

© Сироткин М.Б., 2025

УДК 616.98/.995.42/.831-002/.928.7+504



Условия возможного расширения ареалов основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита (на примере Магаданской области и Норвегии)

М.Б. Сироткин

ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, ул. Гамалеи, д. 18, г. Москва, 123098, Российская Федерация

Резюме

Введение. Климатические условия обуславливают распространение основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита в Евразии.

Цель исследования: оценить условия возможного изменения границ ареалов основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита на примерах Магаданской области и западного побережья Норвегии.

Материалы и методы. Возможность формирования популяций основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов (клещевого энцефалита) обусловлена календарной датой встречи особей с прокормителем, от чего в конечном счете зависит, успевают ли яйцекладки и напитавшиеся клещи получить необходимое количество тепла для завершения развития. В этом контексте было предпринято аналитико-теоретическое исследование возможности появления независимых популяций переносчиков в анализируемых регионах. Анализ проводился путем сопоставления в программе Word 10 различных подекадных вариантов временных рамок прокормления клещей и показателей теплообеспеченности поверхности почвенного покрова (позволяющих или не позволяющих набрать термальные константы) в теплый период, когда среднемесячная температура не опускается ниже порогового значения для развития этих фаз (+10 °C).

Результаты. В настоящее время появление независимых популяций таежного клеща в Магаданской области маловероятно ввиду невозможности получения значения термальных констант для завершения эмбриогенеза в определенный временной отрезок. Возникновение независимых популяций лесного клеща на западном побережье Норвегии обусловлено возможностью набора термальных констант развития перезимовывавшими ранее яйцекладками в необходимый отрезок времени.

Заключение. Исходя из значений термальных констант развития основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита, представляется возможным предложить научно обоснованный прогноз динамики их ареала в северном направлении в связи с предполагаемыми климатическими изменениями.

Ключевые слова: природные очаги, иксодовые клещевые боррелиозы, клещевой энцефалит, иксодовые клещи, метаморфоз

Для цитирования: Сироткин М.Б. Условия возможного расширения ареалов основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита (на примере Магаданской области и Норвегии) // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 3. С. 66–72. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-66-72

Conditions for the Potential Northward Expansion of Ranges of the Main Vectors of Lyme Disease and Tick-Borne Encephalitis (Based on the Example of the Magadan Region and Norway)

Mikhail B. Sirotkin

National Research Center for Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya,
18 Gamaleya Street, Moscow, 123098, Russian Federation

Summary

Introduction: Climatic conditions determine the spread of the main vectors of ixodid tick-borne borreliosis and tick-borne encephalitis in Eurasia.

Objective: : To assess the conditions of possible changes in the boundaries of the ranges of the main vectors of Lyme disease and tick-borne encephalitis based on the examples of the Magadan Region and the west coast of Norway.

Materials and methods: Feasibility of forming populations of the main vectors of ixodid tick-borne borreliosis (tick-borne encephalitis) is determined by the calendar date of the meeting of individuals with the host, which ultimately determines whether the egg-laying and nourished ticks manage to get the necessary amount of heat to complete development. In this context, an analytical and theoretical study was undertaken to establish the potential of emergence of independent vector populations in two regions. The analysis was carried out in Microsoft Word 10 by comparing different ten-day variants of the tick feeding time frames and indicators of the soil surface heat supply (allowing or not allowing thermal constant gains) during the warm period, when the average monthly temperature does not fall below the threshold value for the development of these phases (+10 °C).

Results: Currently, the emergence of independent populations of the taiga tick in the Magadan Region is unlikely due to the impossibility of obtaining required values of thermal constants for the completion of embryogenesis in a certain time span. The emergence of independent populations of forest mites on the west coast of Norway is related to the possibility of gaining thermal constants of development by overwintering ovipositors in the required period of time.

Conclusion: Given the values of the thermal constants of development of the main vectors of Lyme disease and tick-borne encephalitis, it seems possible to propose a science-based forecast of the northward expansion of their range due to expected climate change.

