УДК 551.583(470.311)+616.936

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ВОЗБУДИТЕЛЯ ТРЁХДНЕВНОЙ МАЛЯРИИ (*PLASMODIUM VIVAX*) В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

© 2019 г. В. А. Миронова, Н. В. Шартова*, М. И. Варенцов, М. Ю. Грищенко

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, ГСП-1, Ленинские горы, Москва, 119991 Россия
* e-mail: shartova@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.08.2018 г.
После доработки 27.11.2018 г.
Принята к публикации 3.12.2018 г.

Представлены результаты пространственно-временного анализа изменений благоприятствования климатических условий передаче трехдневной малярии в Московском регионе на фоне глобального потепления климата и интенсификации городского острова тепла за период с 1977 по 2016 гг. Рассмотрены изменения в датах наступления основных элементов малярийного сезона и их длительности, проанализированы многолетние тренды и проведено сравнение условий внутри города с региональным климатическим фоном. Установлены тенденции к увеличению сумм эффективных температур и продолжительности сезона эффективной заражаемости комаров. Отмечается пространственная неоднородность в распределении по территории Московского региона как средних показателей, так и скорости их изменения. Наиболее резкие изменения во всех показателях происходили с середины 1990-х гг., что согласуется с выводами об общем потеплении климата Московского региона и усилении эффекта городского острова тепла. При наличии достаточного количества источников инфекции, изменение температурного режима, вероятно, может оказаться пусковым механизмом для развития вспышек.

Ключевые слова: трехдневная малярия, изменения климата, малярийный сезон, *Plasmodium vivax.*

DOI: 10.1134/S0031184719020029

Проблема восстановления малярии на ранее освобожденных от нее территориях является одним из насущных вопросов малариологии в XXI веке. Следует отметить, что малярия человека – это группа из четырёх болезней, имеющих разный потенциал распространения и податливости профилактическим мероприятиям на конкретных территориях, вследствие особых стратегий выживания различных видов возбудителей (Беляев и др., 1986). Часто малярию относят к климатозависимым заболеваниям, что связано, в первую очередь, с тем, что для полного созревания спорозоитов возбудителя в комаре необходима определенная сумма температур, превышающая пороговые

значения. Температура влияет и на жизнедеятельность малярийных комаров, скорость развития водных стадий которых зависит от температуры места выплода, а скорость переваривания крови – от температуры днёвки (Беклемишев и др., 1949). Однако минимальные требования комаров к теплу значительно ниже, чем у паразита: для комаров комплекса *A. maculipennis*, являющихся основными переносчиками малярии в Палеарктике, температурные пределы развития лежат в диапазоне от +10 °C до +35 °C (Званцов и др., 2003). Поэтому к моменту установления температур, благоприятных для развития паразита в комаре, уже имеется достаточное количество переносчиков. Далее в статье речь пойдет только о трехдневной малярии, возбудителем которой является *Plasmodium vivax,* обладающий наиболее низкими температурными требованиями среди всех возбудителей малярии (это 10.5 °C над порогом +14.5 °C) (Мошковский, Рашина, 1951).

Во времена максимального расширения ареала малярии в Палеарктике (начало–середина XX века) граница ее распространения заходила дальше всего на север в Европейской России, вплоть до г. Архангельска (Духанина, 1944). В ходе Глобальной кампании по ликвидации малярии передача инфекции в России была прервана в 1962 г., и болезнь была объявлена ликвидированной. Примерно в это время (конец 1950-х-середина 1960-х) передача инфекции была прервана и в других республиках СССР (кроме районов Центрального Азербайджана и районов Таджикистана на границе с Афганистаном).

За прошедшее после элиминации время в СССР неоднократно наблюдались локальные вспышки малярии. В начале 1990-х годов маляриологическая ситуация в ряде бывших советских республик значительно ухудшилась. То же, но в меньшем масштабе, наблюдалось и в зарубежной Европе. Вспышки были связаны с завозом инфекции из неблагополучных территорий. Например, периодически возникающая местная передача малярии (т.е. регистрация заболевания среди людей, не выезжавших за пределы места проживания) в разных частях страны в 1980-е годы была вызвана ее завозом военнослужащими из Афганистана (Sergiev et al., 1993). Такие вспышки чаще всего происходили на фоне жаркой летней погоды (Миронова, Беляев, 2011).

В России восстановление малярии проявилось наиболее активно в Московском регионе. До ликвидации в середине 1950-х гг. инфекция здесь носила эндемический характер, её передача наблюдалась ежегодно (Оганов, 1947, Шипицина, 1964). В постликвидационную эпоху в Московском регионе случались эпизоды эфемерной передачи, а масштабное восстановление началось в 1999 г. и продолжалось около 10 лет. Среди причин возникновения местной передачи инфекции называют приток мигрантов из неблагополучных по малярии стран ближнего зарубежья, в первую очередь, Таджикистана и Азербайджана, где в это время уже происходили эпидемические вспышки (Сергиев и др., 2004; Миронова, Беляев, 2011; Ежов и др., 2017). Другой причиной могли стать глобальные климатические изменения. Несмотря на значительное число работ, посвященных влиянию данного фактора на распространение малярии (Kovats et al., 1999; Githeko et al., 2000; Martens, 2002; van Lieshout et al., 2004; Ясюкевич, Семенов, 2004; Миронова, 2006; Caminade et al, 2014; Eikenberry, Gumel, 2018 и др.), размах и направленность такого влияния до сих пор не установлены.

Неясным остается вопрос об особенностях передачи малярии в крупных городах. В целом, малярия находит наилучшие для себя условия в сельской местности. Однако,

в силу определённого сочетания экологических факторов, условия для передачи малярии в городах становятся иногда оптимальными, и возникает проблема городской малярии. В умеренном и субтропическом климате передача инфекции в крупных городах не является исключительным событием: в последние десятилетия она неоднократно регистрировалась в Нью-Йорке (Layton et al., 1995), Хьюстоне (Zucker, 1996) и др. В России сравнительно крупная вспышка отмечалась в Нижнем Новгороде в 1998 г. (Лысенко, Кондрашин, 1999), в Москве в 1972–1973, 1981 и, наиболее крупная – в 1999–2009 гг. (Миронова, Беляев, 2011). Тем не менее, роль климатических изменений в реализации местной передачи в черте городов в настоящее время точно не определена. Актуальность вопросу придает наличие ярко выраженных особенностей городского климата – в первую очередь, эффекта городского острова тепла (Ландсберг, 1983; Oke et al., 2017; Климат Москвы…, 2017).

