

DOI: 10.34921/amj.2023.1.021

Ş.Q.Bayramov<sup>1,2</sup>, N.Ş.Bayramova<sup>3</sup>**AZƏRBAYCANDA COVID-2019 EPİDEMİYASININ NƏZƏRİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ**<sup>1</sup>*Azərbaycan Tibb Universitetinin Tibbi və bioloji fizika kafedrası;*<sup>2</sup>*Bakı Dövlət Universitetinin Fizika Problemləri İnstitutu;*<sup>3</sup>*Azərbaycan Tibb Universitetinin Biokimya kafedrası, Bakı, Azərbaycan*

*COVID-2019 koronavirus epidemiyasının riyazi modeli təklif edilib. Təklif edilən riyazi modelin analizi göstərir ki, epidemiyanın dinamikası epidemiyaya qarşı müxtəlif tədbirləri əks etdirən parametrlərə (mərhələlərin sürət sabitlərinə) kifayət qədər həssasdır. Bu fakt deməyə əsas verir ki, Covid-19 koronavirusunun Azərbaycanda tamamilə yox olması gözlənilməməlidir. Buna görə də bütün məhdudlaşdırıcı tədbirlərin tam aradan qaldırılması respublikada COVID-19 epidemiyası üzrə vəziyyəti daha da ağırlaşdırma bilər.*

**Açar sözlər:** COVID-19, riyazi modelləşdirmə

**Ключевые слова:** COVID-19, математическое моделирование

**Key words:** COVID-19, mathematical modeling

Ш.К.Байрамов<sup>1,2</sup>, Н.Ш.Байрамова<sup>3</sup>**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИИ  
COVID-2019 В АЗЕРБАЙДЖАНЕ**<sup>1</sup>*Кафедра медицинской и биологической физики Азербайджанского Медицинского Университета;*<sup>2</sup>*Институт Физических проблем Бакинского Государственного Университета;*<sup>3</sup>*Кафедра биохимии Азербайджанского Медицинского Университета, Баку, Азербайджан*

*Предложена математическая модель эпидемии коронавируса COVID-2019 в Азербайджане. Анализ предложенной математической модели показывает, что динамическое поведения эпидемии достаточно чувствительно параметрам (постоянным скоростей стадий), которые отражают разных мероприятий против эпидемии. Этот факт дает основание предполагать, что не следует ожидать полного исчезновения коронавируса Covid-19 в Азербайджане. Поэтому, снятие всех ограничительных мероприятий способно усугубить ситуацию по COVID-19 в республике.*

Эпидемия коронавируса нового типа (COVID- 2019) начался в середине декабря 2019 года с обнаружением пневмонии неизвестного происхождения среди местного населения в городе Ухань в центральной части Китая. 11 февраля Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) назвала инфекцию COVID-19, а 11 марта объявила коронавирус пандемией. Первая коронавирусная (COVID-19) инфекция в Азер-

байджане была зарегистрирована 28 февраля 2020 года.

Имеющиеся на сегодня данные дают основания полагать, что передача SARS-CoV-2 происходит преимущественно от человека к человеку при прямом или косвенном контакте с заболевшим. Заражение непосредственным контактом происходит при нахождении здоровых людей в непосредственной близости (в тесном кон-

такте) зараженного человека через выделения, содержащие вирус – слюну и жидкий секрет из дыхательных путей или образующиеся из этих жидкостей мелкие капли, вылетающие в воздух при кашле, чихании, разговоре или пении. К механизму заражения через косвенного контакта можно отнести несколько путей такие как, в медицинских учреждениях, где проводятся медицинские процедуры, сопровождающиеся образованием аэрозолей (взвесей мелкодисперсных капель в воздухе), возможна передача вируса воздушно-пылевым путем. Некоторые сообщения о вспышках инфекции, связанных со скоплением людей в ограниченном замкнутом пространстве, указывают на возможность аэрозольного пути передачи в дополнение к воздушно-капельному. Кроме того, передача вируса возможна через fomites – предметы и поверхности, контаминированные вирусом в результате оседания капель из дыхательных путей заболевшего. Поскольку во многих публикациях приведены доказательства контаминации окружающих объектов, вполне вероятно, что люди могут заразиться, если прикоснутся к загрязненным поверхностям, а затем дотронутся до глаз, носа или рта, не помыв предварительно руки. Предполагаемыми механизмами передачи вируса SARS-CoV-2 можно познакомиться в резюме научных исследований от 9 июля 2020 г. [1-5].