Keywords: natural foci, Lyme borreliosis, tick-borne encephalitis, ixodid ticks, metamorphosis.

Cite as: Sirotkin MB. Conditions for the potential northward expansion of ranges of the main vectors of Lyme disease and tick-borne encephalitis (based on the example of the Magadan Region and Norway). *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(3):66–72. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-3-66-72

Введение. Во внетропической части Евразии основное значение в качестве переносчиков возбудителей наиболее распространенных облигатно-трансмиссивных инфекций человека – иксодовых клещевых боррелиозов (ИКБ) и клещевого энцефалита (КЭ) – имеют близкие виды иксодовых клещей: таежный (*Ixodes persulcatus* Sch. 1930) и европейский лесной (*I. ricinus* L. 1755). Функционирование паразитарных систем данных заболеваний основано на вертикальной и горизонтальной передаче возбудителей по ходу их сложных многолетних циклов развития (имаго – яйцо – личинка – нимфа – имаго) [1–4]. Общая продолжительность развития новой генерации в зависимости от климатогеографических условий, в которых существуют популяции переносчиков, варьирует от 3 до 6 лет. Она определяется возможностями перерывов в развитии (диапаузами) при переходе из одной фазы в следующую. Морфогенетическая диапауза, обусловленная короткодневным световым режимом, приводит к задержке перелинивания сытых личинок и нимф. Для *I. ricinus*, в отличие от таежного клеща, возможна зимовка напивавшихся самок и отложенных яиц. Поведенческая диапауза проявляется в задержке активации перелинявших имаго и, возможно, нимф [1–7].

В настоящее время особое внимание уделяется возможности расширения современной области распространения основных переносчиков ИКБ и КЭ с учетом глобального изменения климата. Недостаточная разработка данной проблемы, имеющая важное значение для практического здравоохранения, приводит к появлению большого числа неподтвержденных прогнозов динамики их ареалов [8–14]. В модели с различными алгоритмами включают целый комплекс (до двух десятков) биоклиматических параметров: максимальная температура самого теплого месяца, годовое количество осадков, осадки самого сухого квартала, температура / излучательная способность дневной поверхности земли, ночная температура поверхности земли / излучательная способность, дефицит водяного пара, вегетационный индекс и др. [5, 10, 15]. Оценка вероятности распространения *I. persulcatus* и *I. ricinus* на исследуемой территории дается на основе бинарных моделей распространения (входит / не входит в климатический ареал).

Проведенный нами анализ выявил, что резистентность активировавшихся клещей рассматриваемых видов к колебаниям гигротермических показателей воздушной среды существенно не влияет на распространение переносчиков [14]. Таким образом, общий недостаток опубликованных моделей связан с отсутствием включения в них фактора, очевидно, в первую очередь определяющего закономерности распространения основных переносчиков ИКБ (КЭ) – получение видовой термальной константы развития (суммы тепла) для завершения овогенеза, эмбриогенеза, метаморфозов напивавшихся личинок и нимф в определенные в каждом конкретном регионе отрезки теплого сезона [7, 14]. Игнорирование этого важнейшего положения во многом нивелирует достоверность имеющихся прогнозов динамики ареалов *I. persulcatus* и *I. ricinus* (особенно на их

северных границах) и обуславливает необходимость более обстоятельного рассмотрения данной проблемы на конкретных примерах с учетом видовой потребности переносчиков в тепле. Оригинальность выполненного исследования заключается в том, что впервые была проанализирована возможность появления независимых популяций таежного клеща в Магаданской области, которая считается не эндемичной по ИКБ / КЭ, но где отмечаются регулярные случаи нападения этого вида переносчика на человека [16, 17]. Также нами были установлены причины недавнего значительного расширения области обитания лесного клеща на западном побережье Норвегии [18, 19].

Цель исследования – на примере климатически резко отличающихся условий существования основных переносчиков иксодовых клещевых боррелиозов и клещевого энцефалита – клещей *Ixodes persulcatus* (Магаданская область) и *Ixodes ricinus* (западное побережье Норвегии) – продемонстрировать, что возникновение их независимых популяций и расширение ареалов определяются возможностью получения видовой термальной константы, необходимой для метаморфоза последовательных фаз цикла развития.

