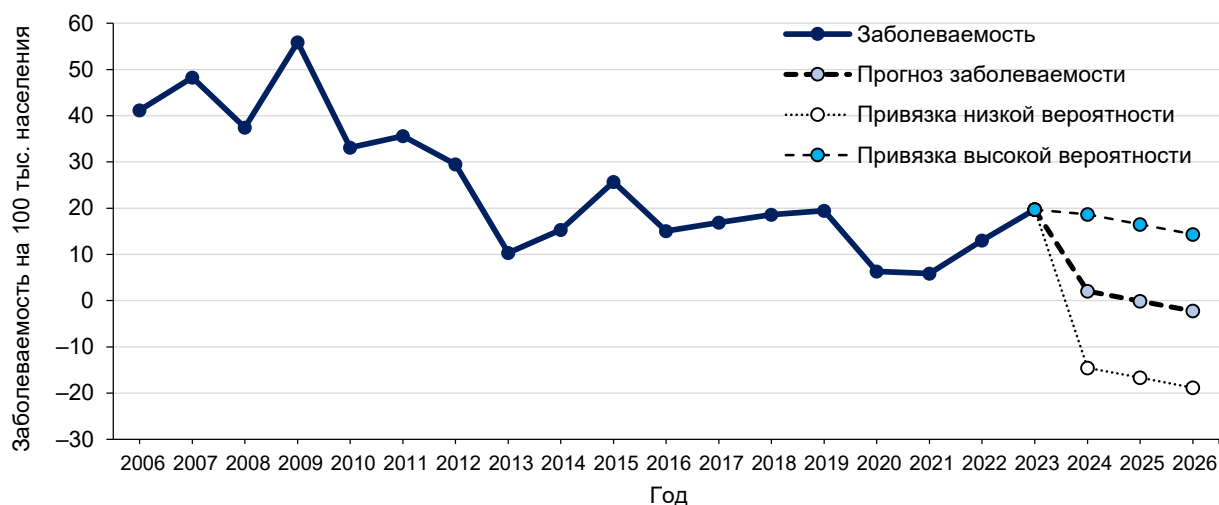
**Рис. 2.** Диаграмма интервального прогноза заболеваемости ИКБ в Кировской области до 2026 г.

Таблица 2. Стандартизированные β -коэффициенты для модели множественной регрессии

Фактор	β^*	SE of β^*	β	SE of β	t(69)	p-value
Intercept	–	–	4433,314	904,802	4,900	0,000
x	–0,810	0,165	–2,190	0,447	–4,905	0,000
z_1	0,340	0,316	9,614	8,925	1,077	0,303
z_2	0,165	0,314	4,629	8,804	0,526	0,609
h_1	–0,319	0,149	–19,565	9,155	–2,137	0,054
h_2	–0,115	0,174	–3,617	5,443	–0,664	0,519

Примечание. Intercept — свободный член уравнения регрессии; β^* — стандартизированный коэффициент регрессии; SE of β^* — стандартная ошибка стандартизованного коэффициента регрессии; β — коэффициент регрессии; SE of β — стандартная ошибка коэффициента регрессии; t(69) — расчётное значение t-критерия для оценки значимости коэффициента регрессии; p-value — уровень значимости.

Таблица 3. Поправочные коэффициенты регрессии

Значение фактора	β	$\beta^{\text{попр}} = \beta - \Delta$	Значение фактора	β	$\beta^{\text{попр}} = \beta - \Delta$
Первый зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку в феврале	0,000	–4,750	Последний зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку в сентябре	–19,565	–11,840
Первый зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку в марте	9,614	4,870	Последний зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку в октябре	–3,617	4,110
Первый зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку в апреле	4,629	–0,120	Последний зарегистрированный случай присасывания клеща к человеку в ноябре	0,000	7,730
Сумма	14,24	–	Сумма	–23,18	–
Δ	4,75	–	Δ	–7,73	–

Примечание. β — коэффициент регрессии; $\beta^{\text{попр}}$ — поправочный коэффициент регрессии.

ща к человеку (сентябрь, октябрь, ноябрь) с 2006 по 2023 г., вводились поправочные коэффициенты перед фиктивными переменными (табл. 3). Заболеваемость ИКБ в Кировской области на 100 тыс. населения в системе изменяется: при первом зарегистрированном случае присасывания клеща к человеку в феврале заболеваемость ИКБ ниже среднего, в марте — выше среднего, в апреле — ниже среднего; при последнем зарегистрированном слу-

чае присасывания клеща к человеку в сентябре заболеваемость ИКБ ниже среднего, в октябре и ноябре — выше среднего.

В Кировской области наблюдается тенденция к увеличению площадей, подлежащих акарицидной обработке (рис. 3). На основании значения коэффициента регрессии можно сделать вывод о том, что с каждым годом объём акарицидных работ по Кировской области увеличивается в среднем на 125,87 га.