Московский регион наиболее интересен для подобного рода исследования. В течение последних десятилетий он подвержен значительным климатическим изменениям, а также характеризуется пространственной неоднородностью термического режима. На фоне естественной зональной, меридиональной и микроклиматической изменчивости ярко проявляется эффект острова тепла Московского мегаполиса (Lokoschenko, 2014; Кислов и др., 2017; Климат Москвы…, 2017; Varentsov et al., 2018). Глобальное потепление климата, наиболее выраженное в регионе с 1970-х гг., для городских условий накладывается на тенденцию интенсификации острова тепла: диагностируется урбанистическое усиление потепления климата (Климат Москвы…, 2017; Кислов и др., 2017). Важно отметить, что рост фоновой (загородной) температуры и интенсификация острова тепла для Москвы наиболее значимы для летнего сезона (рис. 1).

В связи с вышеизложенным, настоящая работа посвящена выявлению долговременных тенденций изменения благоприятствования климатических условий передаче трехдневной малярии в Московском регионе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В работе рассматриваются территория Москвы и Московской области в современных границах, а также прилегающие территории соседних областей. Для анализа изменения степени благоприятности климатических условий для развития возбудителя малярии использованы данные наблюдений по метеостанциям г. Москвы, характеризующие центр города (Балчуг); городские парки (ВДНХ и МГУ) и метеостанции Московской области (Волоколамск, Клин, Дмитров, Павловский Посад, Черусти, Новый Иерусалим, Можайск, Наро-Фоминск, Серпухов, Коломна) для определения термического режима загородных территорий. Также в анализ включены две ближайшие к Москве метеостанции Владимирской области (Александров, Петушки) и одна метеостанция Калужской области (Малоярославец). Объединенная база срочных (8 раз в сутки) метеорологических наблюдений за 1977–2016 гг. сформирована с привлечением архивов ВНИИГМИ МЦД, ФГБУ «Центральное УГМС», веб-сайта «Расписание погоды» (www.rp5.ru), наблюдений метеорологической обсерватории МГУ.

Выбор временного периода с 1977 по 2016 гг. определяется, с одной стороны, достаточно монотонным ростом средней летней температуры (рис. 1*а*), что упрощает анализ трендов. С другой стороны, это период характеризуется доступностью данных по всем перечисленным метеостанциям, включая городские, что позволяет изучить простран-

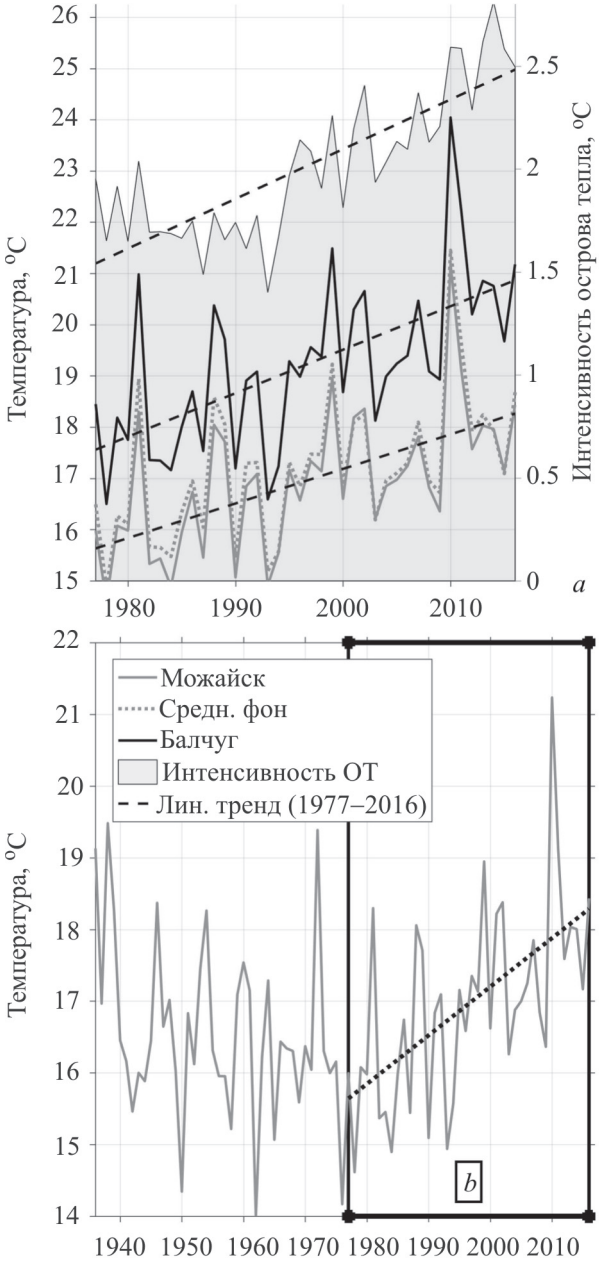

Рис. 1. Динамика средней летней температуры воздуха на станции Можайск за 1936–2016 гг. (*а*); динамика температуры воздуха на станциях Можайск, Балчуг и средней фоновой температуры (осредненной по станциям Наро-Фоминск, Ново-Иерусалим, Клин, Дмитров, Александров, Павловский Посад, Коломна, Серпухов, Малоярославец) и интенсивности острова тепла, определенной как разность температуры между станцией Балчуг и средним фоновым значениям за 1977–2016 гг. (*б*).

Черные пунктирные линии показывают линейные тренды за 1977–2016 гг.

ственную дифференциацию изменений климатических условий для развития возбудителя.

На основе срочных наблюдений рассчитаны среднесуточные температуры. Для обеспечения однородности анализируемых данных был адаптирован и применен алгоритм заполнения пропусков в рядах среднесуточной температуры методом линейной регрессии по данным соседних станций (Tardivo, Berti, 2012). Доля пропусков для рассматриваемых станций не превышала 5 %.

Дополнительно к рядам по каждой из станций рассматривались средние фоновые (загородные) условия, определяемые путем осреднения температуры по 9 станциям, окружающих Москву (Клин, Дмитров, Александров, Павловский Посад, Коломна, Серпухов, Малоярославец, Наро-Фоминск, Ново-Иерусалим).