Материалы и методы. Работа имеет аналитико-теоретический характер. Настоящее исследование основано на анализе условий появления независимых популяций *I. persulcatus* и *I. ricinus* в отобранных нами регионах (Магаданская область, западное побережье Норвегии). Основной принятый в данной публикации критерий, определяющий или ограничивающий расширение ареалов основных переносчиков ИКБ (КЭ) – возможность получения необходимых значений термальных констант развития отложенными яйцекладками, прокормившимися личинками и нимфами в определенный временной отрезок, обусловленный адаптивными механизмами их жизненных циклов. В конечном счете формирование популяций переносчиков обусловлено календарной датой встречи особей разных фаз с прокормителем, от чего зависит, успевают ли яйцекладки и напивавшиеся клещи получить необходимое количество тепла для завершения развития. Прогноз давался исходя из сопоставления в программе Word 10 различных подекадных вариантов временных рамок прокормления клещей и показателей теплообеспеченности поверхности почвенного покрова в теплый период [18–20], когда среднемесячная температура не опускается ниже порогового значения для развития этих фаз (+10 °C).

Методика расчета термальных констант развития переносчиков была предложена нами в соответствующих публикациях [7, 21]. Для *I. persulcatus* примерные значения термальных констант составляют: овогенеза – 380 °C, эмбриогенеза и развития напивавшихся личинок – 460 °C, метаморфоза сытых нимф – 805 °C. Для *I. ricinus* термальные константы имеют следующее выражение: овогенеза – 460 °C, эмбриогенеза – 575 °C, развития напивавшихся личинок – 700 °C, метаморфоза сытых нимф – 805 °C.

Результаты. Согласно представленному анализу (табл. 1) в Магаданской области, даже если

занесенные самки *I. persulcatus* покинут хозяина с начала мая по середину июня, развитие отложенных яиц возможно лишь в период с начала июля по середину августа. В результате этого выплывшие в конце лета голодные личинки уйдут в диапаузу, которую они в неблагоприятных температурных условиях по большей части не переживают. Потомство взрослых напивавшихся клещей, занесенных и отпавших в более поздние сроки, не успевает набрать термальные константы овогенеза и эмбриогенеза, очевидно, также погибает. Таким образом, занос сытых имаго в данный регион не может сам по себе привести к расширению ареала таежного клеща. Занесенные личинки, напивавшиеся в мае – июле, имеют возможность перелинять в период с мая по конец августа. Появившиеся из них голодные нимфы могут напиться на местных прокормителях и осуществлять метаморфоз с начала июня по середину августа. Это касается и нимф, занесенных в Магаданскую область с мая по июнь. При насыщении в более поздний период клещи этой стадии не получают необходимого ко-

личество тепла для метаморфоза в том же сезоне и будут диапаузировать. Из-за высокого значения термальной константы нимфы могут превратиться в имаго только в августе, а голодные взрослые особи обречены на зимовку и смогут накормиться только в начале следующего года.

Итак, исходя из возможностей получения термальных констант развития, существование независимых популяций таежного клеща в Магаданской области в настоящее время маловероятно. Недостаток тепла, необходимого для завершения овогенеза и эмбриогенеза, продолжающегося, как отмечено выше, в этом регионе до середины августа, по всей видимости, обрекает на гибель вышедших из яиц голодных личинок.

Причины недавнего расширения ареала *I. ricinus* на западном побережье Норвегии проанализированы исходя из приведенных показателей среднемесячной температуры поверхности почв в теплый сезон и потребностей переносчика в тепле. Согласно представленным данным (табл. 2), отложенные яйцекладки могут завершить развитие

Таблица 1. Возможные сроки развития разных фаз *I. persulcatus* в период со среднемесячной температурой поверхности почв $\geq 10^\circ\text{C}$ в Магаданской области ($59^\circ.34'$ с.ш. – $150^\circ.48'$ в.д.)