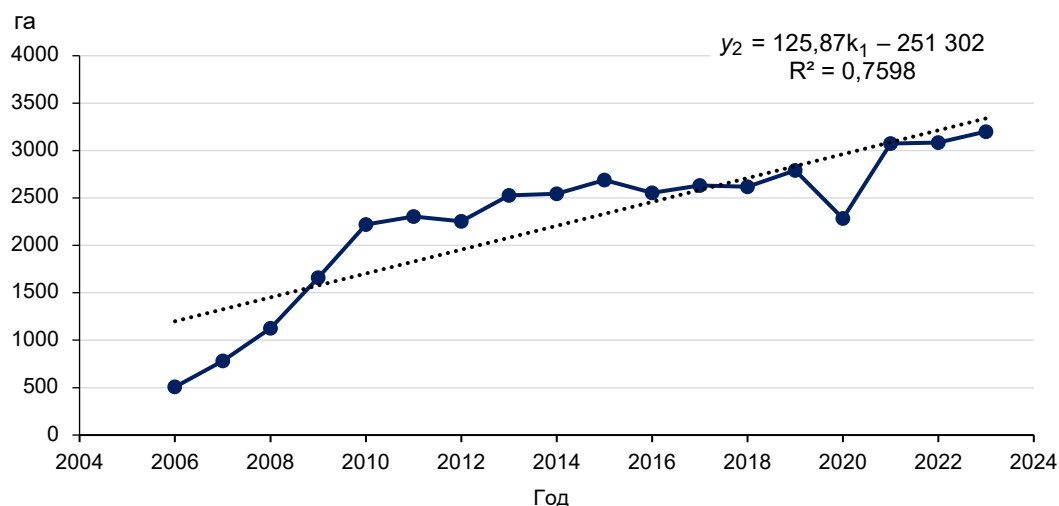


Рис. 3. Объём акарицидных работ в Кировской области в 2006–2023 гг.

Показатели динамического ряда объёма акарицидных работ в Кировской области отражены в **табл. 4**.

Построена корреляционная матрица зависимости заболеваемости ИКБ по Кировской области на 100 тыс. населения с 2006 по 2023 г. от гидрометеорологических факторов (по месяцам) и объёма акарицидных работ (**табл. 5**). Выявлены сильная отрицательная связь заболеваемости ИКБ с временным фактором, а также отрицательные связи средней силы между заболеваемостью ИКБ и объёмом акарицидных работ. Между заболеваемостью ИКБ и температурой воздуха в сентябре обнаружена средняя положительная корреляционная связь ($r = 0,51$; $p < 0,05$). Между влажностью воздуха в июне и августе и заболеваемостью ИКБ выявлены слабые положительные корреляционные связи ($r = 0,47$; $p < 0,05$ и $r = 0,47$; $p < 0,05$ соответственно). Выявлены слабая положительная корреляционная связь между объёмом осадков за декабрь и заболеваемостью ИКБ ($r = 0,49$; $p < 0,05$), средние положительные связи между объёмом осадков за июнь, август и ноябрь и заболеваемостью ИКБ ($r = 0,52$; $p < 0,05$; $r = 0,68$; $p < 0,05$ и $r = 0,66$; $p < 0,05$ соответственно), а также сильная положительная связь между объёмом осадков за октябрь и заболеваемостью ИКБ ($r = 0,75$; $p < 0,05$).

Построена корреляционная матрица зависимости заболеваемости ИКБ (на 100 тыс. населения) по Кировской области от среднегодовых значений гидрометеорологических факторов (температура и влажность воздуха, объём осадков за 2006–2023 гг.) и объёма акарицидных работ (**табл. 6**).

Для множественного регрессионного анализа результативной переменной использован показатель y_3 — заболеваемость ИКБ (на 100 тыс. населения) в Кировской области. Выборочные коэффициенты корреляции представлены в табл. 6. Факторные признаки и модель: v_1 — объём акарицидных работ (га); v_2 — среднегодовая температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$); v_3 — среднегодовая влажность воздуха (%); v_4 — среднегодовой объём осадков (мм); $y_3 = -70,117 - 0,003v_1 - 1,304v_2 + 0,993v_3 + 93,133v_4$. Уравнение регрессии является статистически достоверным на уровне значимости $p < 0,05$. Доля вариации заболеваемости ИКБ на 75,1% объясняется вариацией факторных признаков ($R^2 = 0,751$).

На основании стандартизированных β -коэффициентов проведена оценка влияния факторов на зависимую переменную (**табл. 7**). Заболеваемость ИКБ в Кировской области на 100 тыс. населения в системе изменяется:

- при увеличении объёма акарицидных работ в среднем заболеваемость ИКБ снижается;
- увеличение среднегодовой температуры воздуха в среднем приводит к снижению заболеваемости ИКБ;
- увеличение среднегодовой влажности воздуха в среднем приводит к увеличению заболеваемости ИКБ;
- при увеличении среднегодового объёма осадков в среднем заболеваемость ИКБ увеличивается.

