

УДК 574.9

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ОГРАНИЧИВАЮЩИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТАЕЖНОГО КЛЕЩА *IXODES PERSULCATUS* НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И СОСЕДНИХ СТРАН

© 2020 г. И. О. Попов^{1,*}, Е. Н. Попова^{2,**}

Поступило 17.02.2020 г.

После доработки 04.05.2020 г.

Принято к публикации 06.05.2020 г.

Идентификация климатических условий, определяющих распространение видов, — важный этап моделирования их ареалов. На основании данных о фактическом распространении таежного клеща *Ixodes persulcatus*, переносчика ряда опасных заболеваний человека и животных, и анализа литературы были выявлены климатические факторы, ограничивающие его распространение. Путем итерационного перебора по сетке граничных значений этих факторов уточнены предельные климатические условия, формирующие ареал этого клеща.

Ключевые слова: иксодовые клещи, моделирование ареалов, распространение видов

DOI: 10.31857/S2686739720070142

ВВЕДЕНИЕ

Таежный клещ *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 представляет собой кровососущего эктопаразита широкого круга видов позвоночных. Важность его изучения обусловлена тем, что он является переносчиком возбудителей ряда опасных заболеваний человека и животных: клещевого вирусного энцефалита, клещевых боррелиозов (болезнь Лайма), туляремии, бабезиоза и др. [1] Ареал таежного клеща очень обширен. Основная его часть находится на территории Российской Федерации. Также имеются зоны распространения на юге Финляндии, на северо-востоке Китая, в Монголии, Северной Корее, на северных склонах Тянь-Шаня. Отдельные очаги обнаруживаются в Закарпатье, Белоруссии и странах Балтии [1–4].

Климатические изменения, которые происходят в настоящее время и, очевидно, будут происходить в ближайшем будущем, влияют на территории распространения различных организмов, в том числе и иксодовых клещей. В связи с этим актуальной становится проблема модельной оценки происшедших и будущих климатогенных изменений ареалов. К сегодняшнему дню разрабо-

тано множество самых разных, в том числе сложных и изощренных, методов моделирования распространения видов [5, 6]. Тем не менее, нередко продолжают использовать и простые алгоритмы. Одним из таких простых методов является обнаружение предельных значений климатических факторов — предикторов, ограничивающих возможность устойчивого существования популяций исследуемого вида. Полученную таким способом модель можно рассматривать как простое бинарное дерево решений, каждый узел которого содержит одно условие, а одна из ветвей каждого узла, соответствующая невыполнению условия, дальше не ветвится и оканчивается листом дерева, идентифицирующем отрицательный класс (“вне ареала”).

В настоящей работе был применен именно такой подход к идентификации климатических условий, определяющих распространение таежного клеща *I. persulcatus* на территории России и соседних стран.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для моделирования климатических условий распространения таежного клеща была произведена оцифровка карты его ареала, соответствующая ситуации 50–70-х годов XX века [1]. Поверхность северного полушария была разбита на регулярные пространственные ячейки размером $1^\circ \times 1^\circ$. Каждой ячейке были присвоены метки 0 или 1, обозначающие нахождение центров этих ячеек вне или внутри ареала. В результате была создана мат-

¹ Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, Москва, Россия

² Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: igor_o_popov@mail.ru

**E-mail: en_popova@igras.ru

Таблица 1. Климатические условия распространения таежного клеща *I. persulcatus*

САТ (порог 10°C), °C × сут	Средняя температура января, °C	Годовая сумма осадков, мм	Среднегодовая температура, °C
>1340	<−5.0	>339	<5.3

рица бинарных значений, содержащая информацию о фактическом ареале таежного клеща.

В качестве источника климатических данных использовалась база результатов метеорологических наблюдений суточного разрешения, созданная во Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировом центре данных (ВНИИГМИ-МЦД, <http://www.meteo.ru>) и содержащая результаты метеонаблюдений 499 метеостанций. Эти данные были интерполированы на пространственную сетку с шагом 1° по методике, описанной в [7]. Для целей данной работы были использованы осредненные значения для периода 1951–1980 гг., соответствующего оцифрованному ареалу клеща. Обработка использованной базы метеоданных производилась с помощью программ, написанных на языке Fortran77.

Согласно литературным данным, *I. persulcatus* образует устойчивые популяции при приближительных значениях суммы активных температур не менее 1400°C (при пороге 10°C) и среднемесячной температуре января не более −5°C. Кроме того, таежный клещ очень чувствителен к пере-

сыханию. В нашей работе было проанализировано влияние двух основных факторов, определяющих влажностный режим: годовая сумма осадков и среднегодовая температура. Таким образом, были отобраны четыре климатические критерия, влияющие на распространение таежного клеща: нижняя граница среднегодовой температуры воздуха, верхняя граница средней температуры января, нижняя граница годовой суммы осадков и нижняя граница суммы активных температур (САТ) при пороге 10° C. (Нижняя и верхняя границы соответствуют значениям климатических параметров, выше или ниже которых популяции вида могут устойчиво существовать.)

