

Т.М. Ковалева

Теоретические аспекты математического моделирования динамики развития популяции клещей

Ключевые слова: клещевые инфекции, жизненный цикл клещей, фазы развития, заболеваемость населения Алтайского края, динамика популяций.

Key words: tick infections, tick's life cycle, development stages, the sickness rate of the population on the territory of Altai region, population dynamics.

Проблема заболеваемости клещевыми инфекциями на территории Алтайского края остается актуальной в связи с ежегодным ростом числа зараженных. В 2009 г. количество обратившихся в поликлиники за помощью существенно превысило показатели предыдущего года. С апреля по сентябрь 2009 г. пострадали от укусов 15 906 человек, из них 4 247 детей (5252 жителя Барнаула, в том числе 1161 ребенок). Отмечается учащение случаев инфицированности клещей (клещевой вирусный энцефалит подтвержден у 75 жителей края (2008 г. – 44), в том числе у 6 детей (2008 г. – 3)), увеличение количества особей. Тревожные показатели по заболеваемости указывают на необходимость дальнейших исследований и разработки комплекса мер по снижению риска заражения населения.

Современная экологическая обстановка в Алтайском крае в целом благоприятна для развития туристско-рекреационной деятельности, однако можно выделить очаги с устойчивыми показателями заражения населения природноочаговыми болезнями. Вероятность возникновения эпидемиологических вспышек заболевания приезжих отдыхающих и местных жителей весьма высока. Она обусловлена популяризацией курортных и туристических зон на территории отдельных районов Алтайского края и увеличивающимся вследствие этого потоком организованных рекреантов и диких туристов, а также возросшему интересу инвесторов к планированию и строительству рекреационно-туристических объектов. В проектно-планировочный период особенно актуален вопрос о наличии в природной зоне очагов с риском заражения эндемичными заболеваниями, особенно для территорий, которые до настоящего времени целенаправленно не использовались для туризма и отдыха.

В исследовании рассматриваются два вида клещевых инфекций – сибирский клещевой риккетсиоз и клещевой энцефалит, отмеченные на всей территории края, в особенности в предгорно-горных районах, обладающих высоким потенциалом для развития туристско-рекреационной деятельности.

Для прогнозирования уровня заболеваемости и локализации наибольшего количества клещей-пере-

носчиков риккетсиоза и энцефалита необходимо провести комплексное исследование и построить адекватную математическую модель. Для этого нужно отследить закономерности биологического цикла развития клещей рассматриваемых видов, выявить факторы, влияющие на качество жизни паукообразных, благоприятные условия их существования. Также важно определить уровень значимости каждого фактора, его роль в математической модели и возможную погрешность.

Исторические первые исследования по применению математического моделирования в экологии относятся к 20–30-м гг. XX в. Наиболее широкое использование математические модели в экологии получили в конце 1960-х гг. с развитием ЭВМ. Самым распространенным приемом построения пространственно-распределенных моделей является использование уравнений в частных производных. После изучения литературы по математическому моделированию динамики популяций сделан вывод, что оптимальным математическим аппаратом, адекватно описывающим развитие популяции, является теория обыкновенных дифференциальных уравнений. Для исследования сложных процессов в объектах, изменяющихся с течением времени, применяются дескриптивные математические модели в виде дифференциальных уравнений (или систем дифференциальных уравнений). В связи с тем, что цикл жизни клеща состоит из нескольких фаз развития, то система дифференциальных уравнений будет состоять из уравнений, характеризующих динамику развития в каждой фазе.

В процессе исследования особенностей жизненного цикла клеща выявлены четыре фазы развития: от появления кладки яиц до развития взрослой особи – имаго. После изучения особенностей развития проведена формализация каждой фазы. В итоге получилась следующая схема развития.

I фаза развития – рождение клеща. Начинается после того, как самка клеща откладывает яйца в верхнюю почвенную прослойку. Обозначим начальное количество яиц k_0 . Учитывая, что за одну кладку самка оставляет от 2000 до 5000 яиц, то $k_0 \in [2000; 5000]$.

Пусть шаг по времени составляет одни сутки. Условимся считать, что количество дней в месяце 30, количество дней в году – 365. Время развития яиц в первую фазу обозначим через t_1 . В зависимости от природных условий через несколько недель, иногда через семь месяцев, появляются шестиногие

личинки длиной около 1 мм. Поэтому примем, что $t_1 \in [7; 210]$.

В первую фазу развития яйца лежат в верхней подстилке, и на них влияет совокупность факторов $F_1 = (f_1, \dots, f_n)$.