Таблица 4. Показатели динамического ряда объёма акарицидных работ в Кировской области

Год	Объём акарицидных работ в Кировской области, га	Абсолютный прирост, га	Темп прироста, %	Значение 1% прироста	Темп роста, %
2006	507,0	–	–	–	–
2007	782,7	275,7	54,4	507,00	154,4
2008	1125,0	342,3	43,7	782,70	143,7
2009	1660,5	535,5	47,6	1125,00	147,6
2010	2220,6	560,1	33,7	1660,50	133,7
2011	2303,4	82,8	3,7	2220,60	103,7
2012	2253,0	–50,4	–2,2	2303,40	97,8
2013	2526,3	273,3	12,1	2253,00	112,1
2014	2545,7	19,5	0,8	2526,27	100,8
2015	2688,4	142,7	5,6	2545,73	105,6
2016	2553,7	–134,7	–5,0	2688,44	95,0
2017	2633,2	79,5	3,1	2553,72	103,1
2018	2617,7	–15,5	–0,6	2633,20	99,4
2019	2790,8	173,1	6,6	2617,70	106,6
2020	2284,3	–506,5	–18,1	2790,80	81,9
2021	3075,3	791,0	34,6	2284,30	134,6
2022	3083,0	7,7	0,3	3075,26	100,3
2023	3200,7	117,7	3,8	3083,00	103,8
2023/2006	–	2693,7	531,3	507,00	631,3

Таблица 5. Корреляционная матрица зависимости заболеваемости ИКБ по Кировской области на 100 тыс. населения с 2006 по 2023 г. от среднемесячных значений гидрометеорологических факторов и объёма акарицидных работ

Показатель	Заболеваемость ИКБ (на 100 тыс. населения) в Кировской области	
	<i>r</i>	<i>p</i>
Временной фактор, годы	-0,77	< 0,05
Объём акарицидных работ, га	-0,64	< 0,05
Температура воздуха, °С		
в январе	-0,28	> 0,05
в феврале	-0,41	> 0,05
в марте	0,18	> 0,05
в апреле	-0,29	> 0,05
в мае	-0,10	> 0,05
в июне	-0,15	> 0,05
в июле	-0,16	> 0,05
в августе	-0,19	> 0,05
в сентябре	0,51	< 0,05
в октябре	0,15	> 0,05
в ноябре	-0,11	> 0,05
в декабре	0,24	> 0,05
Влажность воздуха, %		
в январе	0,22	> 0,05
в феврале	-0,28	> 0,05
в марте	0,36	> 0,05
в апреле	0,15	> 0,05
в мае	-0,15	> 0,05
в июне	0,47	< 0,05
в июле	0,35	> 0,05
в августе	0,47	< 0,05
в сентябре	-0,04	> 0,05
в октябре	0,05	> 0,05
в ноябре	0,45	> 0,05
в декабре	0,20	> 0,05
Объём осадков, мм		
в январе	0,50	< 0,05
в феврале	0,03	> 0,05
в марте	0,43	> 0,05
в апреле	0,36	> 0,05
в мае	0,47	> 0,05
в июне	0,52	< 0,05
в июле	0,24	> 0,05
в августе	0,68	< 0,05
в сентябре	0,40	> 0,05
в октябре	0,75	< 0,05
в ноябре	0,66	< 0,05
в декабре	0,49	< 0,05

Обсуждение

Заболеваемость ИКБ в Кировской области в 2006–2023 гг. была неравномерной. При сравнении заболеваемости в 2023 г. с 2006 г. отмечается снижение интенсивности проявления эпидемического процесса (на 100 тыс. населения) на 52,2%. Наиболее значительные изменения наблюдаются в 2009 г. (рост на 49,4%) и в 2013 г. (снижение на 65,1%). Рост заболеваемости ИКБ в 2009 г. (на 49,4%) можно объяснить удлинением сезона активности клещей: в среднем по области составил 208 дней, что на 14 дней больше по сравнению с 2008 г. (194 дня), увеличением численности и активности переносчиков, о чём косвенно свидетельствует рост числа обращений в лечебно-профилактические учреждения по поводу присасывания клещей в 1,6 раза (с 13 432 человек в 2008 г. до 21 477 человек в 2009 г.) и недостаточным объёмом акарицидных работ (в 2 раза ниже требуемого)¹. Снижение заболеваемости ИКБ в 2013 г. (на 65,1%) можно объяснить увеличением объёма акарицидных работ в 1,5 раза (2526,3 га в 2013 г. в сравнении с 1660,5 га в 2009 г.), уменьшением численности и активности переносчиков, о чём косвенно свидетельствует снижение числа обращений по поводу присасывания клещей практически в 3 раза (с 21 477 человек в 2009 г. до 7219 человек в 2009 г.) и мероприятиями по борьбе с грызунами². Несмотря на общую тенденцию к снижению, динамика заболеваемости остаётся нестабильной. После значительного падения в 2013 г. в последующие годы наблюдается постепенный рост, который снова сменяется снижением в 2020 г., что может быть связано с пандемией COVID-19³. Динамика заболеваемости за 2005–2009 гг. объясняется удлинением сезона активности клещей вследствие тёплого и длительного осеннего периода, в условиях которого люди чаще занимались сбором дикорастущих растений в природных биотопах, продолжали работы на садово-огородных участках, что вело к увеличению контактов населения с клещами [7–9, 21, 22].

