

Малярия на Европейской территории России в XXI веке: опыт прогнозирования

© 2012. С. М. Малхазова, д.г.н., зав. кафедрой, Н. В. Шартова, к.г.н., н.с.,
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
e-mail: sveta_geo@mail.ru, shartova@yandex.ru

В статье обсуждается опыт создания прогностической модели эпидемиологической обстановки по трёх-дневной малярии на территорию Европейской части России с выделением ключевого участка – Московского региона. Прогнозирование проводилось на основе данных моделирования климата в рамках проекта СМIP3 по сценарию «A2» IPCC. Выявлено, что в будущем, начиная со второй половины XXI в., на всей территории произойдёт улучшение условий для развития возбудителя малярии, что свидетельствует об увеличении эпидемической опасности.

The article discusses the experience of forecasting model for three-day-malaria epidemiological situation in European Russia, especially in the key area – the Moscow region. Forecasting is based on the data of climate modeling within the project СMIP3 with «A2» IPCC scenario. It is found out that in the future, beginning with the second half of the XXI century, conditions for malaria development will improve throughout the world, epidemic risk will increase.

Ключевые слова: здоровье населения, малярия,
математико-картографическое моделирование, прогноз,
Московский регион, Европейская территория России

Keywords: public health, malaria, mathematical and cartographic modeling,
forecasting, Moscow region, European Russia

Введение

В настоящее время фактор потепления климата рассматривают наравне с другими известными факторами риска здоровью населения – загрязнением окружающей среды, продовольственной проблемой, ухудшением качества питьевой воды и т. п. [1, 2]. В течение последних десятилетий на нашей планете отмечены самые тёплые годы за всю историю наблюдений.

Представленный анализ многочисленных литературных материалов наглядно демонстрирует необходимость разработки и осуществления мер по снижению негативного воздействия потепления климата на здоровье. В этой связи особую актуальность приобретают разработка и построение прогностических моделей для различных сценариев потепления климата и оценка возможных последствий для здоровья населения. Наиболее достоверные результаты на современном этапе, очевидно, могут быть получены при построении прогностических моделей эпидемиологической ситуации по климатически обусловленным природноэндемичным заболеваниям, таким, например, как малярийная инфекция.

Малярия в России и Московском регионе

Малярия – известное трансмиссивное заболевание, передаваемое с помощью кровососущих членистоногих – была объявлена (ВОЗ) «врагом человечества номер один». В год эта болезнь поражает более 500 млн человек в 90 странах, из которых 1,5–2,7 млн умирают [3]. Распространение малярии обусловлено ареалом комаров рода *Anopheles* и развитием в них малярийного плазмодия, которое возможно в интервале +10+32 °С и при относительной влажности воздуха 50–60%. Несмотря на постоянные усилия по борьбе с малярией, предпринятые в 50–60-х годах с использованием огромной массы ДДТ, малярия остаётся одной из главных проблем современной медицины.

Все четыре вида малярии человека являются трансмиссивными инфекциями, которые не могут существовать без участия человека в качестве хозяина, и для существования которых необходим членистоногий переносчик. Природные факторы оказывают сильнейшее влияние на распро-

странение малярии, определяя ареалы возбудителей и переносчиков. На реализацию природных предпосылок оказывают влияние социально-экономические факторы, а также антропологические и этнографические особенности населения.

В России, как и вообще в странах умеренного пояса, практическое значение для здравоохранения имеют два вида малярии – тропическая и трёхдневная. Тропическая малярия является тяжёлой, потенциально смертельной болезнью, однако её передача в Европе в настоящее время отсутствует, а восстановление считается крайне маловероятным. Значение трёхдневной малярии связано с тем, что она лучше воспринимается местными переносчиками вне зависимости от региона происхождения возбудителя.

В начале XX века количество случаев малярии в России оценивалось до 5 млн в год. Трёхдневная малярия встречалась в районе Архангельска (64° с. ш.) и Якутска (63° с. ш.). Северная граница устойчивой тропической малярии проходила приблизительно по 45–50° с.ш. Наиболее поражёнными в то время в России были Поволжье, Украина, Кавказ и Туркестан. Малярия была эндемичной и в центральной части Европейской России, в том числе в Московском регионе.

