

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ НОЗОАРЕЛА И ЗОНЫ ПОВЫШЕННОГО ЭПИДЕМИЧЕСКОГО РИСКА ЛИХОРАДКИ ЗАПАДНОГО НИЛА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ОЖИДАЕМОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*В.В. Ясюкевич<sup>1)</sup>\*, И.О. Попов<sup>1)</sup>, Н.В. Ясюкевич*

<sup>1)</sup> Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А.Израэля, Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б; \*v1959@yandex.ru

**Реферат.** В ходе анализа литературы выявлен основной климатический параметр, определяющий нозоареал лихорадки Западного Нила (ЛЗН) на территории России, – сумма активных температур. Показано, что для интенсивной циркуляции вируса в теплое время года сумма активных температур при пороге 10°C должна быть более 2200°C. При значениях более 2800°C район считается эпидемическим. На основе этих критериев построены карты-схемы изменений нозоареала ЛЗН в условиях модельных климатов в разные периоды XXI века. Показано, что в течение XXI века рассматриваемый нозоареал и территория повышенного риска развития его эпидемических очагов будет расширяться на север и захватывать новые субъекты Российской Федерации.

**Ключевые слова.** Лихорадка Западного Нила, нозоареал, изменение климата, переносчик.

## Введение

Ранее мы неоднократно обращались к теме климатозависимых заболеваний (Ясюкевич и др., 2013; 2016). В числе прочих заболеваний в этих работах рассматривается и лихорадка Западного Нила (ЛЗН). В них даны: краткая характеристика ЛЗН как нозологической единицы, многолетняя динамика заболеваемости (1997-2014 гг.), приведен список субъектов Российской Федерации, уязвимых в отношении ЛЗН. Задачей данной публикации является моделирование нозоареала и прогноз распространения заболевания в связи с предполагаемым изменением климата, включая оценку риска эпидемических вспышек в теплое время года и возникновение эндемических очагов на территории России.

## Материалы и методы

Анализ литературы показал, что интенсивная циркуляция вируса в теплое время года возможна при среднегодовой сумме активных температур более 2200°C. Зоной повышенного эпидемического риска считаются те районы, где среднегодовая сумма активных температур при пороговом значении 10°C превышает 2800°C (Platonov et al., 2008).

Оценки предполагаемых изменений ареалов в XXI веке основываются на модельных ансамблевых климатах будущего, полученных в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) путем осреднения результатов вычислений 31 модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), участвующих в проекте сравнения глобальных климатических моделей CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project – Phase 5) (Катцов, Говоркова, 2013).

Согласно приведенному выше значению климатического предиктора были построены карты, отражающие возможные климатообусловленные изменения нозоареала ЛЗН и территории повышенного эпидемического риска в условиях сценария умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему RCP4.5 для следующих периодов (в сравнении с базовым периодом 1981-2000 гг. (s1)):

s2 – 2011-2030 гг.;

s3 – 2034-2053 гг. (переход глобального интеграла через 2°C);

s4 – 2041-2060 гг.;

s5 – 2080-2099 гг.

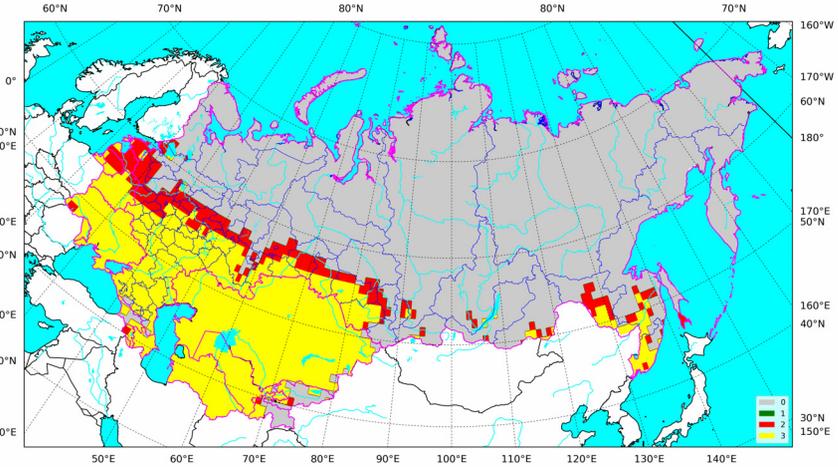
Построение карт и нанесение на них изолиний исследуемых климатических параметров осуществлялось при помощи пакета электронного картографирования Basemap для языка программирования Python (<http://matplotlib.org/basemap>), созданного на основе библиотеки построения научной графики и визуализации данных matplotlib (Hunter, 2007). Обработка данных производилась с помощью программ, написанных на языках программирования Fortran 77 и Python 2.7. В последнем случае применялся пакет векторной обработки данных numpy 1.8.