На данный момент существуют различные классы математических моделей, применяемых для прогнозирования течения эпидемий [6-9]. Класс моделей SRID (Susceptible – восприимчивый, Recovered – выздоровевший, Infectious – инфицированный, Deceased – умерший) предусматривает формирование устойчивого иммунитета к инфекции (повторное заражение невозможно). Класс моделей SIR (Susceptible – восприимчивый, Infectious – инфицированный, Recovered – выздоровевший) – модель с формированием устойчивого иммунитета – является базовой моделью для описания распространения эпидемий. Класс моделей SIS (Susceptible – восприимчивый, Infected – выздоровевший, Susceptible – восприимчивый) – модель без устойчивого иммунитета с возможным хроническим течением

болезни. SIS-модели хорошо зарекомендовали себя при описании опасных вирусных заболеваний с хроническим течением, таких как вирус иммунодефицита человека (HIV), хронические гепатиты В (HBV) и С (HCV). Модели SIR применяются для описания эпидемических процессов, вызываемых вирусами с относительно легким течением: группы вирусов, вызывающих респираторные инфекции (ОРВИ) и некоторые штаммы вируса гриппа (influenza virus) [9].

Согласно данным ВОЗ [1], при распространении инфекции наблюдаются две особенности развития эпидемии SARS-CoV-2, которые не учитываются вышеперечисленных моделях. Так, во-первых, наблюдается повторное заражение, т.е., не происходит формирование устойчивого иммунитета к инфекции, во-вторых, не наблюдается хроническое течение болезни [10], т.е. не наблюдаются хронические носители вируса.

Целью нашей работы явилось проведение математического моделирования развития эпидемии COVID-19 и выявление закономерности распространения эпидемии в Азербайджане.

В согласии вышеизложенными механизмами заражения здоровых людей по данным ВОЗ [1], выделим три группы переменных при развитии эпидемии COVID-19:

- люди, abortивно зараженные вирусом (число этих людей обозначим через  $X_1$ );
- fomites – предметы и поверхности, контаминированные вирусом в результате оседания капель из дыхательных путей заболевшего (число этих объектов обозначим через  $X_2$ );
- люди, еще не зараженные вирусом (число этих людей обозначим через  $X_3$ ).

Можно полагать, что приращение числа с острой инфекцией вследствие заражения здоровых людей вирусом, продуцируемый людьми с острой инфекцией, пропорционально числу здоровых людей, как и числу остро инфицированных, а также, числу fomites, приращение числа здоровых людей происходит вследствие излечения зараженных, причем, возможно повторное заражение и не существует хронические носители вируса, приращение числа fomites пропорционально числу зараженных людей, как и числу не загрязненных тел.

Кроме этих, число зараженных людей меняется вследствие приращений, связанных с гибелью и выздоровлением остро инфицированных людей, причем не пренебрегается уменьшение здоровых людей естественной гибелью.

Таким образом, вышеизложенные процессы могут математически выражены следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= k_{31}x_1x_3 + k_{23}x_2x_3 - k_{13}x_1 - k_{11}x_1 \\ \frac{dx_2}{dt} &= k_{42}x_1x_4 - k_{24}x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} &= -k_{31}x_1x_3 - k_{32}x_2x_3 + k_{13}x_1 + k_{30}x_0 \end{aligned} \quad (1)$$

где,  $k_{31}$ ,  $k_{32}$ ,  $k_{42}$ ,  $k_{24}$ - постоянные скоростей заражения здоровых людей с остроинфици-