В течение первой половины XX в. в России было несколько крупных эпидемий – с начала первой мировой войны до середины 20-х годов; затем после кратковременного улучшения – в середине 1930-х гг. К началу второй мировой войны ситуацию удалось поставить под контроль, однако в военные годы эпидемиологическая обстановка опять резко ухудшилась. В 1949 г. была поставлена задача ликвидации малярии в СССР, которая была в целом выполнена к 1956 г. Последние очаги малярии в Российской Федерации были подавлены к 1962 г. на территории Якутии.

На большей части территории СССР маляриологическая ситуация оставалась под контролем органов санэпиднадзора. Завозные случаи малярии из эндемичных стран не имели эпидемиологических последствий вплоть до начала афганского конфликта (1979–1989 гг.), в результате которого завоз малярии увеличился в 3–4 раза и осуществлялся демобилизованными военными преимущественно в сельские районы. После вывода войск из Афганистана в 1989 г. завоз малярии в СССР сократился до прежнего уровня.

В начале 1990-х гг. маляриологическая ситуация в России и других странах СНГ резко осложнилась. В 1995 г. число завозных слу-

чаев из стран СНГ превысило таковое из стран дальнего зарубежья. Передача малярии восстановилась в ряде республик бывшего СССР – в Грузии, Армении, Туркменистане, Узбекистане, Киргизии, Казахстане. В Азербайджане и Таджикистане произошел резкий подъём заболеваемости. С середины 1990-х годов в России ежегодно отмечается местная передача малярии, т. е. заражение людей, не покидавших пределы своего места жительства.

Самая сложная ситуация в начале XXI в. сложилась в Московском регионе. Рассматривая более детально историю распространения малярии на данной территории, следует отметить, что регион лежит вблизи северной границы зоны потенциально устойчивой малярии. Здесь встречается по крайней мере 4 вида малярийных комаров: *Anopheles maculipennis*, *An. messeae*, *An. beklemishevi*, *An. claviger*. Площадь анофелогенных водоёмов в регионе весьма велика. Климатические условия обуславливают возможность для существования, прежде всего, возбудителя трёхдневной формы малярии *Plasmodium vivax*, и, с меньшей вероятностью, тропической формы малярии *Plasmodium falciparum*.

В начале XX в. малярия была широко распространена в восточной и центральной частях региона. До середины 1950-х гг. малярия в Московском регионе носила эндемический характер и её передача наблюдалась ежегодно. Число случаев малярии в Московском регионе стало снижаться с начала 1950-х годов, и к концу 1950-х г. малярия была ликвидирована. С тех пор санитарные службы жёстко контролировали ситуацию, и местная передача наблюдалась лишь несколько раз – в 1972–1973 и 1981 гг.

Однако в течение 1999–2005 гг. восстановилась местная передача трёхдневной малярии [4]. Уровень заболеваемости населения в эти годы достигал значений 1,4–1,6 случаев на 100 000 населения. В дальнейшем ситуация стабилизировалась, и в 2008 г. уровень заболеваемости снизился и составил 0,07 случаев на 100 000 населения.

Однако, несмотря на стабилизацию ситуации, актуальность данной проблемы сохраняется. Московский регион экономически высоко развит и привлекает большое количество трудовых мигрантов, в особенности из соседних эндемичных стран, что обуславливает постоянно высокий уровень завоза инфекций. В связи с этим важное значение имеет прогнозирование возможного изменения ситуации по малярии. Возможность восстановления местной передачи требует особого внимания и в связи с глобальными изменениями климата, которые мо-

гут увеличить потенциальную опасность проявления инфекции.