## Результаты

### *Оценка риска эпидемических вспышек в теплое время года*

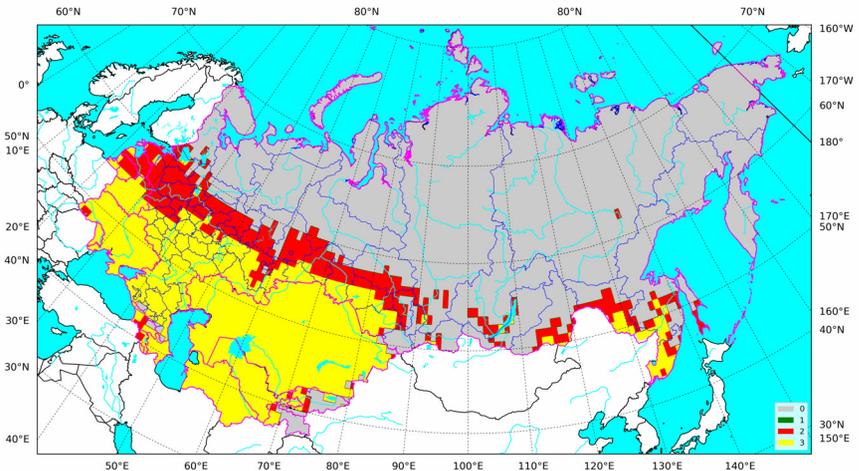
На рис. 1-4 представлены карты-схемы, отражающие результаты расчетов предполагаемых изменений нозоареала ЛЗН на территории России к четырем периодам 21 века в условиях модельного климата.

Как следует из этих рисунков, территория нозоареала будет расширяться в северном направлении и к концу XXI века достигнет 62-64° с. ш. Особенно значительное расширение в северном направлении предполагается на Европейской территории России. Возможно появление территорий циркуляции вируса ЛЗН в Южной Сибири, особенно к концу 21 века. Также расширится территория нозоареала на Дальнем Востоке.



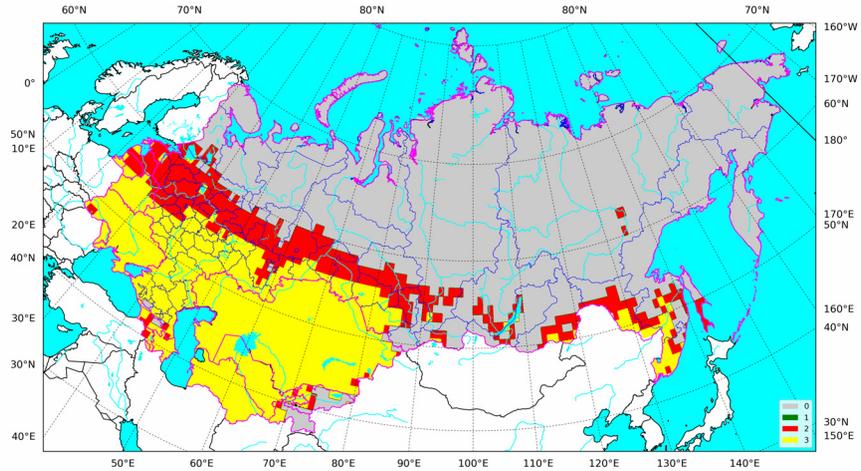
**Рисунок 1.** Предполагаемые изменения нозоареала ЛЗН (возможность эпидемических вспышек в теплое время года) в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода s2 (2011-2030 гг.), в сравнении с базовым периодом s1 (1981-2000 гг.)

*Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение нозоареала (в данном случае не выявлено); 2 – расширение нозоареала; 3 – циркуляция вируса возможна в оба сравниваемых периода*



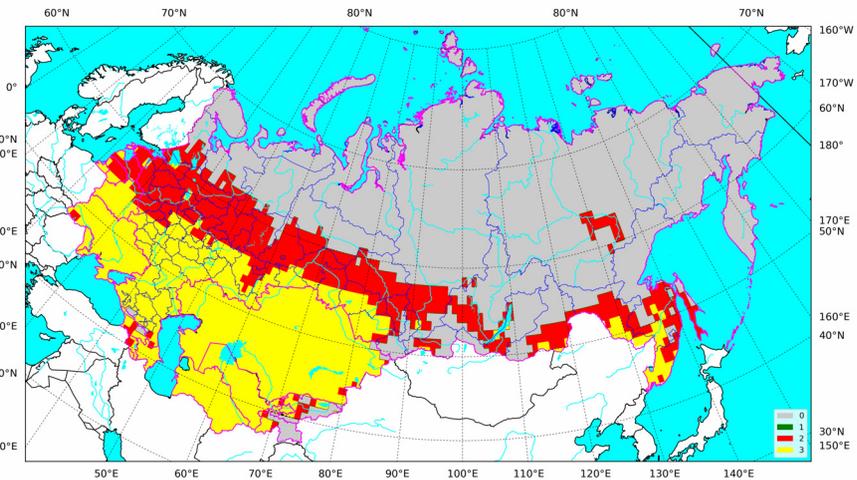
**Рисунок 2.** Предполагаемые изменения нозоареала ЛЗН (возможность эпидемических вспышек в теплое время года) в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода s3 (2034-2053 гг.), в сравнении с базовым периодом s1 (1981-2000 гг.)

*Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение нозоареала (в данном случае не выявлено); 2 – расширение нозоареала; 3 – циркуляция вируса возможна в оба сравниваемых периода*



**Рисунок 3.** Предполагаемые изменения нозоареала ЛЗН (возможность эпидемических вспышек в теплое время года) в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода s4 (2041-2060 гг.), в сравнении с базовым периодом s1 (1981-2000 гг.)

Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение нозоареала (в данном случае не выявлено); 2 – расширение нозоареала; 3 – циркуляция вируса возможна в оба сравниваемых периода

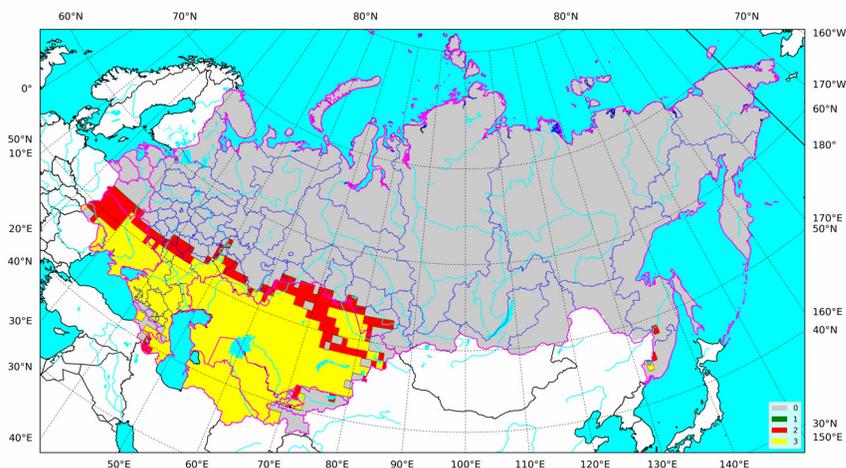


**Рисунок 4.** Предполагаемые изменения нозоареала ЛЗН (возможность эпидемических вспышек в теплое время года) в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода s5 (2080-2099 гг.), в сравнении с базовым периодом s1 (1981-2000 гг.)

Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение нозоареала (в данном случае не выявлено); 2 – расширение нозоареала; 3 – циркуляция вируса возможна в оба сравниваемых периода

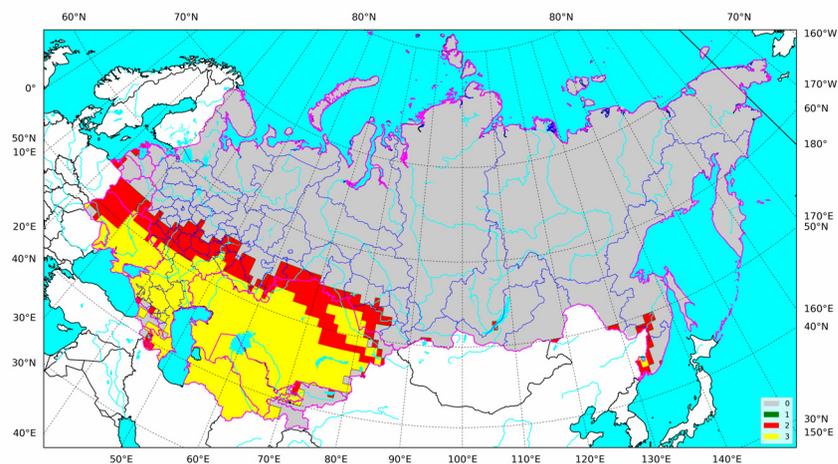
## Оценка возможных изменений зоны повышенного эпидемического риска ЛЗН

На рисунках 5-8 представлены карты-схемы, отражающие результаты расчетов предполагаемых изменений территорий эпидемических очагов ЛЗН на территории России к четырем периодам 21 века в условиях модельного климата.



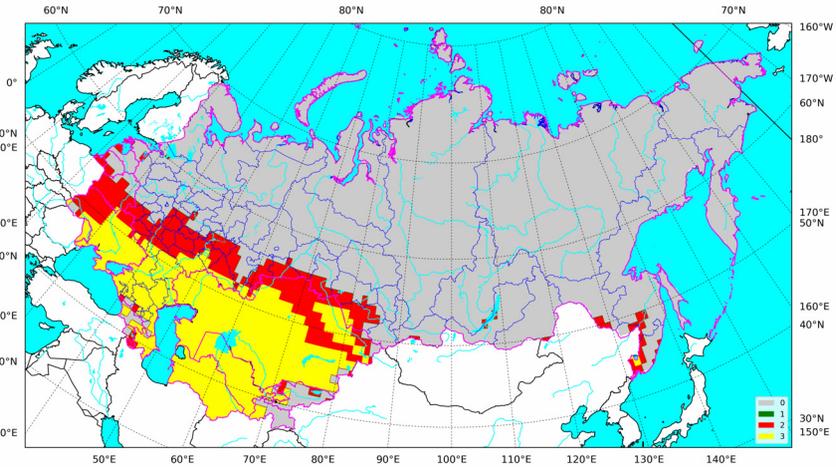
**Рисунок 5.** Предполагаемые изменения территории возможного развития эпидемических очагов ЛЗН в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода s2 (2011-2030 гг.), в сравнении с базовым периодом s1 (1981-2000 гг.)

Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение территории (в данном случае не выявлено); 2 – расширение территории; 3 – появление очагов возможно в оба сравниваемых периода



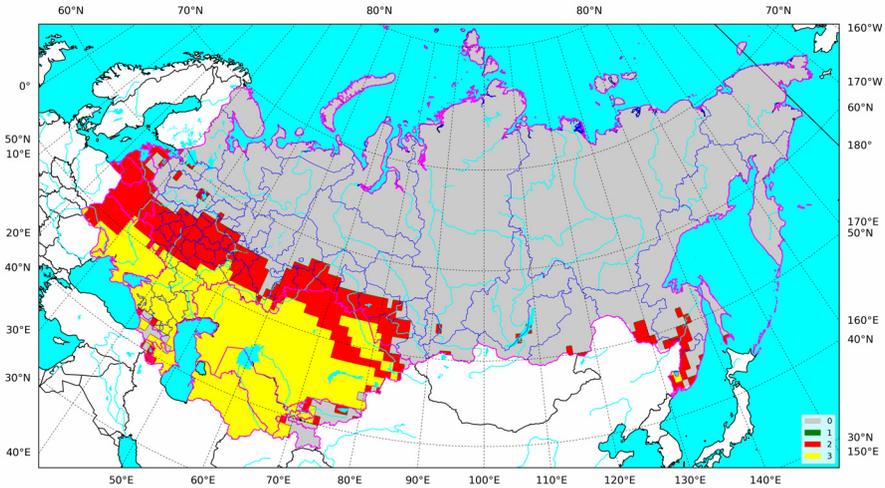
**Рисунок 6.** Предполагаемые изменения территории возможного развития эпидемических очагов ЛЗН в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода s3 (2034-2053 гг.), в сравнении с базовым периодом s1 (1981-2000 гг.)

Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение территории (в данном случае не выявлено); 2 – расширение территории; 3 – появление очагов возможно в оба сравниваемых периода



**Рисунок 7.** Предполагаемые изменения территории возможного развития эпидемических очагов ЛЗН в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода s1 (1981-2000 гг.), в сравнении с базовым периодом s1 (1981-2000 гг.)

Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение территории (в данном случае не выявлено); 2 – расширение территории; 3 – появление очагов возможно в оба сравниваемых периода



**Рисунок 8.** Предполагаемые изменения территории возможного развития эпидемических очагов ЛЗН в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода s5 (2080-2099 гг.), в сравнении с базовым периодом s1 (1981-2000 гг.)

Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение территории (в данном случае не выявлено); 2 – расширение территории; 3 – появление очагов возможно в оба сравниваемых периода

Как следует из этих рисунков, зона повышенного эпидемического риска также будет расширяться на север, но в меньшей степени. К концу XXI века эта зона достигнет 57° с. ш. Практически вся она локализована на Европейской части России и на юге Западной Сибири, однако к концу XXI века могут возникнуть климатические предпосылки ее возникновения на Дальнем Востоке.

### Обсуждение

В данной работе был применен простой метод построения модели возможной территории распространения вируса ЛЗН. Имеются исследования, посвященные этой теме и применяющие более современные и сложные методы. Например, в работе (Semenza et al., 2016) для изменения рисков распространения вируса ЛЗН на территории Европы использовалась логистическая регрессия. Несмотря на некоторые неизбежные различия между нашими результатами и результатами этой публикации общие выводы когерентны: в связи с ожидаемым изменением климата прогнозируется распространение зоны циркуляции вируса ЛЗН на север.

Эти результаты подтверждаются и авторами работы (Пестина и др., 2019), сделанные на основании модели, построенной на других принципах. Для оценки степени благоприятности термических условий для развития возбудителя ЛЗН, авторами был разработан обобщающий показатель – индекс  $K_{\text{term}}$ . В его основу положено представление о минимальной сумме эффективных температур в 109°C ( $S_{\text{min}}$ ) при пороговом значении 14.3°C, необходимой для завершения одного оборота инфекции.