Table 1. Possible timeframes of development of different phases of *I. persulcatus* in the period with average monthly soil surface temperatures $\geq 10^\circ\text{C}$ in the Magadan Region ($59^\circ.34'\text{N}$ $150^\circ.48'\text{E}$)

Возможные сроки эмбриогенеза / Possible dates of embryogenesis	Дата отпадения от хозяев / Date of detachment from host	Дата начала развития / число дней развития при данной температуре в Магаданской области (Магадан) / Development start date / days of development at the given temperature in the Magadan Region (Magadan)		
		Июнь / June +11*	Июль / July +15	Август / August +14
	1–15 мая / May		4.07/27**	/5
	16–31 мая / May		4.07/27	/5
	1–15 июня / June		10.07/21	/11
	16–30 июня / June		18.07/13	/19
	1–15 июля / July			
	16–31 июля / July			
	1–15 августа / August			
	16–31 августа / August			
Возможные сроки развития личинок / Possible dates of larval development	1–15 мая / May	1.06/30	/9	
	16–31 мая / May	1.06/30	/9	
	1–15 июня / June	10.06/20	/18	
	16–30 июня / June	20.06/10	/24	
	1–15 июля / July		10.07/21	/12
	16–31 июля / July		20.07/11	/23
	1–15 августа / August			
	16–31 августа / August			
Возможные сроки развития нимф / Possible dates of nymph development	1–15 мая / May	1.06/30	/31	/1
	16–31 мая / May	1.06/30	/31	/1
	1–15 июня / June	10.06/20	/31	/9
	16–30 июня / June	20.06/10	/31	/15
	1–15 июля / July			

Примечания к таблицам 1 и 2: * – среднемесячная температура поверхностного слоя почвы по месяцам; ** – число дней развития при данной температуре в текущем месяце, цифры после / – число дней развития в следующем месяце.

Notes to Tables 1 & 2: *The average monthly temperature of the surface layer of soil by month; **number of days of development at the given temperature in the current month; the numbers after / indicate the number of days of development in the next month.

Таблица 2. Возможные сроки развития разных фаз *I. ricinus* в период со среднемесячной температурой поверхности почв $\geq 10^{\circ}\text{C}$ на западном побережье Норвегии (66°.22' с.ш. – 12°.59' в.д.)**Table 2. Possible timeframes of development of different phases of *I. ricinus* in the period with average monthly soil surface temperatures $\geq 10^{\circ}\text{C}$ on the west coast of Norway (66°.22'N 12°.59'E)**

Возможные сроки эмбриогенеза / Possible dates of embryogenesis	Дата отпадения от хозяев / Date of detachment from host	Дата начала развития / число дней развития при данной температуре / Development start date / days of development at the given temperature		
		Июнь / June + 10	Июль / July + 16	Август / August + 14
	1–15 мая / May		19.07/11	/29
	16–31 мая / May		19.07/11	/29
	1–15 июня / June		19.07/11	/29
	16–30 июня / June		21.07/9	/31
	1–15 июля / July			
	16–31 июля / July			
	1–15 августа / August			
	16–31 августа / August			
Возможные сроки развития личинок / Possible dates of larval development	1–15 мая / May	1.06/30	/22	
	16–31 мая / May	1.06/30	/22	
	1–15 июня / June	10.06/20	/31	
	16–30 июня / June	20.06/10	/31	/ 8
	1–15 июля / July		10.07/21	/26
	16–31 июля / July			
	1–15 августа / August			
	16–31 августа / August			
Возможные сроки развития нимф / Possible dates of nymph development	1–15 мая / May	1.06/30	/31	/1
	16–31 мая / May	1.06/30	/31	/1
	1–15 июня / June	10.06/20	/31	/9
	16–30 июня / June	20.06/10	/31	/15
	1–15 июля / July			

(получение значения термальных констант овогенеза и эмбриогенеза) только в самом конце августа, что, по всей видимости, не позволяет выжить вылупившимся из них личинкам, вероятность зимовки которых очень незначительна. Таким образом, основной механизм, обеспечивающий стабильное воспроизводство популяций лесного клеща в данном регионе, – это, видимо, диапауза отложенных яиц, которая позволяет начать их развитие в июне следующего сезона. Эти адаптивные механизмы жизненного цикла *I. ricinus* дают возможность напитаться и благополучно перезимовать части личиночной гемипопуляции, появившейся из таких яйцекладок. Несмотря на довольно прохладное лето, теплообеспеченность в этот период составляет около 1000°C , что удовлетворяет потребности в тепле напитавшихся в мае – июне личинок и нимф переносчика в определенный временной отрезок.

