

**Б.О. Жумартова<sup>1\*</sup>, А.А. Утемисова<sup>1</sup>, Р.С. Ысмағұл<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Костанайский региональный университет им. А.Байтұрсынұлы, г. Костнай, Казахстан

\*e-mail: balzhan.zhumartova@mail.ru

## **МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ**

### *Аннотация*

Человечество во все времена тесно взаимодействует с различными вирусами, бактериями, грибами, некоторым из них мы обязаны жизнью, некоторые являются для нас опасными, они источники инфекции. Во второй декаде 21 века мир столкнулся с невидимым «врагом» коронавирусной инфекцией, которая требовала быстрых, решительных действий от мирового сообщества не только в борьбе с ней, но и в поиске методов и способов прогнозирования ее распространения. Чтобы рассчитать максимальную нагрузку на сферу здравоохранения и скорректировать меры сдерживания инфекции необходимо математическое моделирование. Как и любое явление в нашей жизни, так и распространение инфекционных заболеваний можно смоделировать с помощью математического аппарата. Который в свою очередь позволит спрогнозировать темпы распространения инфекции, предвидеть будущий сценарий заражения населения. С этой целью в статье был рассмотрен метод наименьших квадратов (МНК) для прогнозирования эпиддинамики коронавирусной инфекции на территории Костанайской области.

*Ключевые слова:* метод наименьших квадратов, моделирование, коронавирусная инфекция.

**Б. О. Жумартова<sup>1</sup>, А. А. Утемисова<sup>1</sup>, Р. С. Ысмағұл<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>А. Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., Қазақстан

## **ЭПИДЕМИОЛОГИЯЛЫҚ ДИНАМИКАНЫ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ БОЛЖАУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ ЕҢ КІШІ КВАДРАТТАР ӘДІСІ**

### *Аңдатпа*

Адамзат барлық уақытта әртүрлі вирустармен, бактериялармен тығыз қарым-қатынас жасайды, олардың кейбіреулері біздің өміріміз үшін маңызды, кейбіреулері біз үшін қауіпті. 21 ғасырда әлем коронавирустық инфекциясымен бетпе-бет кеді, ол әлемдік қауымдастықтан онымен күресуде ғана емес, сонымен бірге оның таралуын болжаудың әдістерін іздеуді талап етті. Денсаулық сақтау саласына максималды жүктемені есептеу және инфекцияны болдырмау шараларын түзету үшін математикалық модельдеу қажет. Біздің өміріміздегі кез-келген құбылыс сияқты, жұқпалы аурулардың таралуын математикалық аппараттың көмегімен модельдеуге болады. Бұл өз кезегінде инфекцияның таралу қарқынын болжауға, халықтың инфекциясының болашақ сценарийін болжауға мүмкіндік береді. Осы мақсатта мақалада Қостанай облысының аумағында коронавирустық инфекцияның эпидемиологиясын болжау үшін ең кіші квадраттар әдісі қарастырылды.

*Түйін сөздер:* ең кіші квадраттар әдісі, модельдеу, коронавирус инфекциясы.

**B. O. Zhumartova<sup>1</sup>, A. A. Utemisova<sup>1</sup>, R. S. Ysmagul<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>kostanay Regional University Named After A.Baitursynyly, Kostnai, Kazakhstan

## **THE LEAST SQUARES METHOD AS A TOOL FOR SHORT-TERM FORECASTING OF EPIDEMIOLOGICAL DYNAMICS**

### *Abstract*

Humanity at all times closely interacts with various viruses, bacteria, fungi, some of them we owe our lives, some are dangerous for us, they are sources of infection. In the second decade of the 21st century, the world faced an invisible "enemy" coronavirus infection, which required rapid, decisive action from the world community not only in the fight against it, but also in the search for methods and ways to predict its spread. In order to calculate the maximum burden on the healthcare sector and adjust infection containment measures, mathematical modeling is necessary. Like any phenomenon in our life, the spread of infectious diseases can

be modeled using mathematical apparatus. Which, in turn, will make it possible to predict the rate of infection, to anticipate the future scenario of infection of the population. To this end, the article considered the least squares method (OLS) for predicting the epiddynamics of coronavirus infection in the territory of Kostanay region.