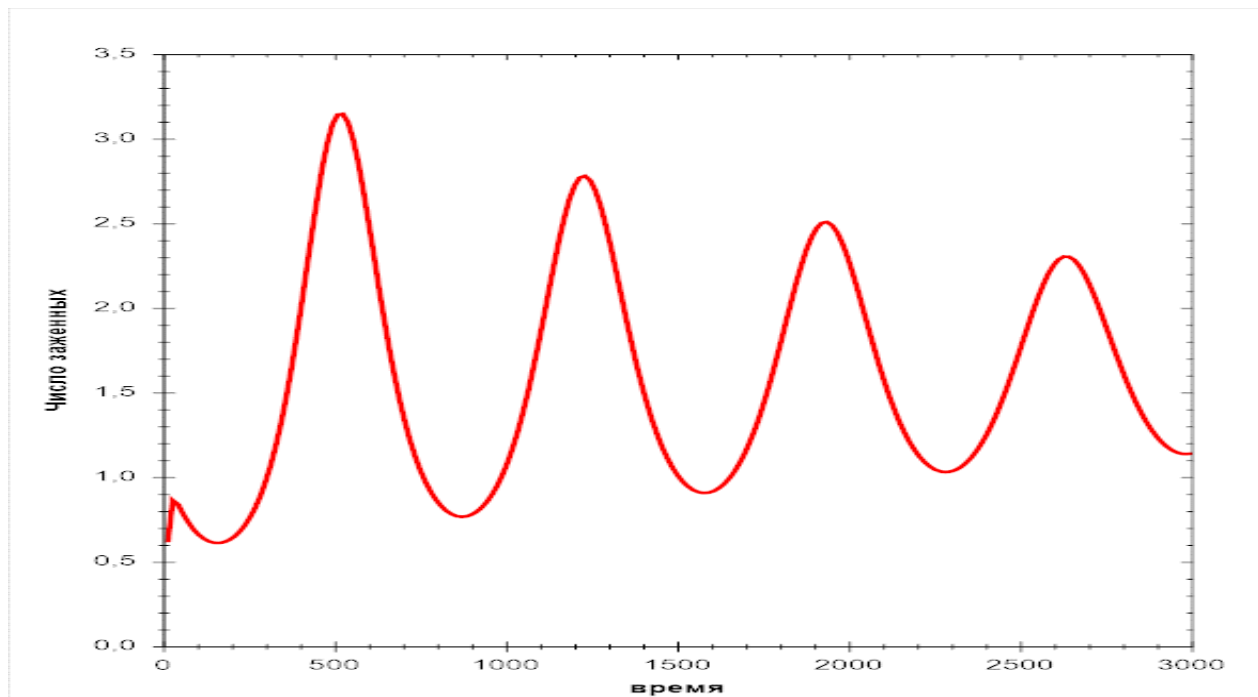
рованными и заражения при взаимодействии загрязненной вирусом средой, скорости загрязнения сред и ее «очистки», инфекции в литическую и, соответственно,  $k_{13}$ ,  $k_{11}$ ,  $k_{30}$  – постоянные скоростей выздоровления зараженных людей, отмирания зараженных и притока здоровых людей,  $x_0$  и  $x_4$  резервуарные числа здоровых людей и чистых сред, соответственно.

В рамках данной модели, в системе может быть одно ненулевое стационарное состояние. Приравнивая правые части уравнений системы (1) можно получить координаты стационарных точек. Итак, в системе могут быть следующие стационарные состояния:

1. Все люди здоровы, т.е.  $x_1=x_2=0$ ,  $x_3 \neq 0$ ;
2. Все три типа переменных не равны нулю, т.е. сосуществуют все три типа выделенных групп:  $x_1=k_{30}x_0/k_{11}$ ,  $x_2=k_{30}x_0x_4/(k_{24}k_{11})$ ;  $x_3=(k_{11} + k_{13})k_{24}/(k_{31}k_{24} + k_{32})$ .



**Рисунок 1.** График выявленных случаев заражения коронавирусом COVID-19 в Азербайджане по датам. <https://coronavirus-monitor.info/country/azerbaijan/>



**Рисунок 2.** Численные результаты модели заражения коронавирусом COVID-19 в Азербайджане (1). Результаты получены условных единицах времени и переменных в модели (1).

Теоретический анализ показывает, что существующее ненулевое стационарное состояние устойчиво. При этом, возможны параболическое изменение (т.е. одного максимума) при развитии эпидемии и колебательное изменение переменных, отражающих процесс распространения эпидемии. Фактические данные о развитии эпидемии в Азербайджане отражены на графике выявленных случаев заражения коронавирусом COVID-19 в Азербайджане (рис. 1) (<https://coronavirus-monitor.info/country/azerbaijan>). Из этого графика видно, что имеет место колебательное приближение к стационарному состоянию системы. Предложенная в данной работе математическая модель предсказывает колебательное поведение развития эпидемии (рис. 2), которое качественно хорошо согласуется с фактическими данными на рис. 1. Следует отметить, что одним из важных условий для колебательной динамики является условие  $k_{13} \gg k_{11}$ , при  $k_{11} \neq 0$ , т.е. колебательный режим возможен при преобладании скорости выздоровления зараженных над скорости их гибели, что вполне согласуется статистическими данными ([\[monitor.info/country/azerbaijan\]\(https://coronavirus-monitor.info/country/azerbaijan\)\).](https://coronavirus-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

**Заключение.** В результате проведенного исследования приходится констатировать то, что не следует ожидать полного исчезновения коронавируса COVID-19 в Азербайджане. Кроме этого, имеется значительное количество неучтенных случаев легкого или бессимптомного течения заболевания, оканчивающегося выздоровлением и формированием иммунитета к данной инфекции. Анализ предложенной математической модели показывает, что динамическое поведение эпидемии достаточно чувствительно параметрам (постоянным скоростям стадий), которые отражают разные мероприятий против эпидемии. Этот факт дает основание предполагать, что снятие всех ограничительных мероприятий способно усугубить ситуацию по COVID-19 в республике. Для улучшения прогнозируемой ситуации необходимо продолжать осуществление комплекса мероприятий [11], направленных на реализацию в республике ограничительных мер (изоляция зараженных, масочного режима, социального дистанцирования и вакцинация граждан, проведения масштабных мероприятий по дезинфекции и пр).