Как было сказано выше, лимитирующее влияние температуры воздуха на распространение малярии определяется требованиями возбудителя, но не комара. Для того чтобы шёл процесс спорогонии *P. vivax*, среднесуточные температуры (ССТ) должны быть не ниже +16 °C. При этом условии подсчитывается превышение ССТ над расчётным порогом 14.5 °C. Суточные превышения суммируются и, когда сумма превышений достигает 105 °C, это сигнализирует, что спорогония закончилась. При температурах ниже 16 °C спорогония прерывается, но может возобновиться, если время перерыва не превышает недели.

Чем выше ССТ, тем быстрее накапливается необходимая сумма тепла и тем меньший отрезок времени требуется для развития возбудителя. Следует иметь в виду, что при ССТ, близких к пороговым, созревание спорозоитов идёт так медленно, что не укладывается в срок жизни комаров, и возможность передачи становится ничтожной.

После подготовки данных проведен расчет характеристик малярийных сезонов за 40-летний период, состоящих из следующих элементов (Мошковский, 1950; ВОЗ, 2005): (1) сезон проявлений, который начинается ещё до периода активности комаров, поскольку при трёхдневной малярии значительная часть случаев возникает спустя 9–12 месяцев после заражения; (2) сезон эффективных температур (СЭТ) – сезон года, в течение которого среднесуточные температуры устойчиво держатся выше пороговой температуры развития возбудителя; (3) сезон эффективной заражаемости комаров (СЭЗ) – период, в течение которого у комара, заразившегося на человеке, развитие паразита завершится образованием спорозоитов; (4) сезон передачи малярии – период, в течение которого комары, имеющие зрелые спорозоиты, способны заражать людей.

За период с 1977 по 2016 гг. были рассчитаны сроки наступления основных элементов каждого малярийного сезона, их продолжительность, а также набирающиеся суммы эффективных температур (ЭТ). Расчет проведен с помощью специально созданного авторами автоматизированного алгоритма, в основу которого положена методика Мошковского (Мошковский, Рашина, 1951) по определению сумм тепла, необходимых для развития паразита в комаре. Этот метод оптимален для районов умеренного климата, где передача малярии возможна всего лишь в течение одного или нескольких месяцев в году, и рекомендован ВОЗ (ВОЗ, 2005). С другой стороны, этот метод мало полезен для районов, например, средиземноморского или субтропического климата, где ССТ всегда или почти всегда допускают развитие спорозоитов и где динамика малярии часто определяется режимом осадков. Там показаны другие методы прогноза,

например Gradient Model Risk Index, основанные на детальном анализе экологический условий для переносчика и, как следствие, динамики его популяций, способности к передаче инфекции, и в некоторых случаях учетом случаев заражения среди людей (Sainz-Elipe et al., 2010; Gething et al., 2010; Benali et al., 2014; Caminade et al., 2014; Gomes et al., 2016 и др.).

Недостатком рассчитанных показателей малярийного сезона является дискретность их значений: они равны нулю, если малярийный сезон не состоялся, либо превышают некоторое минимальное значение. Это снижает однородность анализируемых временных рядов и, как следствие, значимость трендов изменений. Кроме того, в один и тот же год малярийный сезон может состояться на одних станциях и не состояться на других. Это обстоятельно осложняет сравнение тенденций изменения показателей по территории и снижает достоверность выводов о пространственных закономерностях наблюдаемых изменений.

Для решения этой проблемы и в целях большей наглядности нами дополнительно введен обобщающий показатель, характеризующий непрерывными значениями степень благоприятности термического режима для развития возбудителя малярии. В основе расчета индекса благоприятности термического режима (K_{term}) положено предположение о минимальной сумме ЭТ в 105 °C (S_{min}), необходимых для завершения одного оборота инфекции. Для продолжения цепочки заражений необходимо, чтобы на инфицированном человеке заразился новый комар и спорозоиты в нем созрели, т.е. набралось еще 105 °C, после чего комар может заразить еще одного человека. В этом случае налицо условия для развития эпидемии, следовательно, с точки зрения малярии, такой эпидсезон можно считать благоприятным. Расчет индекса производится следующим образом:

$K_{term} = S_{epid} / S_{min,}$

Где S_{epid} – сумма ЭТ, набранных за сезон, S_{min} = 210 °C.[1]

Данный индекс показывает, насколько благоприятны были метеорологические условия в каждый сезон для осуществления местной передачи малярии (таблица). При этом даже если сезон не состоялся, значение индекса не равно нулю, что позволяет говорить о том, как близок данный сезон к условиям, необходимым для развития паразита (например, значения индекса 0.8 и 0.1 характеризуют неблагоприятные условия, однако первое ближе к благоприятным, чем второе).

На заключительном этапе для рассматриваемых характеристик малярийного сезона проанализированы временные тренды и их значимость. Для каждого параметра каждой станции определялись коэффициент наклона линейного тренда *k*, коэффициент детерминации R^2 и уровень достоверности *p*, при котором тренд является статистически значимым по критерию Стьюдента.

[1] В реальности сумма тепла всегда будет больше 210 °, так как между инфицированием вторичного от завозного случая и заражением нового комара всегда проходит некоторое время (не менее 10 дней), необходимое для инкубации паразита в организме человека. За это время набирается еще некоторая сумма тепла, определить которую, однако, не представляется возможным.

Степень благоприятности метеорологических условий для местной передачи малярии

Индекс благоприятности термического режима (K_{term})	Степень благоприятности метеорологических условий	Примечание
< 0.5	Сезон передачи не проявился	Местная передача инфекции или возникновение вторичных от завозных случаев невозможны
0.5–1	Неблагоприятный (укороченный) сезон передачи	Возможно возникновение единичных вторичных от завозных случаев, т.е. случаев местной передачи малярии, от которых заражение в том же сезоне невозможно
≥ 1	Благоприятный сезон	Есть вторичные от завозных случаи и возможна следующая генерация случаев местной передачи малярии

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для характеристики эпидемических малярийных сезонов наиболее важными, отражающими условия конкретного года элементами, являются сумма ЭТ, набранная за сезон, продолжительность и даты начала СЭЗ.