Обсуждение. Анализ показывает, что лимитирующими факторами, ограничивающими распространение *I. persulcatus* в Магаданской области, выступают адаптивные видовые механизмы его жизненного цикла, препятствующие диапаузе сытых самок. Таким образом, возможность инфицирования населения в Магаданской области может быть основана только на регулярном заносе туда зараженных нимф, линяющих в имаго в следующем сезоне. Появление независимых популяций *I. persulcatus*

в Магаданской области теоретически возможно, если среднемесячная температура поверхности почв в апреле повысится не менее чем до $+2...+5^{\circ}\text{C}$, а в мае до $+15^{\circ}\text{C}$. Это будет способствовать ранней активации перезимовавших голодных имаго и получению необходимого количества тепла для завершения овогенеза у части напитавшихся особей в мае – начале июня. При таком режиме развития яйцекладок, отложенных после этого срока, будет происходить до середины июня – июля, и активировавшиеся личинки таежного клеща получат возможность напитаться и благополучно перезимовать. При этом теплообеспеченность поверхности почв с июня по август должна быть не ниже 800°C , причем на первую половину летнего сезона должно приходиться не менее 460°C , необходимых для завершения эмбриогенеза.

Адаптивные возможности *I. ricinus* довольно велики, несмотря на значительные потребности в сумме тепла, необходимые для завершения развития его отдельных стадий жизненного цикла. Суровый климат анализируемого региона сильно смягчается североатлантическим теплым течением Гольфстрима. Тем не менее развитие яиц, напитавшихся личинок и нимф, даже в таких относительно мягких для Норвегии условиях, осуществляется лишь в летние месяцы. Наши расчеты показывают, что стабильное воспроизводство сменяющихся

генераций переносчика обеспечивается главным образом пластичностью его цикла развития. В этом контексте существование независимых популяций лесного клеща на западном побережье Норвегии во многом обусловлено получением термальных констант перезимовывшими ранее яйцекладками в необходимый отрезок времени (в июне – июле). В противном случае значительное расширение северных границ ареала переносчика в недалеком прошлом было бы практически невозможным. Укоренение *I. ricinus* на западном побережье Норвегии обеспечивают адаптивные механизмы его жизненного цикла (возможность зимовки отложенных яйцекладок). В случае дальнейшего потепления климата в этом районе, особенно в весенний период, воспроизводство генерации может осуществляться за счет диапаузирующих сытых самок, приступающих к яйцекладке в следующем сезоне, что приведет, соответственно, к постепенному росту численности популяций переносчика. Для этого в апреле – мае теплообеспеченность почвенного покрова должна составлять в сумме около 450–500 °С, что даст возможность самкам набрать термальную константу овогенеза и приступить к яйцекладке в июне.