II фаза развития – появление личинок. Начинается, когда за время t_1 из k_0 яиц появляются личинки. За это время под воздействием совокупности факторов F_1 погибают k_0^1 яиц, поэтому из кладки остается только $k_1 = k_0 - k_0^1$ личинок, выживших при условиях влияния факторов $F_2 = (f^1, \dots, f^n)$.

Личинки ищут хозяина-донора t_2^0 дней, где $t_2^0 \in [0; 730]$, затем питаются на животном t_2^1 дней, где $t_2^1 \in [2; 5]$. Таким образом, вторая фаза длится $t_2 = t_2^0 + t_2^1$. Ко второй фазе подходят k_1 личинок. За время t_2^0 (пока ищут хозяина-донора) под влиянием факторов F_2 погибают k_1^0 личинок, оставшиеся $k_2 = k_1 - k_1^0$ личинок проходят линьку и превращаются в восьминогих нимф.

III фаза развития – перерождение личинок в нимф. В третью фазу вступают k_2 нимф. В течение их жизни на них влияет та же совокупность факторов $F_2 = (f^1, \dots, f^n)$. Следуя жизненному циклу, нимфы ищут хозяина-донора t_3^0 дней (можно заметить, что $t_3^0 = t_2^0$), затем питаются на животном t_3^1 дней, где $t_3^1 \in [2; 7]$. Третья фаза развития клеща длится $t_3 = t_3^0 + t_3^1$ дней.

За время t_3^0 погибают k_2^0 нимф, оставшиеся $k_3 = k_2 - k_2^0$ нимф линяют и превращаются в имаго (взрослые самцы и самки клеща).

IV фаза развития – появление имаго. После третьей фазы развития в природе появляются k_3 взрослых клещей, способных к укусу человека. Допустим, что в этом количестве имаго k_3^0 – число самцов, k_3^1 – число самок. Поэтому $k_3 = k_3^0 + k_3^1$.

Таким образом, в течение жизненного цикла из k_0 яиц вырастают k_3 клещей:

$$k_3 = k_0 - \sum_{i=0}^2 k_i^0; \quad D = \sum_{i=0}^2 k_i^0 - \text{особей погибают.}$$

Это происходит за время $T = \sum_{m=1}^3 t_m$.

В целом от одной кладки яиц одной самки за период времени T на свет появляются $k_3 = k_0 - D$ жизнеспособных взрослых клещей.

Основное влияние на жизнь клеща оказывает совокупность факторов $F_1 = (f_1, \dots, f_n)$ и $F_2 = (f^1, \dots, f^n)$.

В число факторов F_1 , действующих на кладку яиц в первой фазе развития, входят в основном только абиотические и доля случайной гибели яиц от внешних воздействий.

В число факторов $F_2 = (f^1, \dots, f^n)$, влияющих на жизнеспособность личинок, нимф и взрослых особей, входит гораздо большее число разнообразных факторов. При изучении популяции клещей можно выделить основные эпидемиологические параметры, влияющие на жизненный цикл насекомых и определяющие возможность заражения населения [1]. При трансмиссивном пути заражения в очаге клещевых инфекций происходит взаимодействие факторов, которые можно структурно разделить на абиотические, биотические, географические, антропогенные и социально-экономические.

К абиотическим факторам относятся теплообеспеченность, увлажнение, сумма среднемесячных температур осенью предыдущего года (июль–август), сумма среднемесячных температур (ноябрь–февраль); сумма осадков в июне [2].

К биотическим факторам относятся: соблюдение жизненного цикла развития клеща, численность и активность потомства, обеспечение наличия позвоночного хозяина-донора на каждом этапе развития, плотность распространения и инфицированность клещей, численность переносчиков-распространителей, соблюдение условий переноса и распространения инфекции и т.д.

На каждом этапе жизни клеща ему необходим позвоночный хозяин, являющийся донором. При прерывании цепи развития жизнедеятельности клеща на любом из этапов перерождения численность популяции клеща учетной кладки уменьшается по причине гибели от голода.

Необходимо учитывать период диапаузы, который может возникать при отсутствии донора или неблагоприятных внешних условиях и может длиться до 3-х лет. От биотических факторов зависит длительность цикла развития поколения клещей: от 6 месяцев до 8 лет. В среднем время развития составляет 2–5 лет. Каждая диапауза удлинит цикл развития на несколько лет.

Самка клеща откладывает яйца в надпочвенную подстилку экосистемы. В зависимости от внешних географических природных условий для дальнейшей жизнедеятельности личинок и климатических факторов выживает некоторое количество клещей из кладки. Эти факторы влияют также на уровень активности клещей, который при благоприятных условиях очень высок.