Методика и материалы

С учётом существующего мирового опыта в рамках данного исследования предпринята попытка создания прогностической модели эпидемиологической обстановки по трёхдневной малярии на территорию Европейской части России (ЕТР) с выделением ключевого участка – Московского региона. Прогнозирование проводилось на основе данных моделирования климата в рамках проекта СМIP3 (Coupled Model Intercomparison Project), выполняемого под эгидой Всемирной программы исследования климата WCRP (World Climate Research Programme). В данной работе за основу был принят широко известный сценарий «А2» IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Это один из наиболее «жёстких» сценариев IPCC, но, в то же время, не относящийся к футурологическим прогнозам, обещающим огромные изменения.

В качестве объекта исследования выбран возбудитель трёхдневной малярии (*Plasmodium vivax*), имеющий для России наибольшее значение в сравнении с возбудителями других форм этого заболевания. Из всех возбудителей малярии *P. vivax* имеет самые низкие температурные пороги, при которых возможно его развитие. На распространении малярии сказывается влияние множества других причин как биологического, так и социально-экономического характера. Тем не менее, зависимость развития возбудителя от температуры окружающей среды является главным фактором, определяющим потенциальный ареал трёхдневной малярии и особенности передачи инфекции [5–9]. В связи с этим, построение модели опирается, в первую очередь, на анализ показателей температуры.

Создание прогностической модели основано на следующем сценарии: на модельной территории в достаточном количестве присутствуют возбудитель малярии *P. vivax* (представлен завозными случаями заболевания) и комары рода *Anopheles*, участвующие в передаче инфекции.

В исследовании применён формально-территориальный подход, и за анализируемую территориальную единицу (АТЕ) принят квадрат градусной сетки. Климатические данные (среднесуточная температура воздуха) представлены по градусной сетке размером 2х2° для территории ЕТР.

Данные по среднесуточной температуре воздуха, интерполированные на сетку узлов,

были получены для следующих временных рядов:

Наблюдаемые значения за 1961 – 1989 гг. Период с 1961 по 1989 гг. характеризует в исследовании современный климат и соответствует минимальному 30-летнему отрезку времени, необходимому для оценки климата и связанных с ним изменений биотических компонентов.

Прогнозные значения, полученные в результате климатического моделирования за 2046–2065 гг.

Прогнозные значения, полученные в результате климатического моделирования за 2089–2100 гг.

Для создания прогностической модели в результате экспертной оценки эпидемиологических особенностей малярийной инфекции [6] были отобраны основные параметры, характеризующие маляриологическую ситуацию.

Сезон эффективных температур – период года, в течение которого среднесуточные температуры воздуха устойчиво выше +16 °С; в противном случае развитие возбудителя невозможно. «Устойчиво выше» означает, что отсутствуют перерывы более 7 дней, когда среднесуточная температура опускается ниже +16 °С. Как правило, эти важные моменты в расчёт не принимаются [7].

Сезон эффективной заражаемости комаров – период, в течение которого у комара, заразившегося на человеке, развитие возбудителя завершается образованием способных к инфицированию форм.

Сезон передачи малярии – период, в течение которого комары, имеющие зрелые формы возбудителя, способны заражать людей. Сезон передачи начинается от момента первого созревания возбудителя в организме комара, т. е. когда возможно первое заражение человека, а заканчивается массовым переходом самок комаров в состояние диапаузы, когда они перестают питаться кровью и уходят на зимовку. В связи с тем, что уход комаров на зимовку в течение всего анализируемого периода проследить невозможно, концом сезона передачи малярии при построении модели условно считается конец сезона эффективных температур.

Число полных циклов развития возбудителя характеризует количество завершённых фаз развития возбудителя малярии в организме комара и человека и определяет степень эпидемиологической опасности территории.

Начало и конец сезона передачи малярии, его продолжительность, число оборотов инфекции, а также другие характеристики малярийного периода определяются исходя из клима-

тической зависимости развития возбудителя малярии от среднесуточной температуры, выявленной Ш. Д. Мошковским [10].

Для развития возбудителя необходима определённая сумма эффективных температур, вычисляемая по формуле:

$$E = T_c - 14,5^{\circ},$$

где E – эффективная температура (количество тепла, получаемое паразитом за 1 день), а T_c – среднесуточная температура воздуха, Сумма эффективных температур должна достичь 105°C , при условии, что среднесуточные температуры воздуха устойчиво выше $+16^{\circ}\text{C}$.

