

УДК 619:616.995.1

<https://doi.org/10.31016/978-5-6050437-8-2.2024.25.79-83>

ОБЗОР МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРИРОДНО-ОЧАГОВЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Василевич Ф. И. ¹,

доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН

Никанорова А. М. ²,

доктор ветеринарных наук, доцент,

NikanorovaAM@tksu.ru

Аннотация

Во все периоды развития науки ученые занимаются моделированием материального мира. Математическое моделирование в настоящее время является быстроразвивающимся методом, применяемым в биологических, медицинских и ветеринарных науках, в том числе в паразитологии. Особый интерес вызывает моделирование, применяемое для прогнозирования вспышек природно-очаговых болезней. Исторический экскурс проведен анализом литературных источников. В статье проведен обзор вариантов математического моделирования в паразитологии: модель Росса (1911 г.) SEIR малярии на базе обычных дифференциальных уравнений, модель отсроченной передачи малярии Росса-Макдональда, где доказано, что базовый показатель размножения является убывающей функцией временных (инкубационных) задержек в организме как насекомого, так и человека; модели малярии Ндиайе С. М. и Паралиной Е. М., которые предложили применять дифференциальные уравнения с изначально положительными условиями; модели Мартинес-Родригеса численности комаров с прогнозированием и подтверждением данных полевых исследований, а также аналитические и расчетные модели численности популяций комаров, обитающих на территории Калужской области по статистическим данным 2009–2019 гг., построенные с помощью многофакторного эксперимента типа 2к. На основании полученных данных, так как природно-очаговые трансмиссивные заболевания, в том числе малярия,

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологий – МВА имени К. И. Скрябина» (109472, Россия, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23)

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского» (248023, Россия, г. Калуга, ул. Степана Разина, д. 26)

лихорадка Денге или вирус Западного Нила переносятся кровососущими членистоногими, то и правильнее главную роль в возможностях вспышек болезней отнести именно численному значению популяций прежде всего переносчиков с учетом численности потенциальных хозяев.

Ключевые слова: математическое моделирование, природно-очаговые болезни, членистоногие

REVIEW OF MATHEMATICAL MODELING OF SOME NATURAL FOCAL DISEASES

Vasilevich F. I. ¹,

Doctor of Veterinary Sciences, Professor,
Academician of the Russian Academy of Sciences

Nikanorova A. M. ²,

Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor,
NikanorovaAM@tksu.ru

Abstract

In all periods of science development, scientists have been engaged in modeling the material world. Mathematical modeling is currently a rapidly developing method used in biological, medical and veterinary sciences including parasitology. Of particular interest is the modeling used to predict outbreaks of natural focal diseases. The historical insight is made by analyzing literature sources. The article provides a review of options for mathematical modeling in parasitology: the Ross SEIR model (1911) for malaria based on ordinary differential equations, the delayed Ross-MacDonald model for malaria where it is proven that the basic reproduction number is a decreasing function of time (incubation) delays in both the insect and human; models of malaria by Ndiaye S. M. and E. M. Paralina, who proposed using differential equations with initially positive conditions; and Martinez-Rodriguez models of the number of mosquitoes with prediction and confirmation of field research data, as well as analytical and computational models of mosquito populations inhabiting the Kaluga Region based on statistical data for 2009–2019 as built using a 2k multi-factor experiment. The data obtained showed that, since natural focal vector-borne diseases including malaria, dengue fever or West Nile

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin" (23, Academician Skryabin st., Moscow, 109472, Russia)

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski" (26, Stepana Razin st., Kaluga., 248003, Russia)

virus were transmitted by blood-sucking arthropods, it was more correct to attribute the main role in the possibility of disease outbreaks to the numerical value of populations, primarily vectors, in view of the number of potential hosts.

Keywords: mathematical modeling, natural focal diseases, arthropods

Введение. Во все периоды развития науки ученые занимаются моделирование материального мира. Математическое моделирование в настоящее время является быстроразвивающимся методом, применяемым в биологических, медицинских и ветеринарных науках, в том числе в паразитологии. Особый интерес вызывает моделирование, применяемое для прогнозирования вспышек природно-очаговых болезней.

Академик Павловский Е. Н. в своих работах писал, что «оценка любых обстоятельств, связанных с деятельностью человека или хотя бы косвенно от него зависящих, должна занимать свое место при эпидемиолого-паразитологическом анализе причин развития различных болезней, которым свойственен феномен природной очаговости» (1955 г.).

Материалы и методы. Исторический экскурс проведен анализом литературных источников.

Результаты исследований. Первые попытки математического моделирования в паразитологии принадлежат Россу (1911 г.) и Макдональду (1957 г.), где модель SEIR малярии строится на базе обычных дифференциальных уравнений, которые описывают динамику развития и патогенез у человека. В результате было проведено численное моделирование влияния параметров на распространение болезни с учетом важности измерения определенных показателей, например, базового коэффициента воспроизводства, индекса стабильности и фактического коэффициента воспроизводства. Данная модель в целом повлияла на математический анализ многих трансмиссивных болезней в будущем [4].