Интервальный прогноз заболеваемости ИКБ в Кировской области на период с 2024 по 2026 г. демонстрирует тенденцию к снижению. Наблюдается уменьшение интенсивности проявлений эпидемического процесса может объясняться увеличением объёма акарицидных работ, изменением

¹ Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Кировской области в 2009 году». URL: <https://www.43.rospotrebnadzor.ru/documents/gosregdoklad/publications/svoddokl2009.pdf>

² Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Кировской области в 2013 году». URL: <https://www.43.rospotrebnadzor.ru/documents/gosregdoklad/publications/svoddokl2013.pdf>

³ Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Кировской области в 2020 году». URL: <https://www.43.rospotrebnadzor.ru/documents/gosregdoklad/publications/gosudarstvennyy-doklad-2020.pdf>

Таблица 6. Корреляционная матрица зависимости заболеваемости ИКБ (на 100 тыс. населения) по Кировской области от среднегодовых значений гидрометеорологических факторов и объёма акарицидных работ

Коррелируемые показатели	Заболеваемость ИКБ	Объём акарицидных работ, га	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Объём осадков, мм
Заболеваемость ИКБ	1,00	-0,64	-0,03	0,35	0,74
Объём акарицидных работ, га	-0,64	1,00	-0,20	-0,10	-0,69
Температура воздуха, °С	-0,03	-0,20	1,00	0,19	-0,06
Влажность воздуха, %	0,35	-0,10	0,19	1,00	0,40
Объём осадков, мм	0,74	-0,69	-0,06	0,40	1,00

Таблица 7. Стандартизированные β -коэффициенты регрессионной модели

Фактор	β^*	SE of β^*	β	SE of β	t(69)	p-value
Intercept	–	–	-70,117	56,530	-1,240	0,237
v_1	-0,147	0,218	-0,003	0,004	-0,675	0,512
v_2	-0,083	0,125	-1,304	1,955	-0,667	0,517
v_3	0,167	0,128	0,993	0,758	1,310	0,213
v_4	0,715	0,224	93,133	29,210	3,188	0,007

Примечание. Intercept — свободный член уравнения регрессии; β^* — стандартизированный коэффициент регрессии; SE of β^* — стандартная ошибка стандартизованного коэффициента регрессии; β — коэффициент регрессии; SE of β — стандартная ошибка коэффициента регрессии; t(69) — расчётное значение t-критерия для оценки значимости коэффициента регрессии; p-value — уровень значимости.

погодных условий (тенденция к снижению среднегодового объёма осадков). Следует отметить, что нельзя исключить влияние других факторов.

Раннее или, наоборот, позднее начало активизации иксодовых клещей может приводить к изменению сроков наступления эпидемического сезона [10–13]. Удлинение сезона активности клещей является следствием тёплого и длительного осеннего периода [21]. Используя метод множественной линейной регрессии, мы предложили математическую модель заболеваемости ИКБ по Кировской области на 100 тыс. населения, для прогнозирования которой использовались такие показатели, как первый и последний зарегистрированные случаи присасывания клеща к человеку за 2006–2023 гг. При первом зарегистрированном случае в феврале заболеваемость ИКБ была ниже среднего на 4,75 на 100 тыс. населения, в марте — выше среднего на 4,87, в апреле — ниже среднего на 0,12. При последнем зарегистрированном случае присасывания клеща к человеку в сентябре заболеваемость ИКБ — ниже среднего на 11,84 на 100 тыс. населения, в октябре и ноябре — выше среднего на 4,11 и 7,73 соответственно. Следует заметить, что любой прогноз не может быть абсолютным, т. к. никогда нельзя полностью исключить влияние других факторов. Примером может являться 2020 г., когда первый пострадавший от присасывания клеща человек был зарегистрирован в феврале, но заболеваемость ИКБ в Кировской области в этот год была низкой. В данном случае нельзя исключить влияние противоэпидемических мероприятий, связанных с пандемией COVID-19.