Для определения потенциальной эпидемиологической опасности территории были разработаны показатели вероятности и интенсивности передачи инфекции.

Вероятность передачи малярии существует, если на исследуемой территории в течение года набирается минимальная сумма эффективных температур (105°C) с учётом того, что среднесуточные температуры воздуха устойчиво выше $+16^{\circ}\text{C}$. При таких условиях возможно развитие возбудителя в организме комара, передача инфекции и заболевание человека.

Интенсивность передачи малярии определяется по количеству полных циклов развития возбудителя. При увеличении возможности прохождения большего числа циклов интенсивность передачи малярии и, как следствие, эпидемическая опасность территории возрастают.

Для указанных выше параметров на основе проведённых расчётов были созданы серии карт для ЕТР в целом и Московского региона, в частности, отражающие общую сумму эффективных температур за год, при которых возможно развитие возбудителя; продолжительность сезонов эффективных температур, эффективной заражаемости комаров, передачи возбудителя малярии; а также таких показателей как вероятность и интенсивность передачи малярии. Таким образом, результаты проведённого анализа и картографическая интерпретация полученных материалов, позволили сделать прогноз эпидемиологической обстановки по малярии для ЕТР в XXI в., представленный далее.

Обсуждение результатов

На всей территории ЕТР в середине и конце столетия на фоне увеличения среднесуточных температур произойдёт увеличение набираемых за год *общих сумм эффективных температур*, что свидетельствует об улучшении

температурных условий для развития возбудителя в будущем. В течение следующего столетия значительно расширится территория, где по температурным условиям общая сумма эффективных температур будет составлять более 105°C ежегодно. Границы данной территории при этом сдвинутся к северу. Аналогичные тенденции будут характерны и для территории Московской области. В условиях современного климата (1961–1989 гг.) сумма эффективных температур в области в среднем варьировала от 150 до 300°C . К середине столетия (2046–2065 гг.) она увеличится до 500°C , к концу столетия (2089–2100 гг.) – до 800°C .

Средняя продолжительность сезона эффективных температур, т.е. периода, когда в организме комара возможно развитие возбудителя, в течение следующего столетия будет увеличиваться. Уже в 2046–2065 гг. практически на всей ЕТР средняя продолжительность сезона эффективных температур будет составлять не менее 40 дней, в том числе и на территории, где в условиях современного климата этот сезон практически не отмечается. Расширится также площадь, где средняя продолжительность сезона будет составлять более 80 дней. Увеличение данного периода также будет заметно на территории Московской области. Если в условиях современного климата его средняя продолжительность составляла от 60 до 80 дней, то к середине столетия она составит около 100 дней, к концу столетия – около 120 дней.

В середине и конце столетия на ЕТР увеличится *средняя продолжительность сезона эффективной заражаемости комаров*, т.е. периода, когда комар является опасным для человека с точки зрения заражения малярией. Наиболее заметные изменения произойдут на крайнем севере, где в условиях современного климата сезон эффективной заражаемости комаров отсутствовал. В 2046–2065 гг. на этой территории срок, когда комар является потенциально опасным для человека, будет достигать до 40 дней, а в 2089–2100 гг. – до 80 дней. На территории Московской области в отношении данного параметра произойдут изменения в продолжительности от 40 дней в настоящее время, до 50 дней в середине и 70 дней – в конце столетия.

Как следует из проведённого анализа, в целом *малярийный сезон* будет начинаться раньше, а заканчиваться позже. Наиболее значительные изменения произойдут на севере ЕТР, однако данная тенденция будет характерна и для Московской области.