*Keywords:* least squares method, modeling, coronavirus infection.

### **Введение**

Начало применению математических методов при изучении эпидемий было положено Даниилом Бернулли в ещё середине XVII века Он впервые применил простейший математический аппарат для оценки эффективности профилактических прививок против натуральной оспы. После него в данной области был значительный перерыв, который прервал своими работами английского ученого Уильяма Фара в XIX веке, который изучал и моделировал статистические показатели смертности населения Англии от эпидемии натуральной оспы. Он впервые получил математические модели показателей «движения» эпидемии натуральной оспы в виде статистических закономерностей, что позволило ему в итоге составить прогностическую модель этой эпидемии.

Таким образом, человечество всегда боролось с инфекционными заболеваниями и хотело понять принципы и закономерности их развития, а также борьбы с ними. Коронавирусная инфекция, которая является причиной пандемии XXI века – серьезный вызов для всех сфер жизнедеятельности человечества, она уже унесла много жизней, а экономические последствия еще предстоит посчитать. И роль математического инструментария в этой «борьбе» всегда была весомой и со времен будет лишь возрастать. В эпидемиологии применяются многие математические вычисления, теория вероятности и математическая статистика, но самым главным математическим инструментом является математическое моделирование.

Моделирование в научных исследованиях стало применяться еще в глубокой древности и постепенно захватывало все новые области научных знаний [1]. Потому что благодаря ей можно предположить поведение того или иного инфекционного заболевания.

В настоящее время большинство моделей нацелены на краткосрочное прогнозирование, данная тенденция определяется тем, что в мире большое внимание уделяется проведению профилактических мер. Для того чтобы «сражаться» с эпидемией, вовремя использовать карантинные меры, вакцинацию, надо сравнить их эффективность, а это возможно лишь тогда, когда мы смоделируем эпидситуацию. Из этого и следует потребность построения математической модели.

### **Методология исследования**

В данной статье для прогнозирования волн коронавирусной инфекции на территории Костанайской области рассматривается метод наименьших квадратов (МНК). Данный метод был разработан давно и используется до сих пор о многих областях, в статье [2] обсуждаются вопросы истории возникновения технологии метода наименьших квадратов. В следующих работах [3-4], представлены методика обработки результатов измерений с использованием данного метода, основываясь на данных работах, которые описывают общий механизм применения данного метода в технических задачах, в данной работе применим этот метод и для медицины. С помощью метода наименьших квадратов можно обрабатывать любые экспериментальные данные, однако, надо отметить, что оптимальность данного метода доказывается только для нормального распределения. В нашей работе используются статистические данные по заражению COVID-ом – 19 на территории Костанайской области.

Исследование темы началось с поиска и сбора этих данных [5-7], составили таблица 1, в которой указано количество инфицированных и выздоровевших от COVID-19 за период с 1 по 7 сентября 2021 года, при этом обозначив, число инфицированных как  $I(t)$ , а выздоровевших –  $R(t)$ .

Таблица 1. Динамика COVID-19 в Костанайской области

Дата	t/ день	Инфицированные I(t)	Выздоровевшие R(t)
01.09.2021	1	237	283
02.09.2021	2	232	349
03.09.2021	3	231	104
04.09.2021	4	227	196
05.09.2021	5	215	73
06.09.2021	6	203	73
07.09.2021	7	187	162

Следующий шаг, используя данные таблицы 1, мы применяем метод наименьших квадратов, и преобразуем нашу таблицу 1 в таблицу 2.