Площадь акарицидных обработок в 2010 г. в сравнении с 2006 г. увеличилась в 4,4 раза — с 507 до 2220,5 га [9]. Проведённый нами статистический анализ за 2006–2023 гг. показал, что объём акарицидных работ по Кировской области ежегодно увеличивался в среднем на 125,87 га. Выявлена отрицательная достоверная корреляционная связь умеренной тесноты между заболеваемостью ИКБ в 2006–2023 гг. и объёмом акарицидных работ в этот период.

Биотические факторы играют не менее существенную роль в жизненном цикле клещей. Многие позвоночные: зайцы, копытные, грызуны, птицы — служат прокормителями для клещей и резервуаром для возбудителей клещевых инфекций. Увеличение численности животных прямо коррелирует со скоростью роста популяции иксодовых клещей [4, 23–25]. Антропогенные факторы следует рассматривать с позиции ведения хозяйственной деятельности и поведения человека в природе. Активная вырубка лесных массивов ведёт к динамическому изменению микроклиматических условий. Смена старого леса на молодую поросль обуславливает увеличение экспозиции солнечным светом, изменение температуры, влажности воздуха и верхних слоев почвы. Вырубленные участки заселяются мелколиственными породами деревьев, кустарниками, травами, создающими благоприятную нишу для размножения прокормителей и переносчиков клещей [24, 25]. Снижение видовой биоразнообразия отдельной экосистемы, влекущее нарушение пищевых цепей, связано с повышенной вероятностью

инфицирования клещей. Так, сокращение ключевого хищника мелких млекопитающих — рыжей лисицы на северо-востоке и западе США обусловило рост заболеваемости ИКБ в данном регионе. В свою очередь активный отдых или трудовая деятельность на открытых пространствах в тёплое время года повышает вероятность контакта человека с инфицированными членистоногими переносчиками боррелий [26–29]. Эти факторы напрямую влияют на риск контакта человека с клещами, что необходимо для построения точной прогностической модели эпидемиологического риска заболеваемости населения.

Активность клещей может быть обусловлена погодными условиями [10]. Абиотические факторы оказывают значительное влияние на выживаемость и размножение клещей в конкретном биогеоценозе. Доказано, что среднегодовые температуры и сезонность их колебания играют критическую роль в жизненном цикле членистоногих [23, 25]. Так, мягкие зимы способствуют большей выживаемости особей, а тёплые межсезонья — ранней активизации и продлевают период активности клещей, что приводит к расширению ареала обитания [24, 25]. Обилие атмосферных осадков, высокая относительная влажность воздуха и степень увлажнения почвы имеют критическое значение на всех стадиях жизненного цикла клещей. Количество солнечной радиации, продолжительность светового дня положительно связаны с активностью клещей [23]. С 1984 по 2010 г. на территории Кировской области зафиксирован значительный рост среднегодовой температуры воздуха и относительной влажности воздуха. Основные изменения происходили в осенние месяцы, что благоприятно сказывалось на жизнедеятельности иксодовых клещей [27, 30]. Российскими учёными предложено регрессионное уравнение, где зависимая переменная — заболеваемость клещевым энцефалитом, а факторы — температура мая в сезон n в среднесрочном цикле, температура августа в сезон n в среднесрочном цикле, температура октября предшествующего сезона ($n - 1$) и температура ноября. По мнению авторов, ход изменения заболеваемости клещевым энцефалитом в Иркутске достаточно хорошо согласуется с ходом изменения климата в его макроциклических и трендовых составляющих. В ходе исследования, проведённого в 2011 г., установлено, что для трёх природных очагов клещевого энцефалита (расположенных на территории Новосибирска, Иркутска, Горно-Алтайска) общими значимыми факторами прогнозирования заболеваемости этой природно-очаговой инфекцией являются: влажность воздуха ноября предыдущего года, влажность апреля и июня, а также температура июня текущего года [31, 32]. Эти факторы выявлены как при построении логической решающей функции, так и при составлении уравнения регрессии. Показано положительное

влияние солнечной активности на заболеваемость клещевым энцефалитом в Новосибирске и Иркутске. Нами на основе метода множественной линейной регрессии предложена математическая модель, свидетельствующая о зависимости заболеваемости ИКБ от климатических показателей и объёма акарицидных работ. На основании значений коэффициентов регрессии заболеваемость ИКБ (на 100 тыс. населения) в Кировской области в системе изменяется:

- при увеличении объёма акарицидных работ на 1 га заболеваемость ИКБ снижается в среднем на 0,003 на 100 тыс. населения;
- увеличение среднегодовой температуры воздуха на 1°C приводит к снижению заболеваемости ИКБ в среднем на 1,304 на 100 тыс. населения;
- увеличение среднегодовой влажности воздуха на 1% приводит к увеличению заболеваемости ИКБ в среднем на 0,993 на 100 тыс. населения;
- при увеличении среднегодового объёма осадков на 1 мм заболеваемость ИКБ увеличивается в среднем на 93,133 на 100 тыс. населения.