Вероятность передачи малярии в условиях современного климата чётко связана с гео-

графической широтой местности и значительно уменьшается по мере продвижения к северу. Если на юге ЕТР возможна ежегодная передача малярии, то на крайнем севере в настоящее время передачи инфекции не происходит. В 2046–2065 гг. ежегодная передача малярии при прогнозируемых изменениях климата будет возможна практически на всей ЕТР, хотя в северных регионах вероятность развития инфекции будет низкой. В 2089–2100 гг. участки с низкой вероятностью передачи малярии будут занимать крайне ограниченные площади, и практически на всей территории температурные условия будут способствовать ежегодному развитию возбудителя. Согласно прогностической модели на территории Московской области изменения в вероятности передачи малярии будут весьма существенны. Если вероятность передачи малярии в области в условиях современного климата характеризуется в целом как средняя, то в середине и конце столетия вся территория будет иметь очень высокую вероятность передачи инфекции.

Интенсивность передачи инфекции (количество полных циклов развития возбудителя) на ЕТР в условиях современного климата очень низкая (1 цикл), либо низкая (2 цикла), а на большей части региона полный цикл развития возбудителя малярии по климатическим условиям не завершается (рис. 1 А, см. цветную вкладку). В 2046–2065 гг. территория со средней (3–4 цикла) интенсивностью и высокой (более 5 циклов) интенсивностью расширится за счёт продвижения на север (рис. 1 Б, см. цветную вкладку). В 2089–2100 гг. участков, где не может происходить завершение полного цикла, практически не будет, а на всей ЕТР будет возможность завершения не менее двух полных циклов развития возбудителя малярии (рис. 1 В, см. цветную вкладку). Более чётко будет выражена тенденция продвижения к северу территорий с высокой интенсивностью передачи инфекции (более 5 циклов). Интенсивность передачи инфекции в условиях современного климата на территории Московской области так же, как и в целом для ЕТР, определялась как очень низкая и составляла 1 цикл. В середине XXI в. интенсивность передачи малярии будет характеризоваться как низкая (2 цикла), а в конце – как средняя (3 цикла).

Заключение

В будущем на всей территории ЕТР возможно улучшение условий для развития возбудителя малярии, что будет выражаться в уве-

личении сумм эффективных температур, набираемых за год, достаточных для развития возбудителя малярии, увеличении продолжительности сезона передачи малярии и расширении территории с высокой степенью вероятности передачи малярии на север.

На территории Московского региона также возрастет вероятность передачи инфекции и её интенсивность.

Полученные данные о возможном улучшении условий для развития возбудителя малярии свидетельствуют об увеличении эпидемической опасности.

Созданная серия прогнозных карт может способствовать проведению территориально дифференцированных мероприятий по предотвращению негативных последствий изменения климата для здоровья населения.

Предложенная методика является основой для проведения аналогичных исследований других природноочаговых и природноэндемичных болезней.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 10-05-00840-а

Литература

1. Современные глобальные изменения природной среды. В 2-х томах. Т. 2. М.: Научный мир, 2006. 776 с.
2. Прогноз глобальных изменений окружающей среды (ГЕО 4), ЮНЕП, 2007. 526 с.
3. ВОЗ. Отчет о мировом состоянии здоровья 2002: уменьшение риска, содействие здоровому образу жизни. Женева, 2002. 532 с.
4. Миронова В.А. Географические предпосылки распространения малярии в Московском регионе // Биогеография в Московском университете. 60 лет кафедре биогеографии. М.: ГЕОС, 2008. С. 315–323.
5. Воронов А.Г. Медицинская география. М. 1986. 82 с.
6. Лысенко А.Я. Кондрашин А.В. Маляриология. М.: «Открытые системы», 1999. 248 с.
7. Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. Выявление климатогенных изменений. М.: Метеорология и гидрология, 2006. 324 с.
8. Кислов А. В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. М.: МАКС Пресс, 2008. 290 с.
9. Малхазова С.М., Крайнов В.Н., Шартова Н.В. Прогноз влияния потепления на распространение малярии // Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири / Под ред. Н. С. Касимова, А. В. Кислова. М.: МАКС Пресс, 2011. С. 389–409.
10. Мошковский Ш.Д., Рашина М.Г. Эпидемиология и медицинская паразитология для энтомологов. М.: Медгиз, 1951. 455 с.