Заключение. В ходе исследования установлены условия формирования независимых популяций основных переносчиков ИКБ (КЭ) на севере Евразии. На примерах Магаданской области и западного побережья Норвегии было продемонстрировано, что расширение их ареалов определяется возможностью получения определенной суммы почвенных температур (видовой термальной константой), необходимой для завершения метаморфоза, последовательных фаз циклов развития *I. persulcatus* и *I. ricinus*. Полученные результаты будут способствовать объективному прогнозированию динамики границ области распространения этих возбудителей в северном направлении в связи с предполагаемыми климатическими изменениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коренберг Э.И., Помелова В.Г., Осин Н.С. Природно-очаговые инфекции, передающиеся иксодовыми клещами. М.: Комментарий, 2013. 463 с.
2. Kahl O, Gray JS. The biology of *Ixodes ricinus* with emphasis on its ecology. *Ticks Tick Borne Dis.* 2023;14(2):102114. doi: 10.1016/j.ttbdis.2022.102114
3. Коренберг Э.И., Сироткин М.Б., Ковалевский Ю.В. Общая схема циркуляции возбудителей иксодовых клещевых боррелиозов // Зоологический журнал. 2016. Т. 95. № 3. С. 283–299. doi: 10.7868/S0044513416030090
4. Eisen L. Vector competence studies with hard ticks and *Borrelia burgdorferi* sensu lato spirochetes: A review. *Ticks Tick Borne Dis.* 2020;11(3):101359. doi: 10.1016/j.ttbdis.2019.101359
5. Estrada-Peña A, Fernández-Ruiz N. A retrospective assessment of temperature trends in Northern Europe reveals a deep impact on the life cycle of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). *Pathogens.* 2020;9(5):345. doi: 10.3390/pathogens9050345
6. Medlock JM, Hansford KM, Bormane A, et al. Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* tick in Europe. *Parasit Vectors.* 2013;6:1. doi: 10.1186/1756-3305-6-1
7. Korenberg EI, Sirotkin MB, Kovalevskii YV. Adaptive features of the biology of closely related species of ixodid ticks that determine their distribution (illustrated on the example of the taiga tick *Ixodes persulcatus* Sch. 1930 and the castor bean tick *Ixodes ricinus* L. 1758). *Biol Bull Rev.* 2021;11(6):602-615. doi: 10.1134/S2079086421060050
8. Ясюкевич В.В., Казакова Е.В., Попов И.О., Семенов С.М. Распространение клещей *Ixodes ricinus* L., 1758 и *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Parasitiformes, Ixodidae) на территории России и соседних стран и наблюдаемые изменения климата // Доклады Российской Академии Наук. 2009. Т. 427. № 5. С. 688–692.
9. Попов И.О., Семенова С.М., Попова Е.Н. Оценка климатогенной угрозы распространения таежного клеща *Ixodes persulcatus* на территории России и стран сохранившихся в начале XXI века // Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 231–237. doi: 10.31857/S2587556621020138
10. Estrada-Peña A, Venzal JM, Sánchez Acedo C. The tick *Ixodes ricinus*: Distribution and climate preference in the western Palearctic. *Med Vet Entomol.* 2006;20(2):189-197. doi: 10.1111/j.1365-2915.2006.00622.x
11. Tokarevich N, Tronin A, Gnativ B, Revich B, Blinova O, Evengard B. Impact of air temperature variation on the ixodid ticks habitat and tick-borne encephalitis incidence in the Russian Arctic: The case of the Komi Republic. *Int J Circumpolar Health.* 2017;76(1):1298882. doi: 10.1080/22423982.2017.1298882
12. Tronin AA, Tokarevich NK, Gnativ BR. Abundance of *Ixodes persulcatus* ticks in Komi Republic as a function of an air temperature. *Russian Journal of Infection and Immunity.* 2019;9(5-6):811-816. doi: 10.15789/2220-7619-2019-5-6-811-816
13. Tokarevich NK, Tronin AA, Blinova OV, et al. The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia. *Global Health Action.* 2011;4:8448. doi: 10.3402/gha.v4i0.8448
14. Сироткин М.Б., Коренберг Э.И. Влияние абиотических факторов на разные этапы развития таежного (*Ixodes persulcatus*) и европейского лесного (*Ixodes ricinus*) клещей // Зоологический журнал. 2018. Т. 87. № 4. С. 379–396. doi: 10.7868/S0044513418040013
15. Noll M, Wall R, Makepeace BL, et al. Predicting the distribution of *Ixodes ricinus* and *Dermacentor reticulatus* in Europe: A comparison of climate niche modelling approaches. *Parasit Vectors.* 2023;16(1):384. doi: 10.1186/s13071-023-05959-y
16. Докучаев Н.Е. Обнаружение таежного клеща – *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Parasitiformes, Ixodidae) в Магаданской области // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2015. № 1. С. 123–125.
17. Ямборко А.В., Третьяков К.А., Муравьева В.П. Первые находки *Ixodes persulcatus* (Acarina, Ixodidae) в Магаданской области // Зоологический журнал. 2015. Т. 94. № 5. С. 499–504; 16. doi: 10.7868/S0044513415050128
18. Hvidsten D, Frajford K, Gray JS, et al. The distribution limit of the common tick, *Ixodes ricinus*, and some associated pathogens in north-western Europe. *Ticks Tick Borne Dis.* 2020;11(4):101388. doi: 10.1016/j.ttbdis.2020.101388
19. Soleng A, Edgar KS, Paulsen KM, et al. Distribution of *Ixodes ricinus* ticks and prevalence of tick-borne