Стоит отметить, что с вероятностью ошибки в 5% среднегодовой объём осадков значим, остальные факторы незначимы. На основании значений β -коэффициентов наибольший вклад в изменение заболеваемости ИКБ вносит среднегодовой объём осадков.

Заключение

Сегодня методы математического моделирования с успехом применяются для прогнозирования заболеваемости различными нозологическими формами инфекционных болезней. ИКБ давно стал актуальной проблемой для России в целом и особенно для регионов с высокой заболеваемостью, таких как Кировская область. Авторы впервые предприняли попытку при помощи методов математического моделирования спрогнозировать уровень заболеваемости ИКБ на территории этого субъекта в зависимости от некоторых гидрометеорологических и антропогенных факторов. Предложена математическая модель прогнозирования заболеваемости ИКБ в Кировской области в зависимости от среднегодовых значений климатических показателей и объёма акарицидных работ. Составлен интервальный прогноз заболеваемости ИКБ в Кировской области на период с 2024 по 2026 г., который демонстрирует тенденцию к снижению интенсивности проявлений эпидемического процесса. Для более точного прогнозирования уровня заболеваемости ИКБ в Кировской области необходим набор факторов, включая численность и видовое разнообразие прокормителей клещей, изменения в структуре лесных

экосистем вследствие антропогенных воздействий, активность людей в природных зонах в течение сезона повышенной активности клещей, а также географические особенности распространения клещей по административно-территориальным единицам региона с учётом гидрометеорологических показателей. Работа требует дальнейшего развития, включая определение перспектив практического применения предложенных моделей прогнозирования. Это поможет обосновать необходимость дальнейших исследований и разработать стратегии стабилизации эпидемиологической обстановки по ИКБ в Кировской области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ | REFERENCES