При рассмотрении изменений сумм эффективных температур, набираемых за сезон, четко прослеживается тенденция к их увеличению (рис. 2). Важно отметить, что с середины 1990-х годов сумма температур более 105°С набирается каждое лето, за исключением 2015 г. в Волоколамске (который относится к «холодным» станциям, и где температурные условия для передачи малярии в целом всегда хуже, чем по другим рассматриваемым пунктам Московского региона). Скорость роста сумм эффективных температур для городских станций Балчуг и МГУ превосходит загородную: коэффициент наклона тренда и его значимость для этих станций больше, чем для загородных условий вследствие интенсификации городского острова тепла. Кроме того, с середины 1990-х гг. заметна бóльшая внутригородская неоднородность температурных условий. Скорость роста сумм температур по станциям Балчуг и МГУ выше, чем по станции ВДНХ.

Рассматривая пространственную неоднородность показателя, следует отметить, что суммы ЭТ особенно велики в Москве и восточных районах области (рис. 3). В первом случае это можно объяснить эффектом городского острова тепла, во втором – влиянием континентальности климата: восточные и юго-восточные районы Московского региона характеризуются более холодной зимой и более жарким летом. Но при этом скорость изменения показателя более значительна в центре и на западе региона.

Продолжительность сезона эффективной заражаемости комаров имеет общую для всех рассматриваемых пунктов тенденцию к увеличению длительности периода (рис. 4). Однако его продолжительность сильно различается по территории Московского региона. В один и тот же год разница может достигать 37 дней (рис. 5). Наиболее

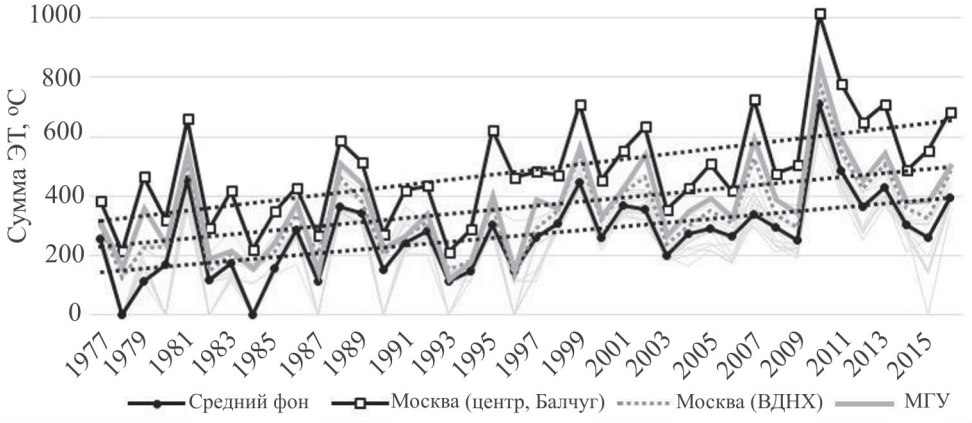

Рис. 2. Изменение сумм ЭТ, набираемых за сезон по городским и загородным станциям, в сравнении со средними фоновыми условиями в Московском регионе в 1977–2016 гг. (черные пунктирные линии – линейные тренды, тонкие серые линии – остальные анализируемые станции).

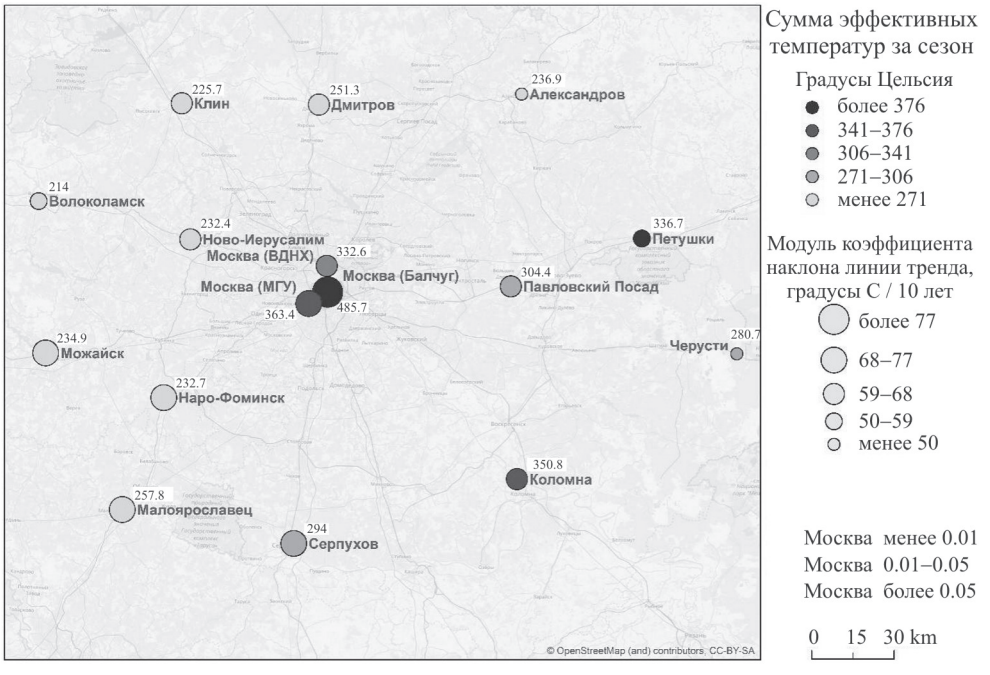

Рис. 3. Пространственное распределение изменений сумм эффективных температур в Московском регионе в 1977–2016 гг. (цифрами для каждой станции указана средняя сумма ЭТ за период).