## ЛИТЕРАТУРА

1. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333114/WHO-2019-nCoV-Sci\\_Brief-Transmission\\_modes-2020.3-rus.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333114/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.3-rus.pdf)
2. Liu J., Liao X., Qian S., Yuan J., Wang F., Liu Y., et al. Community Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2, Shenzhen, China, 2020. *Emerg Infect Dis.* 2020;26:1320-3.
3. Chan JF-W., Yuan S., Kok K-H., To KK-W., Chu H., Yang J., et al. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. *Lancet.* 2020;395:14-23.
4. Huang C., Wang Y., Li X., Ren L., Zhao J., Hu Y., et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet.* 2020;395:497-506.
5. Burke R.M., Midgley C.M., Dratch A., Fenstersheib M., Haupt T., Holshue M., et al. Active Monitoring of Persons Exposed to Patients with Confirmed COVID-19 – United States, January–February 2020 // *MMWR (Morb Mortal Wkly Rep.)* 2020;69(:245-6.
6. Кольцова Элеонора Моисеевна, Куркина Елена Сергеевна, Васецкий Алексей Михайлович. Математическое моделирование распространения эпидемии коронавируса COVID-19 в Москве. [Электронный ресурс]. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-rasprostraneniya-epidemii-koronavirusa-covid-19-v-moskve> 10 [Koltsova Eleonora Moiseevna, Kurkina Elena Sergeevna, Vasetsky Alexei Mikhailovich. Mathematical modeling of the spread of the COVID-19 coronavirus epidemic in Moscow. [Electronic resource]]
7. Kermack W.O., & McKendrick A.G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the royal society of london. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character*, 115(772), 700-721.
8. Bailey N.T. (1975). *The mathematical theory of infectious diseases and its applications.* Charles Griffin & Company Ltd, 5a Crenon Street, High Wycombe, Bucks HP13 6LE.
9. Anderson R.M., Anderson B., & May R.M. (1992). *Infectious diseases of humans: dynamics and control.* Oxford university press Hethcote H.W. *The mathematics of infectious diseases // SIAM review* (2000). 42(4), 599- 653.
10. İsayev C.P., İbrahimova G.X. SARS-CoV-2 virus infeksiyası zamanı qastrointestinal pozulmalar // *Azerbaijan Medical Journal-2021*, №4, s.41-49. [Isayev C.P., Ibrahimova G.Kh. Gastrointestinal disorders during SARS-CoV-2 virus infection // *Azerbaijan Medical Journal-2021*, No. 4, pp. 41-49.]
11. Bayramov N.Y., Salahova S.Ş., Öməröv T.İ., Hüseynova M.R. Koronavirus pandemiyası dövründə əməliyyatdaxili profilaktika prinsipləri // *Azerbaijan Medical Journal -2020*, №3, s.99-102. [Bayramov N.Y., Salahova S.Sh., Omarov T.I., Huseynova M.R. Principles of intraoperative prevention during the coronavirus pandemic // *Azerbaijan Medical Journal -2020*, No. 3, p.99-102.]

**Sh.K.Bayramov<sup>1,2</sup>, N.Sh.Bayramova<sup>3</sup>**

### **THEORETICAL MODELLING OF THE EPIDEMIC COVID-2019 IN AZERBAIJAN**

<sup>1</sup> *Department of medical and biological physics, Azerbaijan Medical University;*

<sup>2</sup> *Institute of Physical Problems of Baku State University;*

<sup>3</sup> *Department of biochemistry, Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan*

**Summary.** A mathematical model of the coronavirus COVID-2019 epidemic in Azerbaijan is proposed. Analysis of the proposed mathematical model shows that the dynamic behavior of the epidemic is quite sensitive to parameters (rate constant of stages), which reflect different measures against the epidemic. This fact suggests that the lifting of all restrictive measures can aggravate the situation with COVID-19 in the republic and one should not expect the complete disappearance of the Covid-19 coronavirus in Azerbaijan.

**Müəlliflə əlaqə üçün:**

**Bayramov Şahin Qənbər oğlu** – Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, Azərbaycan Tibb Universitetinin Tibbi və bioloji fizika kafedrası

**E-mail:** shahin\_bay@mail.ru