Вирусы, которые впоследствии переносят клещи, заражая животных и человека, могут передаваться между особями, находящимися на разных стадиях развития, а также путем трансвариального переноса (от оплодотворенной самки к яйцам). Обычно личинки и нимфы становятся инфицированными при питании кровью хозяев-вирусоносителей и передают вирус на стадиях нимфы другому теплокровному позвоночному. Степень заражения также зависит от восприимчивости клеща к вирусу, численности и состава позвоночных хозяев.

Рассмотрим возможные пути заражения клещевыми инфекциями (рис. 1, 2).



Рис. 1. Экологическая цепь заражения клещевым энцефалитом

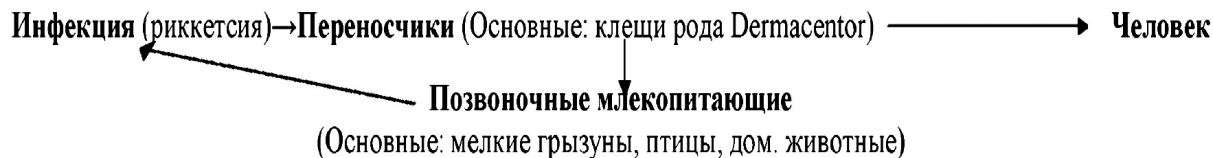


Рис. 2. Экологическая цепь заражения клещевым риккетсиозом

В числе географических факторов рассматриваются особенности ландшафта исследуемой территории и возможности проживания на ней определенного вида клещей. Необходимо учитывать географические предпосылки жизнедеятельности клещей, переносящих вирусы клещевого энцефалита и сибирского клещевого риккетсиоза. Переносчиком первого вида заболевания является таежный клещ *Ixodes persulcatus*, а второй вид заболевания переносят несколько видов клещей рода *Dermacentor* и *Haemaphysalis*. Переносчики клещевого энцефалита живут преимущественно в лесных зонах, широко распространены в лесах южной части таежной зоны. Клещи рода *Dermacentor* обитают в лесостепных областях, предпочитают сырые кустарниково-луговые участки. Таким образом, вероятность заражения клещевым энцефалитом более высока на лесных территориях, а сибирским клещевым риккетсиозом – в степных зонах с малым лесным покровом.

К числу антропогенных факторов отнесем влияние человека на изменение ландшафтной структуры территории. Это проявляется в распаханности земель, вырубке лесов, наличии сенокосных угодий, пастбищ. Также необходимо учесть выгоревшие территории; наличие населенных пунктов, площадь земель, которые они занимают в рамках площади каждого района Алтайского края, расположение сел и городов, их плотность и величину.

В число социально-экономических факторов входит интенсивность связей населения с природными

очагами (в туристических зонах с необработанными от инфекций территориями, сельских местностях, богатых ресурсами, природных зонах интенсивность связей населения многократно увеличивается, отсюда идет рост риска заражения клещевыми инфекциями); размер иммунной прослойки (количество населения, которым проведена полная вакцинация от клещевых инфекций), наличие здравпунктов, уровень доходов населения, а также уровень обработки территорий препаратами, уменьшающими численность клещей. В зонах, где проведена подобная обработка (туризм, детские оздоровительные учреждения), риск заражения минимален, поэтому обеспечен достаточно высокий уровень безопасности [3].

Учет вышеизложенных факторов в процессе исследования позволяет построить адекватную математическую модель для прогнозирования уровня опасности заражения и очагов локализации инфекций на территории Алтайского края. В результате исследования популяции клещей рода *Ixodes persulcatus* и *Dermacentor* выполнена формализация фаз развития, описана совокупность факторов, оказывающих влияние на жизнедеятельность каждой особи, выбран аппарат описания биологических особенностей развития популяции. В дальнейшем необходимы уточнение факторов и их учет в уравнениях системы для повышения точности математической модели и прогнозирования уровня опасности заражения и очагов локализации инфекций на территории края.

Библиографический список

1. Львов, Д.К. Экология арбовирусов / Д.К. Львов, А.Д. Лебедев. – М., 1974.
2. Курепина, Н.Ю. Медико-экологический риск заражения населения Алтайского края клещевыми зоонозами, его оценка и прогноз / Н.Ю. Курепина, И.Н. Ротанова //

Оценка и управление природными рисками: материалы Всерос. конф. «Риск-2006». – М., 2006.

3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.narod.ru/RizLek3/Lek3.htm>