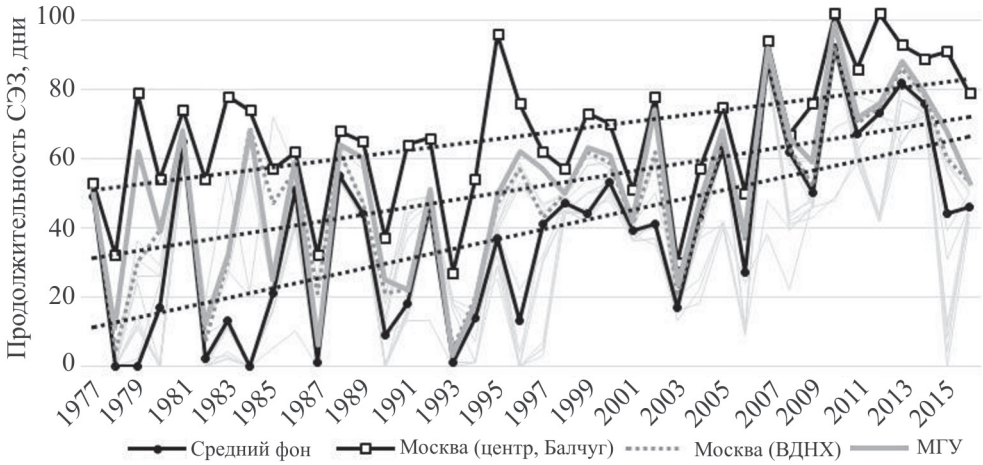

Рис. 4. Изменение продолжительности СЭЗ по городским и загородным станциям, в сравнении со средними фоновыми условиями в Московском регионе в 1977–2016 гг. (черные пунктирные линии – линейные тренды, тонкие серые линии – остальные анализируемые станции).

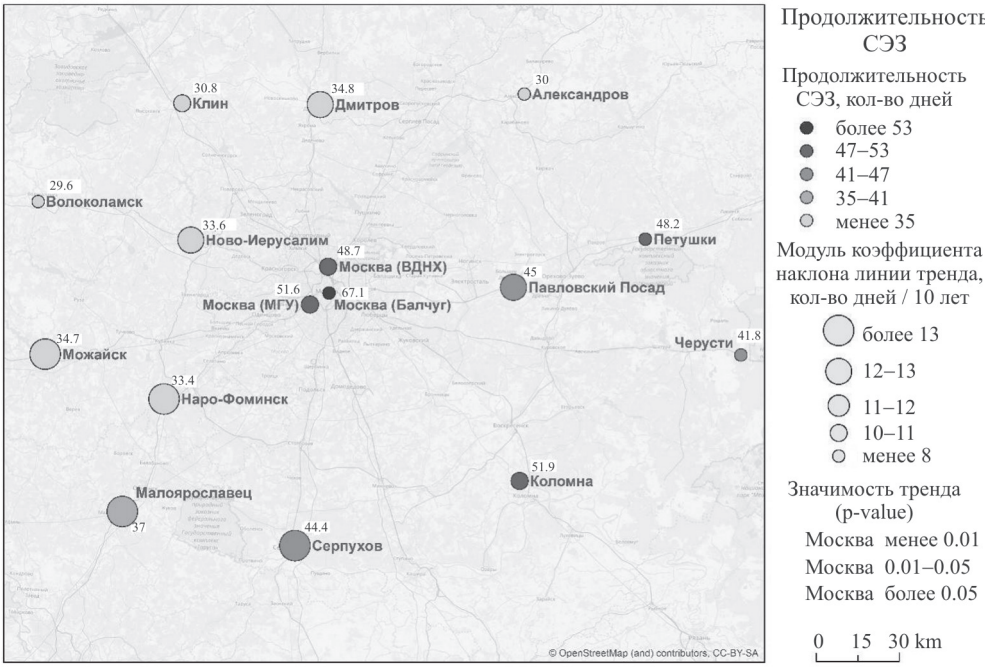

Рис. 5. Пространственное распределение изменений продолжительности СЭЗ в Московском регионе (цифрами для каждой станции указана средняя продолжительность СЭЗ за период).

длительный сезон характерен для Москвы, а также на востоке и юге области, а скорость увеличения продолжительности сезона больше на западе и юго-западе региона.

Для станции Балчуг стабильно регистрируется более длительный период СЭЗ по сравнению с остальными станциями (67.1 день в среднем за период). Однако, в отличие от суммы ЭТ, тенденция увеличения длительности сезона в центре города выражены слабее, чем за городом. Объяснить это противоречие можно следующим образом. Как показано ниже, за счет влияния городского острова тепла даты начала/конца СЭЗ в Москве уже в 1970-е гг. были сдвинуты на более ранние/поздние сроки по сравнению с загородными территориями. Дальнейший сдвиг этих дат затруднен тем, что они попадают в фазы более резко выраженного годового хода температуры, который становится определяющим и снижает чувствительность дат начала/конца малярийного сезона к потеплению климата. Другими словами, чем больше продолжительность сезона эффективной заражаемости комаров, тем меньше чувствительность малярии к дальнейшему потеплению климата. Эту закономерность, хоть и с некоторыми исключениями, показывают и загородные станции.

Для всего Московского региона имеет место тенденция сдвига наступления СЭЗ на более ранние сроки, однако значимость трендов невелика. В черте Москвы СЭЗ наступает всегда раньше, чем за городом, более ранние даты также характерны для юга Московской области. Однако пространственная изменчивость не так уж и велика, максимальные различия в пределах рассматриваемого региона не превышают 9 дней. Пространственное распределение коэффициентов наклона трендов не позволяет выявить каких-либо географических закономерностей. Примечательно, что изменения даты начала СЭЗ минимальны для центра Москвы. В пределах города различия в датах начала СЭЗ не так заметны, как в рамках всего региона, однако видно, что в отдельные годы в центре города (Балчуг) сезон наступает раньше, чем в парковых зонах (ВДНХ, МГУ).

Пространственная изменчивость окончания СЭЗ во многом повторяет закономерности, выявленные для продолжительности и дат начала СЭЗ – позднее сезон заканчивается на юге области и в Москве. Тренды сдвига даты окончания СЭЗ выражены ярче по сравнению с трендами для дат начала СЭЗ, именно они вносят основной вклад в увеличение продолжительности малярийного сезона.