- encephalitis virus among questing ticks in the Arctic Circle region of northern Norway. *Ticks Tick Borne Dis.* 2018;9(1):97-103. doi: 10.1016/j.ttbdis.2017.10.002
20. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Ландшафты. Природа мира. М.: Мысль, 1989. 504 с.
21. Сироткин М.Б., Коренберг Э.И. Термальные константы развития клещей *Ixodes persulcatus* и *Ixodes ricinus*, определяющие продолжительность их жизненного цикла и распространение // Зоологический журнал. 2022. Т. 101. № 3. С. 256–261. doi: 10.31857/S0044513422030126

REFERENCES

- Korenberg EI, Pomelova VG, Osin NS. [Natural Focal Infections Transmitted by Ixodid Ticks.] Moscow: Kommentariy Publ.; 2013. (In Russ.)
- Kahl O, Gray JS. The biology of *Ixodes ricinus* with emphasis on its ecology. *Ticks Tick Borne Dis.* 2023;14(2):102114. doi: 10.1016/j.ttbdis.2022.102114
- Korenberg EI, Sirotkin MB, Kovalevskii YuV. A general scheme of the circulation of ixodid tick-borne borreliosis pathogens in natural foci of Eurasia. *Zoologicheskii Zhurnal.* 2016;95(3):283-299. (In Russ.) doi: 10.7868/S0044513416030090
- Eisen L. Vector competence studies with hard ticks and *Borrelia burgdorferi sensu lato* spirochetes: A review. *Ticks Tick Borne Dis.* 2020;11(3):101359. doi: 10.1016/j.ttbdis.2019.101359
- Estrada-Peña A, Fernández-Ruiz N. A retrospective assessment of temperature trends in Northern Europe reveals a deep impact on the life cycle of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). *Pathogens.* 2020;9(5):345. doi: 10.3390/pathogens9050345
- Medlock JM, Hansford KM, Bormane A, et al. Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* tick in Europe. *Parasit Vectors.* 2013;6:1. doi: 10.1186/1756-3305-6-1
- Korenberg EI, Sirotkin MB, Kovalevskii YV. Adaptive features of the biology of closely related species of ixodid ticks that determine their distribution (illustrated on the example of the taiga tick *Ixodes persulcatus* Sch. 1930 and the castor bean tick *Ixodes ricinus* L. 1758). *Biol Bull Rev.* 2021;11(6):602-615. doi: 10.1134/S2079086421060050
- Yasyukevich VV, Kazakova EV, Popov IO, Semenov SM. [Distribution of ticks *Ixodes ricinus* L., 1758 and *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Parasitiformes, Ixodidae) on the territory of Russia and neighboring countries and observed climate changes.] *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk.* 2009;427(5):688-692. (In Russ.)
- Popov IO, Semenov SM, Popova EN. Assessment of climatogenic hazard of the taiga tick *Ixodes persulcatus* distribution in and neighboring countries at the beginning of the 21st century. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya.* 2021;85(2):231-237. (In Russ.) doi: 10.31857/S2587556621020138
- Estrada-Peña A, Venzal JM, Sánchez Acedo C. The tick *Ixodes ricinus*: Distribution and climate preference in the western Palearctic. *Med Vet Entomol.* 2006;20(2):189-197. doi: 10.1111/j.1365-2915.2006.00622.x
- Tokarevich N, Tronin A, Gnativ B, Revich B, Blinova O, Evengard B. Impact of air temperature variation on the ixodid ticks habitat and tick-borne encephalitis incidence in the Russian Arctic: The case of the Komi Republic. *Int J Circumpolar Health.* 2017;76(1):1298882. doi: 10.1080/22423982.2017.1298882