Позже была предложена модель отсроченной передачи малярии Росса-Макдональда, где доказано, что базовый показатель размножения является убывающей функцией временных (инкубационных) задержек в организме как насекомого, так и человека. Предлагается путем продления инкубационных периодов у носителей или хозяев (с помощью лекарств или мер контроля) снизить распространенность инфекции [4].

Следующие попытки моделирования малярии принадлежат ученым Ндиае С. М. и Паралиной Е. М., которые предложили применять дифференциальные уравнения с изначально положительными условиями. В результате характеризуется динамика передачи малярии и стационарные состояния эпидемического процесса [1–5].

Интересен реакционно-диффузионный подход для изучения динамики распространения вольбахий в популяции комаров в гомогенной среде. Сформулированная модель основана на более ранней модели Скальски и Гиллиа-

ма (2003 г.). Предоставляются средства для аппроксимации скорости волны численности популяции комаров, генерируемой моделью, и показывается, что она близко согласуется с численным моделированием в зависимости от температурного фактора [2].

Модели численности комаров в условиях конкуренции за водную среду и прогнозирование с подтверждением данных полевых исследований описаны в работах Мартинес-Родригеса. Главный результат заключается в том, что возможно повлиять на долгосрочное распространение инфекции с возможными последствиями для текущего распространения вольбахий и на то, как возбудитель влияет на размножение своего хозяина [3].

Независимыми исследованиями доказано влияние климатических условий, сезонности на численность переносчиков, а значит и на возбудителей болезней. Для вируса Денге разработана математическая модель Макленнан-Смитом и Мерсером, где конкретно доказано влияние сезонности. Анализ сезонной модели Денге позволил получить представление о динамике системы под влиянием изменения параметров, в частности коэффициентов передачи «хозяин-переносчик» и «переносчик-хозяин». Феррейр и Ян (2008 г.) (Сингапур) дополнили модели с измененными параметрами для всех стадий комаров как основных переносчиков.

Для Калужской области построены математические модели численности популяции комаров с помощью многофакторного эксперимента типа 2к. В результате на основе статистических данных 2009–2019 гг. получены аналитические и расчетные модели, позволяющие не только качественно оценивать динамику численности, но количественно в будущем времени.

Заключение. На основании полученных данных, так как природно-очаговые трансмиссивные заболевания, в том числе малярия, лихорадка Денге или вирус Западного Нила переносятся кровососущими членистоногими, то и правильнее главную роль в возможностях вспышек болезней следует отнести именно численному значению популяций прежде всего переносчиков с учетом численности потенциальных хозяев.

Список источников

1. Гуленкин В. М., Коренной Ф. И. Математическое моделирование рисков распространения особо опасных заболеваний животных из очага инфекции // Ветеринария и кормление. 2013. № 5. С. 12-14.
2. Chan M. H. T., Kim P. S. Modelling a Wolbachia invasion using a slow fast dispersal reaction diffusion approach // Bulletin of Mathematical Biology. 2013; 75: 1501-1523.

3. *Martinez-Rodriguez P., Granero-Belinchon R., Arroyo-Yebras F., Bella J. L.* New insight into Wolbachia epidemiology: Its varying incidence during the host life cycle can alter bacteria spread // *Bulletin of Mathematical Biology.* 2014; 76: 2646-2663.
4. *McDonald G.* Epidemiological basis of malaria control // *Bulletin of the World Health Organization.* 1956; 15(3-5): 613-626.
5. *Ruan S., Xiao D., Beier J. C.* On the delayed Ross-Macdonald model for malaria transmission // *Bulletin of mathematical biology.* 2008; 70(4): 1098-1114.

References

1. Gulenkin V. M., Korennoy F. I. Mathematical modeling of distribution risks of especially dangerous animal diseases from the focus of infection. *Veterinary medicine and feeding.* 2013; 5: 12-14. (In Russ.)
2. Chan M. H. T., Kim P. S. Modelling a Wolbachia invasion using a slow fast dispersal reaction diffusion approach. *Bulletin of Mathematical Biology.* 2013; 75: 1501-1523.
3. Martinez-Rodriguez P., Granero-Belinchon R., Arroyo-Yebras F., Bella J. L. New insight into Wolbachia epidemiology: Its varying incidence during the host life cycle can alter bacteria spread. *Bulletin of Mathematical Biology.* 2014; 76: 2646-2663.
4. McDonald G. Epidemiological basis of malaria control. *Bulletin of the World Health Organization.* 1956; 15(3-5): 613-626.
5. Ruan S., Xiao D., Beier J. C. On the delayed Ross-Macdonald model for malaria transmission. *Bulletin of mathematical biology.* 2008; 70(4): 1098-1114.