- Mahajan V.K. Lyme disease: an overview. *Indian Dermatol. Online J.* 2023;14(5):594–604. DOI: https://doi.org/10.4103/idoj.idoj_418_22
- Рудакова С.А., Теслова О.Е., Муталинова Н.Е. и др. Эпидемиологическая ситуация по иксодовым клещевым боррелиозам в Российской Федерации в 2021 г. и прогноз на 2022 г. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2022;(2):46–53. Rudakova S.A., Teslova O.E., Mutalynova N.E., et al. Epidemiological situation on tick-borne borreliosis in the Russian Federation in 2021 and forecast for 2022. *Problems of Particularly Dangerous Infections.* 2022;(2):46–53. DOI: <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2022-2-46-53> EDN: <https://elibrary.ru/xkxzol>
- Wang S.S., Liu J.Y., Wang B.Y., et al. Geographical distribution of *Ixodes persulcatus* and associated pathogens: analysis of integrated data from a China field survey and global published data. *One Health.* 2023;16:100508. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100508>
- Ястребов В.К., Утенкова Е.О. Актуальные направления эпидемиологического надзора за природно-очаговыми инфекциями (на примере Волго-Вятского региона). *Здоровье населения и среда обитания — ЗНУСО.* 2011;(12):25–7. Yastrebov V.K., Utenkova E.O. Actual trends of epidemiological inspection of natural foci infections (by the example of the Volga-Vyatsk region). *Public Health and Life Environment – PH&LE.* 2011;(12):25–7. EDN: <https://elibrary.ru/ooqwlr>
- Любезнова О.Н., Бондаренко А.Л., Карань Л.С. Зараженность клещей *Ixodes persulcatus* возбудителями различных заболеваний в эндемичном регионе европейской части России. *Актуальная инфектология.* 2014;(2):49–52. Lyubeznova O.N., Bondarenko A.L., Karan L.S. Infectiousness of *Ixodes persulcatus* ticks with pathogens of various diseases in endemic regions of European Russia. *Journal Infectology.* 2014;2(3):49–52. EDN: <https://elibrary.ru/thebot>
- Лопух П.С., Гладкая И.Н. Влияние природных факторов на возникновение и распространение природно-очаговых заболеваний (на примере клещевых инфекций). *Вестник БГПУ. Серия 3. Физика. Математика. Информатика. Биология. География.* 2020;(3):33–6. Lopuch P.S., Gladkaya I.N. Influence of natural factors on appearance and spreading of natural-focal diseases (on the example of tick infections). *BSPU Bulletin. Series 3, Physics. Mathematics. Biology. Geography.* 2020;(3):33–6. EDN: <https://elibrary.ru/xenxwa>
- Прислегина Д.А., Дубянский В.М., Платонов А.Е., Малецкая О.В. Влияние природно-климатических факторов на эпидемиологическую ситуацию по природно-очаговым инфекциям. *Инфекция и иммунитет.* 2021;11(5):820–36. Prislegina D.A., Dubyanskiy V.M., Platonov A.E., Maletskaya O.V. Effect of the natural and climatic factors on epidemiological situation related to natural focal infections. *Russian Journal of Infection and Immunity.* 2021;11(5):820–36. DOI: <https://doi.org/10.15789/2220-7619-EOT-1631> EDN: <https://elibrary.ru/eqdqvj>
- Eisen R.J., Eisen L. Evaluation of the association between climate warming and the spread and proliferation of *Ixodes scapularis* in northern states in the Eastern United States. *Ticks Tick Borne Dis.* 2024;15(1):102286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2023.102286>
- Voyiatzaki C., Papailia S.I., Venetikou M.S., et al. Climate changes exacerbate the spread of *Ixodes ricinus* and the occurrence of Lyme borreliosis and tick-borne encephalitis in Europe — how climate models are used as a risk assessment approach for tick-borne diseases. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(11):6516. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19116516>
- Дубянский В.М., Прислегина Д.А., Платонов А.Е. «Объясняющие» модели заболеваемости клещевыми инфекциями (на примере Астраханской риккетсиозной и Крымской-Конго геморрагической лихорадки). *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии.* 2023;100(1):34–45. Dubyanskiy V.M., Prislegina D.A., Platonov A.E. Explanatory models for tick-borne disease incidence (Astrakhan rickettsial fever and Crimean-Congo hemorrhagic fever). *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology.* 2023;100(1):34–45. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-344> EDN: <https://elibrary.ru/udgint>
- Gray J.S., Kahl O., Lane R.S., et al. Diapause in ticks of the medically important *Ixodes ricinus* species complex. *Ticks Tick Borne Dis.* 2016;7(5):992–1003. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.05.006>
- Voyiatzaki C., Papailia S.I., Venetikou M.S., et al. Climate changes exacerbate the spread of *Ixodes ricinus* and the occurrence of Lyme borreliosis and tick-borne encephalitis in Europe — how climate models are used as a risk assessment approach for tick-borne diseases. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(11):6516. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19116516>
- McVicar M., Rivera I., Reyes J.B., Gulia-Nuss M. Ecology of *Ixodes pacificus* ticks and associated pathogens in the Western United States. *Pathogens.* 2022;11(1):89. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens11010089>
- Deshpande G., Beetch J.E., Heller J.G., et al. Assessing the influence of climate change and environmental factors on the top tick-borne diseases in the United States: a systematic review. *Microorganisms.* 2023;12(1):50. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12010050>
- Hromníková D., Furka D., Furka S., et al. Prevention of tick-borne diseases: challenge to recent medicine. *Biologia (Bratisl.).* 2022;77(6):1533–54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00966-9>
- Eisen L. Control of ixodid ticks and prevention of tick-borne diseases in the United States: the prospect of a new Lyme disease vaccine and the continuing problem with tick exposure on residential properties. *Ticks Tick Borne Dis.* 2021;12(3):101649. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101649>
- Mac S., da Silva S.R., Sander B. The economic burden of Lyme disease and the cost-effectiveness of Lyme disease interventions: A scoping review. *PLoS One.* 2019;14(1):e0210280. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210280>
- Hook S.A., Jeon S., Niesobecki S.A., et al. Economic burden of reported Lyme disease in high-incidence areas, United States, 2014–2016. *Emerg. Infect. Dis.* 2022;28(6):1170–9. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid2806.211335>
- van den Wijngaard C.C., Hofhuis A., Wong A., et al. The cost of Lyme borreliosis. *Eur. J. Public Health.* 2017;27(3):538–47. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckw269>
- Жигальский О.А. Анализ методов прогнозирования заболеваемости зоонозными инфекциями. *Эпидемиология и*