Более убедительно судить об изменении степени благоприятности термического режима можно на основе пространственно-временного анализа индекса K_{term}, значения которого характеризуются математической непрерывностью. График для K_{term} (рис. 6) наглядно подтверждает выводы, сделанные ранее для других показателей. Во-первых, климатические условия города Москвы и, особенно, его центра значительно более благоприятны для развития возбудителя малярии. Во-вторых, имеет место значимый тренд роста индекса K_{term} по данным всех станций Московского региона, при этом скорость роста существенно варьирует в пределах региона (рис. 7). При анализе десятилетних периодов заметно поступательное увеличение степени благоприятствования условий (рис. 8). Если в период с 1977 по 1996 гг. изменение условий было незначительным, то в период с 1997 по 2016 гг. оно уже носит существенный характер. При этом для запада и севера области наибольшие изменения произошли в 1997–2006 гг., что особенно заметно для станций Клин, Можайск и Ново-Иерусалим, тогда как для остальной территории – в 2007–2016 гг. Наконец, вследствие интенсификации острова тепла наиболее ярко тренд роста индекса выражен для центра города, особенно для

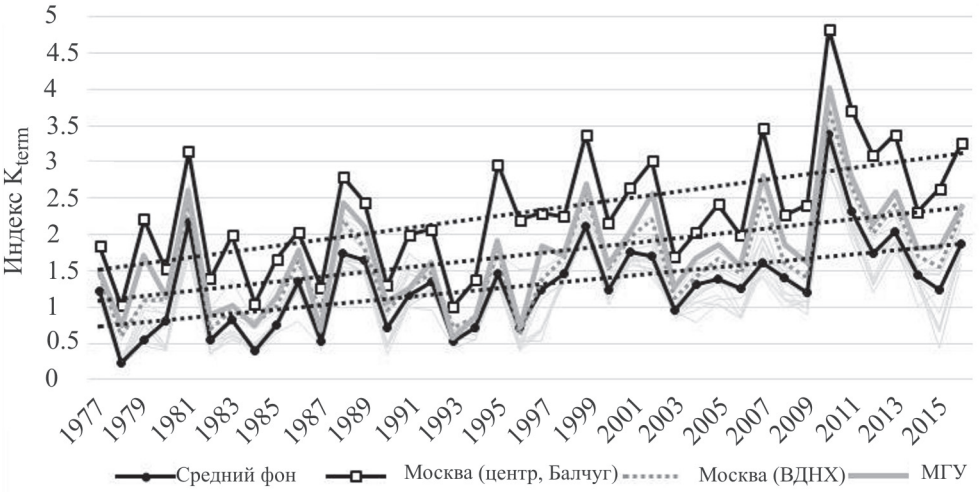

Рис. 6. Изменения степени благоприятности термического режима для развития возбудителя малярии в Московском регионе в 1977–2016 гг. (черные пунктирные линии показывают линейные тренды, тонкими серыми линиями отмечены остальные анализируемые станции).

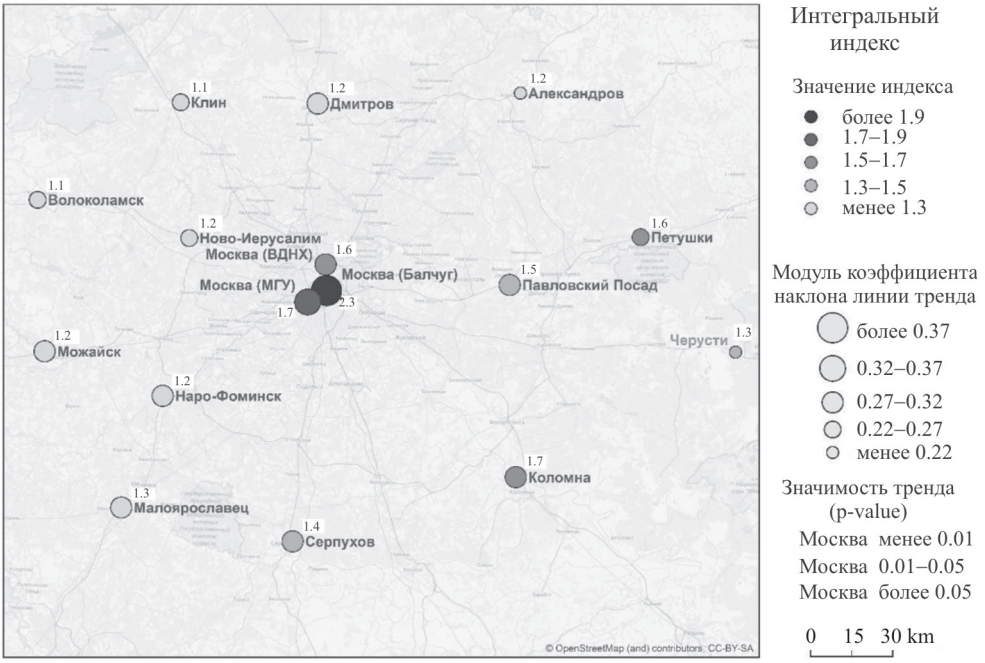

Рис. 7. Пространственное распределение изменений степени благоприятности термического режима для развития возбудителя малярии.

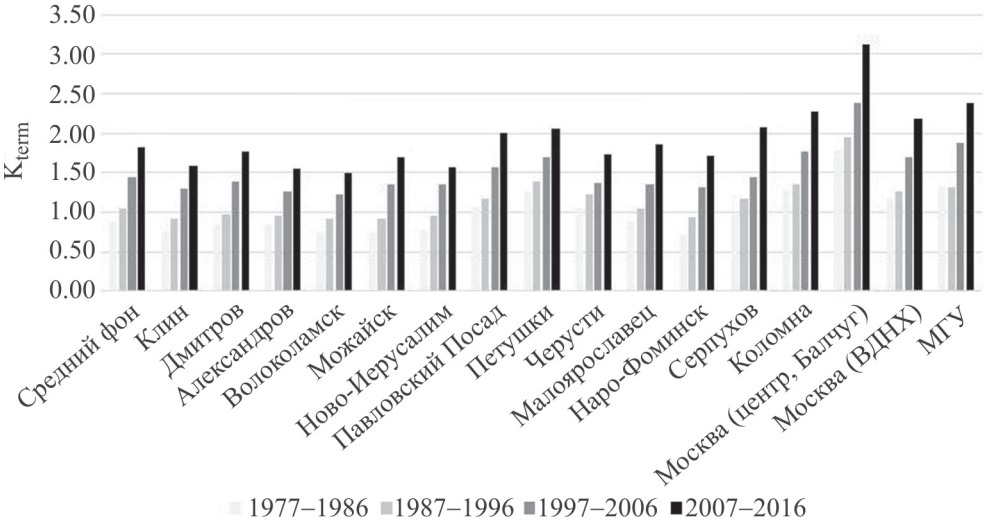

Рис. 8. Изменения степени благоприятности термического режима для развития возбудителя малярии в Московском регионе за десятилетние периоды 1977–2016 гг.