Для уточнения значений этих границ был проведен сетчатый поиск среди всех возможных их комбинаций в пределах, соответствующих климатическим характеристикам фактического ареала, и шагом, соответствующим разрешающей способности использованной базы метеоданных. Для каждой комбинации вычислялась матрица расчетного климатического ареала и определялась точность его совпадения с фактическим ареалом. В качестве метрики для оценки точности

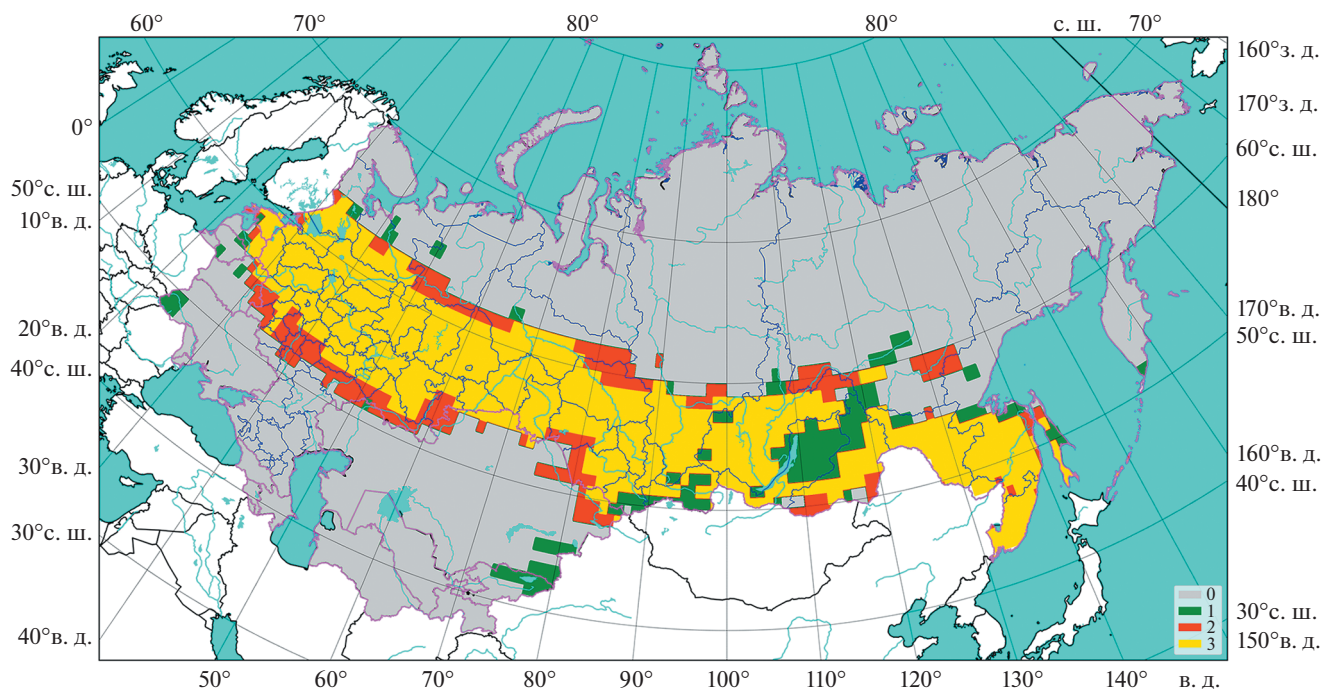


Рис. 1. Фактический и расчетный ареалы *I. persulcatus*. Обозначения: 1 – только фактический ареал, 2 – только расчетный ареал, 3 – совпадение ареалов.

совпадения использовалась каппа Коэна. На основе этих расчетных данных была отобрана комбинация значений, соответствующая лучшему совпадению (т.е. максимальному значению каппы Коэна). Расчеты проводились с помощью программ, написанных на языке программирования Python 3.

Результаты оценки условий распространения *I. persulcatus* визуализировались с помощью карты-схемы, отражающей сходство и различие фактического и расчетного ареалов. На данной карте-схеме каждая пространственная ячейка закрашена одним из четырех способов, отражающих, находится ли эта ячейка в пределах обоих ареалов, только в одном из них или вне обоих. Построение карты-схемы было осуществлено с помощью пакета электронной картографии Base-
map для языка Python [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлены уточненные значения климатических условий распространения таежного клеща, установленные в результате проведенных исследований. Использование этих условий для моделирования климатического ареала дает наилучшее совпадение расчетного и фактического ареалов (каппа Коэна равна 0.75, что согласно общепринятой градации соответствует хорошей степени совпадения) [9].