### Заключение

Как показывают исследования, изложенные в данной статье, нозоарел ЛЗН предположительно будет иметь стойкую тенденцию к расширению. Сокращения нозоарела не прогнозируется. Поскольку вирус ЛЗН выделен из большого числа переносчиков фауны России, отсутствие какого-либо из них не будет являться ограничивающим фактором (Ясюкевич и др., 2013, 2016). В эпидемический процесс в XXI веке будут вовлекаться все новые и новые территории Российской Федерации, уязвимость населения которых в отношении ЛЗН повысится.

Меры специфической профилактики ЛЗН отсутствуют, поэтому мерой неспецифической профилактики является уничтожение комаров, особенно в городах, а также применение населением репеллентов, защитных сеток, полов и т. д. Большое значение в этом имеет осушение затопленных подвалов, обеспечивающих круглогодичное размножение *Culex pipiens molestus* в населенных пунктах.

*Публикация подготовлена в рамках выполнения: Целевой научно-технической программы «Научно-исследовательские, опытно-конструкторские, технологические и другие работы для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» на 2017-2019 годы. Тема НИОКР Росгидромета 1.3.3.1.*

---

---

**Список литературы**

Катцов В.М., Говоркова В.А. 2013. Ожидаемые изменения приземной температуры воздуха, осадков и годового стока на территории России в 21-м веке: результаты расчетов с помощью глобальных климатических моделей (СМIP5). – Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, вып. 569, с. 76-98.

Пестина П.В., Шартова Н.В., Грищенко М.Ю., Варенцов М.И., Крайнов В.Н., Малхазова С.М. 2019. Медико-экологические эффекты климатических изменений в развитии природнообусловленных заболеваний: на примере лихорадки Западного Нила на юге России. – В кн.: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практ. конф. (г. Воронеж, 3-5 октября 2019 г.) /Под общ. редакцией С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. – Воронеж. Издательство «Цифровая полиграфия», том 2, с. 440-443.

Ясюкевич В.В., Попов И.О., Ясюкевич Н.В. 2013. Климатозависимые заболевания и членистоногие переносчики: возможное влияние наблюдаемого на территории России изменения климата. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXV, с. 314-359.

Ясюкевич В.В., Рыбина Е.А., Ясюкевич Н.В., Рудкова А.А. 2016. Оценки уязвимости здоровья населения Российской Федерации в отношении некоторых инфекционных и трансмиссивных заболеваний в региональном аспекте для первой половины XXI века. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXVII, № 1, с. 49-73.

Hunter J.D. Matplotlib. 2007. A 2D graphics environment. – Computing in Science and Engineering, vol. 9, No. 3, pp. 90-95.

Platonov A.E., Fedorova M.V., Karan L.S., Shopenskaya T.A., Platonova O.V., Zhuravlev V.I. 2008. Epidemiology of West Nile infection in Volgograd, Russia, in relation to climate change and mosquito (Diptera: Culicidae) bionomics. – Parasitology research (Suppl 1), vol. 103, pp. 45-53. DOI 10.1007/s00436-008-1050-0

Semenza J.C., Tran A., Espinosa L, Sudre B., Domanovic D. and Paz S. 2016. Climate change projections of West Nile virus infections in Europe: implications for blood safety practices. – Environmental Health, vol. 15 (28), p. 125-136. DOI 10.1186/s12940-016-0105-4.

*Статья поступила в редакцию: 14.11.2019 г.*

*После переработки: 17.12.2019*

---

# MODELING OF NOZOAREL CHANGES AND ZONE OF INCREASED EPIDEMIC RISK OF WEST NILE FEVER IN RUSSIA IN CONNECTION WITH THE EXPECTED CLIMATE CHANGE

V.V. Yasjukevich<sup>1)</sup>\*, I.O. Popov<sup>1)</sup>, N.V. Yasjukevich

<sup>1)</sup> Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,  
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation; \*v1959@yandex.ru

**Abstract.** In the course of the analysis of the literature, the main climatic parameter was determined that determines the nosoareal of West Nile fever in Russia – the sum of the active temperatures. It has been shown that for intense virus circulation in the warm season, the sum of active temperatures at a threshold of 10°C should be more than 2200°C, at values of more than 2800°C the area is considered epidemic. Based on these criteria, maps of the changes in the nosoareal of West Nile fever under model climate conditions in different periods of the 21st century are constructed. It has been shown that over the 21st century, the nosoareal and the area of increased risk of the development of epidemic foci of West Nile fever will expand to the north and capture new subjects of the Russian Federation.