последнего десятилетия (линия соответствующего тренда на рис. 6 имеет больший наклон по сравнению с трендом для фоновых условий). Таким образом, можно сделать вывод о том, что городской остров тепла Москвы может оказать существенное влияние на условия развития возбудителя малярии и их многолетнюю динамику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдаемые изменения параметров малярийного сезона могут свидетельствовать об улучшении температурных условий для передачи инфекции. За последние 40 лет наблюдаются тенденции к увеличению сумм ЭТ, продолжительности СЭЗ комаров, что происходит, в первую очередь, за счет сдвига конца сезона на более поздние сроки. Изменения в сроках начала СЭЗ менее значительны и носят менее достоверный характер.

Наиболее резкие изменения во всех показателях происходили с середины 1990-х гг. Это в целом согласуется с выводами об общем потеплении климата Московского региона (Климат Москвы.., 2017), согласно которым рост летней температуры и интенсификация летнего острова тепла Москвы ускорились именно с начала 1990-х гг.

Необходимо отметить пространственную неоднородность в распределении по территории Московского региона как средних показателей, так и скорости их изменения. Наиболее благоприятные термические условия для распространения малярии характерны для города Москвы, наименее благоприятные – для западных и северных районов области. Для скорости изменения показателей картина более сложная. Так, сумма ЭТ увеличивается наиболее стремительно, с одной стороны, на западе региона, где ее значения минимальны. С другой стороны, особенно ярко выделяется на общем фоне центр Москвы, где сумма ЭТ и так достигает максимальных значений. В первом случае такую динамику можно объяснить тем, что для более прохладных западных

районов Московской области становятся более редкими холодные дни, обрывающие накопление ЭТ. Во втором случае причиной ускоренного роста является интенсификация острова тепла. Иная ситуация имеет место для продолжительности СЭЗ и дат его начала/окончания. За городом наиболее ярко выражены изменения этих показателей также на западе и северо-западе области. Однако в центре города, напротив, наблюдаются минимальные скорости изменений. Это связано тем, что при столь существенной продолжительности СЭЗ в городе, ее дальнейшее увеличение сдерживается годовым ходом температуры.

Выявленный рост степени благоприятности термического режима для развития возбудителя свидетельствует о том, что несмотря на благополучную в настоящее время ситуацию по малярии, должен сохранятся комплекс профилактических мероприятий, касающийся, в первую очередь, контроля над переносчиком и завозом возбудителя. Заметно значительное отличие по степени благоприятности термического режима между городскими и фоновыми (загородными) условиями, что обусловлено интенсификацией городского острова тепла. В данном случае городские условия могут быть наиболее подходящими для возникновения местной передачи малярии.

Рассмотренный в настоящей работе климатический фактор, несомненно, не является единственным, оказывающим влияние на восстановление передачи инфекции. Однако из всех метеорологических параметров именно температурные условия могут расцениваться как ведущие. Оценить вклад других метеорологических параметров, в первую очередь, влажности и осадков, в настоящее время затруднительно для территории Московского региона. Факторы осадков и увлажнения действуют на условия передачи малярии через переносчиков, но в связи с почти полным исчезновением энтомологической службы и недостатком данных по численности, видовому составу и фенологии переносчиков, проследить влияние этих факторов не удается. В целом, при формировании определенных социально-экономических условий, изменение температурного режима может оказаться пусковым механизмом для развития локальных вспышек.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-20070 «Оценка и прогноз биоклиматической комфортности городов России в условиях изменения климата в XXI веке»). Автоматизированный алгоритм расчета разработан инженером кафедры биогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова В.Н. Крайновым. Авторы благодарят к.м.н., регионального советника по малярии в регионе Восточного Средиземноморья в 1993–2001 гг. А.Е. Беляева за советы и комментарии при подготовке этой работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беклемишев В.Н., Виноградская О.Н., Дербенёва-Ухова В.П. и др. 1949. Учебник медицинской энтомологии. Часть 1 / Под общ. ред. В.Н. Беклемишева. М., Медгиз, 490 с.

Беляев А.Е., Рыбалка В.М., Лысенко А.Я., Абрашкин-Жучков Р.Г., Алексеева М.И., Арсеньева Л.П., Бабаева О.В., Горбунова Ю.П., Дашкова Н.Г., Кошелев Б.А. 1986. Дальнейшие наблюдения над полиморфизмом *P. vivax* по признаку длительности экзоэритроцитарного развития // Малярийные паразиты млекопитающих: Сб. научных статей. Сер. Протозоология. Вып.11. Л., Наука, с. 140–157.

ВОЗ. 2005. Практическое руководство по эпидемиологическому надзору за малярией для стран Европейского региона, столкнувшихся с возвратом малярии / Под общ. ред. М.Н. Ежова. Копенгаген, Европейское региональное бюро ВОЗ, 116 с.