На рис. 1 представлена карта-схема, отображающая отличия и сходства расчетного и фактического ареалов.

Как видно из рис. 1, расчетный ареал *I. persulcatus* имеет ряд отличий от фактического. В частности, в него не вошли Карпаты, Тянь-Шань и горные системы Забайкалья, что можно объяснить трудностью интерполяции данных метеостанций в горных регионах и других территориях со сложным рельефом [10, 11]. Кроме того, клещ на этих территориях, как правило, имеет сложную структуру ареала, зависящую от высотного градиента температур и иных климатических факторов. При переходе на более мелкий масштаб эти локальные особенности ландшафта могут быть усреднены и потеряны. Несмотря на указанные различия, совпадение фактических и расчетных ареалов можно признать удовлетворительным.

Таким образом, в результате проведенных исследований были идентифицированы климатические условия распространения таежного клеща *I. persulcatus* на территории России и соседних стран и проведена их верификация путем сравнения фактического и расчетного ареалов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены за счет средств темы НИР по Плану Фундаментальных научных исследований государственных академий наук № 0148–2019–0009, АААА–А19–119022190173–2 “Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России”. Получение и обработка метеорологических данных были проведены при финансировании темы 3.1.: “Развитие методов и технологий климатического обслуживания, включая совершенствование моделей прогнозирования климата, методов оценки последствий изменения климата, климатического обоснования национальных адаптационных планов и мониторинга эффективности адаптаций” плана НИТР Росгидромета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таежный клещ *Ixodes persulcatus* Schulze (Acarina, Ixodidae). Морфология, систематика, экология, медицинское значение. Л.: Издательство «Наука», Ленинградское отделение; 1985.
2. Kolonin G. V. Fauna of Ixodid Ticks of the World (Acarina, Ixodidae). Moscow. 2009.
<http://www.kolonin.org/1.html>
3. Estrada-Peña A., Farkas R., Jaenson T.G.T., Koenen F., Madder M., Pascucci I., Salman M., de Sousa R., Walker A.R. In: Salman, M., Tarrés-Call, J., eds. Ticks and Tick-borne Diseases. Geographical Distribution and Control Strategies in the Euro-Asia Region. Wallingford, Oxfordshire, Cambridge: CAB International. 2013. P. 77–97.
4. Филуннова Н.А. О видах группы *Ixodes persulcatus* [Parasitiformes: Ixodidae]. VI. Особенности ареалов *I. pavlovskyi* Pom. и *Ixodes persulcatus* Schulze в связи с их палеогенезом // Паразитология. 1971. Том V. Вып. 5. С. 385–391.
5. Peterson A. T., Soberón J., Pearson R. G., et al. Ecological Niches and Geographic Distributions. Princeton and Oxford: Princeton University Press; 2011.
<https://doi.org/10.23943/princeton/9780691136868.001.0001>
6. Попова Е.Н., Попов И.О. Моделирование потенциальных климатических ареалов биологических видов и их климатогенных изменений // Фундаментальная и Прикладная Климатология. 2019. Т. 1. С. 58–75.
7. Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. Выявление климатогенных изменений. М.: Издательский центр “Метеорология и гидрология”. 2006.
8. Plas J.V. Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data. Beijing, Boston, Farnham, Sebastopol, Tokyo: O'Reilly. 2016.
9. Boslaugh S. Statistics in a Nutshell. Beijing, Cambridge, Farnham, Köln, Sebastopol, Tokyo: O'Reilly. 2013.
10. Mielke H.W. Patterns of Life: Biogeography of a Changing World. Boston: Unwin Hyman, Inc.; 1989.
11. Мазиров М.А., Васенев И.И., Илахун А. Агроэкологическая, почвенная и климатическая оценка горной системы Тянь-Шаня // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 2. С. 32–34.

IDENTIFICATION OF CLIMATIC CONDITIONS RESTRICTING THE DISTRIBUTION OF THE TAIGA TICK *IXODES PERSULCATUS* IN THE TERRITORY OF RUSSIA AND NEIGHBORING COUNTRIES

I. O. Popov^{a,#} and E. N. Popova^{b,##}

^a *Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russian Federation*

^b *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: igor_o_popov@mail.ru*

^{##} *E-mail: en_popova@igras.ru*

Identification of climatic conditions that determine the distribution of species is an important stage in modeling their geographical ranges. Based on data on the actual distribution of the taiga tick *Ixodes persulcatus*, a vector of a number of dangerous diseases of humans and animals, and analysis of the literature, climatic factors limiting its distribution were found. By iterating over the grid of the boundary values of these factors, the limiting climatic conditions that form geographical range of this tick have been clarified.

Keywords: ixodid ticks, habitat modeling, species distribution