**Keywords.** West Nile fever, nosoareal, climate change, vector.

## References

Kattsov V.M., Govorkova V.A. 2013. Ozhidaemye izmeneniya prizemnoj temperatury vozduha, osadkov i godovogo stoka na territorii Rossii v 21-m veke: rezul'taty raschetov s pomoshch'yu global'nyh klimaticheskikh modelej (CMIP5) [Expected changes in surface air temperature, precipitation and annual runoff in Russia in the 21st century: results of calculations using global climate models (CMIP5)]. *Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A. I. Voejkova – Proceedings of the Main geophysical Observatory. A. I. Voejkova*, vol. 569, pp. 76-98.

Pestina P.V., Shartova N.V., Grishchenko M.Yu., Varentsov M.I., Krainov V.N., Malkhazova S.M. 2019. Mediko-ekologicheskie efekty klimaticheskikh izmenenij v razvitii prirodnoobuslovlennyh zabolevanij: na primere lihoradki zapadnogo nila na yuge Rossii [Medical and ecological effects of climate change in the development of natural diseases: the case of West Nile encephalitis in southern Russia]. *V kn.: Global'nye klimaticheskie izmeneniya: regional'nye efekty, modeli, prognozy. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Voronezh, 3-5 oktyabrya 2019 g.) / Pod obshch. redakciej S. A. Kurolapa, L.M. Akimova, V.A. Dmitrievoj. Voronezh: Izdatel'stvo «Cifrovaya poligrafija»* [In the book: Global climate change: regional effects, models, forecasts. Proceedings of the international scientific and practical conference (Voronezh, 3–5 October 2019) / edited by S. A. Kurolap, L. M. Akimov, V.A. Dmitrieva. Voronezh: publishing house "Digital printing"]. vol. 2, pp. 440-443.

---

---

Yasyukevich V.V., Popov I.O., Yasyukevich N.V. 2013. Klimatozavisimye zabolevaniya i chlenistonogie perenoschiki: vozmozhnoe vliyanie nablyudaemogo na territorii Rossii izmeneniya klimata [Climate-dependent diseases and arthropod vectors: possible impact of climate change observed in Russia]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*, vol. XXV, pp. 314-359.

Yasyukevich V.V., Rybina E.A., Yasyukevich N.V., Rudkova A.A. 2016. Ocenki uyazvimosti zdorov'ya naseleniya Rossijskoj Federacii v otnoshenii nekotoryh infekcionnyh i transmissivnyh zabolevanij v regional'nom aspekte dlya pervoj poloviny XXI veka [Assessment of the vulnerability of the population of the Russian Federation to some infectious and vector-borne diseases in the regional aspect for the first half of the XXI century]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*, vol. XXVII, No. 1, pp. 49-73.

Hunter J.D. Matplotlib. 2007. A 2D graphics environment. – *Computing in Science and Engineering*, vol. 9, No. 3, pp. 90-95.

Platonov A.E., Fedorova M.V., Karan L.S., Shopenskaya T.A., Platonova O.V., Zhuravlev V.I. 2008. Epidemiology of West Nile infection in Volgograd, Russia, in relation to climate change and mosquito (Diptera: Culicidae) bionomics. – *Parasitology research (Suppl 1)*, vol. 103, pp. 45-53. DOI 10.1007/s00436-008-1050-0

Semenza J.C., Tran A., Espinosa L, Sudre B., Domanovic D. and Paz S. 2016. Climate change projections of West Nile virus infections in Europe: implications for blood safety practices. – *Environmental Health* vol. 15 (28), p. 125-136. DOI 10.1186/s12940-016-0105-4