Духанина Н.Н. 1944. Эпидемиологические наблюдения по тропической малярии на Севере и установление зон её распространения. Дис. … канд. мед. наук. М., 220 с.
Ежов М.Н., Сергиев В.П., Баранова А.М., Курдова-Минчева Р., Эмироглу Н., Гасимов Э. 2017. Малярия в Европейском регионе ВОЗ на пути к элиминации, 2000–2015 гг. Копенгаген, Европейское бюро ВОЗ, 154 с.
Званцов А.Б., Ежов М.Н., Артемьев М.М. 2003. Переносчики малярии (Diptera, Culicidae, Anopheles) Содружества Независимых государств (СНГ). Копенгаген, ВОЗ, 312 с.
Кислов А.В., Варенцов М.И., Горлач И.А., Алексеева Л.И. 2017. «Остров тепла» Московской агломерации и урбанистическое усиление глобального потепления. Вестник Московского университета. Серия 5. География **4**: 12–19.
Климат Москвы в условиях глобального потепления. Под ред. А.В. Кислова. 2017. М., Издательство Московского университета, 288 с.
Ландсберг Г.Е. 1983. Климат города. Л., Гидрометеоиздат, 246 с.
Лысенко А.Я., Кондрашин А.В. 1999. Маляриология. М., Открытые системы, 248 с.
Миронова В.А. 2006. Тенденции изменения климата и малярия в Московском регионе. Медицинская паразитология и паразитарные болезни **4**: 20–25.
Миронова В.А., Беляев А.Е. 2011. Миграционные процессы и малярия в России. Актуальные вопросы эпидемиологии инфекционных болезней: Сб. научных трудов, вып. 10. РМАПО, с. 680–690.
Мошковский Ш.Д. 1950. Основные закономерности эпидемиологии малярии. М.: Изд. АМН СССР, 323 с.
Мошковский Ш.Д., Рашина М.Г. 1951. Эпидемиология и медицинская паразитология для энтомологов. М., Медгиз, 455 с.
Оганов Л.И. 1947. Малярия в Московской области и её сезонная периодичность. Дис. … канд. мед. наук. М., 288 с.
Сергиев В.П., Баранова А.М., Маркович Н.Я., Супряга В.Г., Ганушкина Л.А. 2004. Возможное влияние изменения климата на распространение трансмиссивных болезней на территории России. Изменения климата и здоровье населения России в XXI веке: Материалы межд. семинара. М., Адамант, с. 143–147.
Шипицина Н.К. 1964. Сезон передачи и малярийные зоны Советского Союза. Проблемы мед. паразитологии и профилактики инфекций: Сб. научных статей. М., с. 258–278.
Ясюкевич В.В., Семёнов С.М. 2004. Моделирование климатогенных изменений потенциального ареала малярии человека на территории России и сопредельных стран. Изменения климата и здоровье населения России в XXI веке: Материалы межд. семинара. М., Адамант, с. 147–153.
Benali A., Nunes J. P., Freitas F. B., Sousa C. A., Novo M. T., Lourenço P. M., Almeida A. P. G. 2014. Satellite-derived estimation of environmental suitability for malaria vector development in Portugal. Remote Sensing of Environment **145**: 116–130. DOI: 10.1016/j.rse.2014.01.014.
Caminade C., Kovats S., Rocklov J., Tompkins A.M., Morse A.P., Coln-Gonzlez F.J. et al. 2014. Impact of climate change on global malaria distribution. Proceedings of the Natural Academy of Sciences USA **111** (9): 3286–3291. DOI: 10.1073/pnas.1302089111.
Eikenberry S.E., Gumel A.B. 2018. Mathematical modeling of climate change and malaria transmission dynamics: a historical review. Journal of Mathematical Biology. DOI: 10.1007/s00285-018-1229-7. [Epub ahead of print].
Gething P.W., Smith D. L., Patil A.P., Tatem A.J., Snow R.W., Hay S.I. 2010. Climate change and the global malaria recession. Nature **465**: 342–345. DOI: 10.1038/nature09098.
Githeko A.R., Lindsay S.W. Confalonieri U.E., Patz J.A. 2000. Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. Bulletin WHO **78** (9): 1136–1147.
Gomes E, Capinha C, Rocha J, Sousa C. 2016. Mapping risk of malaria transmission in mainland Portugal using a mathematical modelling approach. Braga ÉM, ed. PLoS ONE **11** (11): e0164788. DOI:10.1371/journal.pone.0164788.
Kovats R.S., Haines A., Stanwell-Smith R. Martens P., Menne B., Bertollini R. 1999. Climate change and Human health in Europe. British Medical Journal **318**: 1682–1685.
Layton M., Parise M.E., Campbell C.C. et al. 1995. Mosquito-transmitted malaria in New York City, 1993. Lancet **346** (8977): 729–731.
Lokoshchenko M.A. 2014. Urban ‘heat island’ in Moscow. Urban Climate **10** (3): 550–562.
Martens P. 2002. Of malaria and models. challenges in modeling global climate change and malaria risk. Casman E.A., Dowlatabadi H., eds. The contextual determinants of malaria. Washington, D.C., RFF Press, pp. 14–26.
Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A. 2017. Urban climates. Cambridge, Cambridge University Press, 509 pp.
Sainz-Elipe S., Latorre J.M., Escosa R., Masià M., Fuentes M.V., Mas-Coma S., Bargues M.D. 2010. Malaria resurgence risk in southern Europe: climate assessment in an historically endemic area of rice fields at the Mediterranean shore of Spain. Malaria Journal **9**: 221.

Sergiev, V.P., Baranova, A.M., Orlov, V.S. et al. 1993. Importation of malaria into the USSR from Afghanistan, 1981–89. Bulletin WHO **71** (3/4): 385–388.

Tardivo G., Berti A. 2012. A dynamic method for gap filling in daily temperature datasets. Journal of Applied Meteorology and Climatology **51** (6): 1079–1086.

Van Lieshout M., Kovats R.S., Livermore M.T.J., Martens P. 2004. Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. Global Environmental Change **14**: 87–9.

Varentsov M., Wouters H., Platonov V., Konstantinov P. 2018. Megacity-induced mesoclimatic effects in the lower atmosphere: a modeling study for multiple summers over Moscow, Russia. Atmosphere (Basel) **9** (2): 50. DOI: 10.3390/atmos9020050

Zucker J.R. 1996. Changing patterns of autochthonous malaria transmission in the United States: a review of recent outbreaks. Emerging Infectious Diseases Journal **2** (1): 37–43.

SPATIO-TEMPORAL TRENDS IN CHANGES OF CLIMATIC CONDITIONS CONTRIBUTING THE DEVELOPMENT OF VIVAX MALARIA PARASITE (*PLASMODIUM VIVAX*) IN MOSCOW REGION

V. A. Mironova, N. V. Shartova, M. I. Varentsov, M. Yu. Grishchenko

Keywords: vivax malaria, climate change, malaria season, *Plasmodium vivax.*

SUMMARY

The results of temporal and spatial analysis of climatic changes favorable for transmitting of vivax malaria in the Moscow region at the background of global warming and intensification of warmth grow in the city limits (warmth island) from 1977 to 2016 are given in the article. Changes in dates of the beginning of the main elements of malaria season and their duration are considered, long-term trends, are analyzed, and city environmental conditions are compared with the regional climatic background. Tendencies of the increase of summarized effective temperatures and of the duration of the season of effective infection of mosquitoes were established. Spatial irregularity in the distribution of mean indices and also of the speed of their changes in Moscow region were noted. The strongest changes of all the indices occurred since the middle of 1990ies, being consistent with the conclusion of the general warming of the climate in Moscow region. When the sufficient number of sources of the infection is present, the increase of the temperature regime may probably serve as a trigger mechanism for the development of disease outbreaks.