- Tronin AA, Tokarevich NK, Gnativ BR. Abundance of *Ixodes persulcatus* ticks in Komi Republic as a function of an air temperature. *Russian Journal of Infection and Immunity.* 2019;9(5-6):811-816. doi: 10.15789/2220-7619-2019-5-6-811-816
- Tokarevich NK, Tronin AA, Blinova OV, et al. The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia. *Global Health Action.* 2011;4:8448. doi: 10.3402/gha.v4i0.8448
- Sirotkin MB, Korenberg EI. Influence of abiotic factors on different developmental stages of the taiga tick *Ixodes persulcatus* and the sheep tick *Ixodes ricinus*. *Entomol Rev.* 2018;98(4):496-513. doi: 10.1134/S0013873818040115
- Noll M, Wall R, Makepeace BL, et al. Predicting the distribution of *Ixodes ricinus* and *Dermacentor reticulatus* in Europe: A comparison of climate niche modelling approaches. *Parasit Vectors.* 2023;16(1):384. doi: 10.1186/s13071-023-05959-y
- Dokuchaev NE. Discovery of the Taiga tick – *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 (Parasitiformes, Ixodidae) in Magadan Oblast. *Vestnik SVNC DVO RAN.* 2015;(1):123-125. (In Russ.) Accessed March 20, 2025. http://vestnik.north-east.ru/2015/n1/ft_Dokuchaev.pdf
- Yamborko AV, Tretyakov KA, Muravyova VP. The first findings of *Ixodes persulcatus* (Acarina, Ixodidae) in Magadan province. *Entomol Rev.* 2015;95(5):666-671. doi: 10.1134/S0013873815050103
- Hvidsten D, Frafjord K, Gray JS, et al. The distribution limit of the common tick, *Ixodes ricinus*, and some associated pathogens in north-western Europe. *Ticks Tick Borne Dis.* 2020;11(4):101388. doi: 10.1016/j.ttbdis.2020.101388
- Soleng A, Edgar KS, Paulsen KM, et al. Distribution of *Ixodes ricinus* ticks and prevalence of tick-borne encephalitis virus among questing ticks in the Arctic Circle region of northern Norway. *Ticks Tick Borne Dis.* 2018;9(1):97-103. doi: 10.1016/j.ttbdis.2017.10.002
- Isachenko AG, Shlyapnikov AA. [Landscapes. Nature of the World.] Moscow: Mysl Publ.; 1989. (In Russ.)
- Sirotkin MB, Korenberg EI. Thermal constants of the development of *Ixodes persulcatus* and *Ixodes ricinus* ticks, which determine the duration of their life cycle and their distributions. *Zoologicheskii Zhurnal.* 2022;101(3):256-261. (In Russ.) doi: 10.31857/S0044513422030126

Сведения об авторе:

✉ Сироткин Михаил Борисович – научный сотрудник лаборатории переносчиков инфекций; e-mail: m.sirotkin87@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1202-5798>.

Информация о вкладе автора: автор подтверждает единоличную ответственность за концепцию и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретацию результатов, а также подготовку рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Минздрава России (121030900383-2).

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Статья получена: 08.10.24 / Принята к публикации: 10.03.25 / Опубликовано: 28.03.25

Author information:

✉ Mikhail B. **Sirotkin**, Researcher, Laboratory of Disease Vectors; e-mail: m.sirotkin87@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1202-5798>.

Author contribution: The author confirms sole responsibility for the study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research was carried out within the framework of the state assignment No. 121030900383-2 of the Russian Ministry of Health.

Conflict of interest: The author has no conflicts of interest to declare.

Received: October 8, 2024 / Accepted: March 10, 2025 / Published: March 28, 2025