- вакцинопрофилактика. 2012;(3):26–31. Zhigalsky O.A. The analysis of forecasting methods of morbidity from zoonotic infections. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2012;(3):26–31. EDN: <https://elibrary.ru/ozinj>
21. Любезнова О.Н., Бондаренко А.Л., Опарина Л.В., Ламбринаки Е.В. Эпидемиологические особенности боррелиозной инфекции на территории Кировской области. *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2012;(6):24–8. Lyubeznova O.N., Bondarenko A.L., Oparina L.V., Lambrinaki E.V. Epidemiological features of a borrelial infection in the territory of the Kirov region. *Epidemiology and Infectious Diseases*. 2012;(6):24–8. EDN: <https://elibrary.ru/pvblfb>
22. Ostfeld R.S., Brunner J.L. Climate change and Ixodes tick-borne diseases of humans. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 2015;370(1665):20140051. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0051>
23. Giesen C., Cifo D., Gomez-Barroso D., et al. The role of environmental factors in Lyme disease transmission in the European Union: a systematic review. *Trop. Med. Infect. Dis.* 2024;9(5):113. DOI: <https://doi.org/10.3390/tropicalmed9050113>
24. Radolf J.D., Strle K., Lemieux J.E., Strle F. Lyme disease in humans. *Curr. Issues Mol. Biol.* 2021;42:333–84. DOI: <https://doi.org/10.21775/cimb.042.333>
25. Гнатив Б.Р., Токаревич Н.К. Результаты многолетнего мониторинга клещевого вирусного энцефалита и клещевого боррелиоза в Республике Коми. *Инфекция и иммунитет*. 2021;11(4):707–22. Gnativ B.R., Tokarevich N.K. Long-term monitoring of tick-borne viral encephalitis and tick-borne borreliosis in the Komi Republic. *Russian Journal of Infection and Immunity*. 2021;11(4):707–22. DOI: <https://doi.org/10.15789/2220-7619-ROL-1299> EDN: <https://elibrary.ru/nxhtts>
26. Bouchard C., Dumas A., Baron G., et al. Integrated human behavior and tick risk maps to prioritize Lyme disease interventions using a 'One Health' approach. *Ticks Tick Borne Dis.* 2023;14(2):102083. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.102083>
27. Steinbrink A., Brugger K., Margos G., et al. The evolving story of *Borrelia burgdorferi sensu lato* transmission in Europe. *Parasitol. Res.* 2022;121(3):781–803. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-022-07445-3>
28. Dantas-Torres F. Climate change, biodiversity, ticks and tick-borne diseases: the butterfly effect. *Int. J. Parasitol. Parasites Wildl.* 2015;4(3):452–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2015.07.001>
29. Millien V., Leo S.S.T., Turney S., Gonzalez A. It's about time: small mammal communities and Lyme disease emergence. *Sci. Rep.* 2023;13(1):14513. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41901-z>
30. Reynolds C., Kontschán J., Takács N., et al. Shift in the seasonality of ixodid ticks after a warm winter in an urban habitat with notes on morphotypes of *Ixodes ricinus* and data in support of cryptic species within *Ixodes frontalis*. *Exp. Appl. Acarol.* 2022;88(1):127–38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-022-00756-1>
31. Коротков Ю.С., Никитин А.Я., Антонова А.М. Роль климатических факторов в многолетней динамике заболеваемости населения г. Иркутск клещевым энцефалитом. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2007;(3S):121–5. Korotkov Yu.S., Nikitin A.Ya., Antonova A.M. Role of the climatic factors in long-term dynamics of tickborn encephalitis disease of Irkutsk population. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center SB RAMS*. 2007;(3S):121–5. EDN: <https://elibrary.ru/kjaazp>
32. Бериков В.Б., Лбов Г.С., Полякова Г.Л. и др. Анализ факторов, влияющих на заболеваемость клещевым энцефалитом, с использованием логико-вероятностных и корреляционно-регрессионных моделей. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2011;(6):25–34. Berikov V.B., Lbov G.S., Polyakova G.L., et al. Analysis of factors influencing the incidence of tick-borne encephalitis, using logical-and-probabilistic and correlation-regression models. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2011;(6):25–34. EDN: <https://elibrary.ru/okmurl>

Информация об авторах

Утенкова Елена Олеговна[✉] — д-р мед. наук, доцент, профессор каф. инфекционных болезней Кировского ГМУ, Киров, Россия, utelol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7587-3437>

Княжев Илья Сергеевич — студент Кировского ГМУ, Киров, Россия, knyazhev-01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3270-1738>

Щур Николай Степанович — студент Кировского ГМУ, Киров, Россия, k-shchur@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9747-4872>

Участие авторов: Утенкова Е.О. — формирование идеи, разработка концепции и дизайна исследования, сбор и статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Княжев И.С., Щур Н.С. — сбор и статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, редактирование. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям Международного комитета редакторов медицинских журналов, внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Статья поступила в редакцию 07.02.2025;
принята к публикации 10.04.2025;
опубликована 28.04.2025

Information about the authors

Elena O. Utenkova[✉] — Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Professor, Department of infectious diseases, Kirov State Medical University, Kirov, Russia, utelol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7587-3437>

Ilya S. Knyazhev — student, Kirov State Medical University, Kirov, Russia, knyazhev-01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3270-1738>

Nikolay S. Shchur — student, Kirov State Medical University, Kirov, Russia, k-shchur@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9747-4872>

Authors' contribution: Utenkova E.O. — idea formation, development of the concept and design of the study, data collection and statistical processing, analysis and interpretation of the data obtained, text writing, editing, approval of the final version of the article; Knyazhev I.S., Shchur N.S. — data collection and statistical processing, analysis and interpretation of the data obtained, text writing, editing. All authors confirm that they meet the International Committee of Medical Journal Editors criteria for authorship, made a substantial contribution to the conception of the article, acquisition, analysis, interpretation of data for the article, drafting and revising the article, final approval of the version to be published.

The article was submitted 07.02.2025;
accepted for publication 10.04.2025;
published 28.04.2025