Таблица 2. Метод наименьших квадратов для уравнения прямой инфицирования

$\sum t = 28$	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	$\sum_{t=1}^7$
$t^2$	1	4	9	16	25	36	49	140
I(t)	237	232	231	227	215	203	187	1532
I(t)t	237	464	693	908	1075	1218	1309	5904
(I(t)) <sup>2</sup>	56169	53824	53361	51529	46225	41209	34969	337286

Вычислим значения коэффициентов b и c, если n=7 дней.

$$b = \frac{n \sum_{t=1}^7 I(t)t - \sum_{t=1}^7 t \sum_{t=1}^7 I(t)}{n \sum_{t=1}^7 (t)^2 - (\sum_{t=1}^7 t)^2} = \frac{7 * 5904 - 28 * 1532}{7 * 140 - 28^2} = \frac{-1568}{196} = -8 \quad (1)$$

$$c = \frac{\sum_{t=1}^7 I(t) - b \sum_{t=1}^7 t}{n} = \frac{1532 - (-8) * 28}{7} = 250,857 \quad (2)$$

Затем подставим наши коэффициенты в уравнение прямой инфицирования, которое будет под знаком модуля, так как количество инфицированных не может быть отрицательным, таким образом рассчитаем темп развития эпидемии, будет ли и или убывать количества инфицированных. Искомое уравнение имеет вид:

$$y = |-8t + 250,857| \quad (3)$$

Для определения погрешности рассчитали коэффициент несоответствия Гейла по формуле:

$$K_T = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^7 (I(t) - \bar{I(t)})^2}{\sum_{t=1}^7 (I(t))^2}} = \sqrt{\frac{1996,857143}{337286}} = \sqrt{0,00592} \approx 0,07 \quad (4)$$

где  $\overline{I(t)}$  это среднее значение  $I(t)$ , которое в нашем случае равно 218,857.

Показатель Тейла принимает значение от 0 до 1, чем ближе значение к 0, тем лучше результат прогнозирования, в нашем случае он составляет примерно 0,07, значит, модель должна быть достаточно точной. Чтобы проверить это, построим соответствующие кривую инфицирования, основанную на статистических данных изменение числа инфицированных людей по дням [5], и согласно уравнению (3), на 7 дней, на 14 дней и на месяц, рисунки 1,2,3 соответственно.

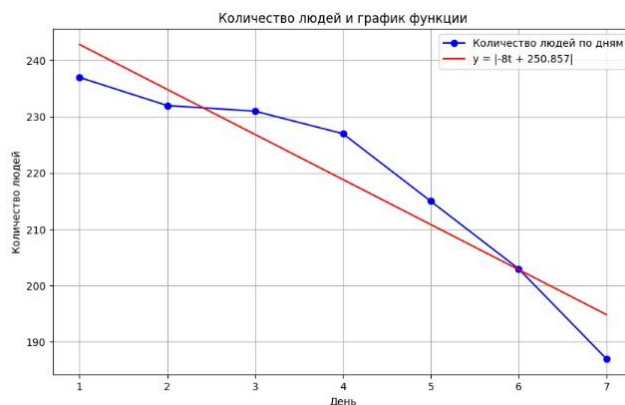


Рисунок 1. Кривые инфицирования в Костанайской области за 7 дней согласно официальным данным и согласно расчету выведенному уравнению

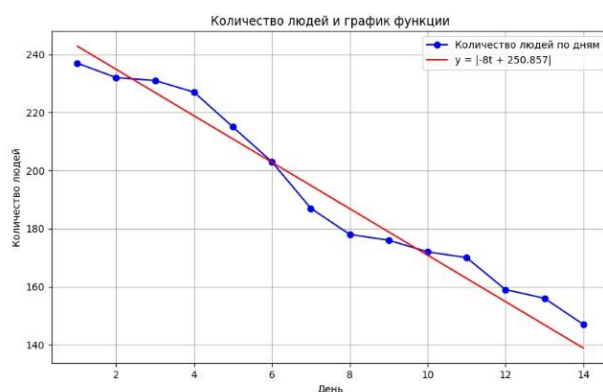


Рисунок 2. Кривые инфицирования в Костанайской области за 14 дней согласно официальным данным и согласно расчету выведенному уравнению

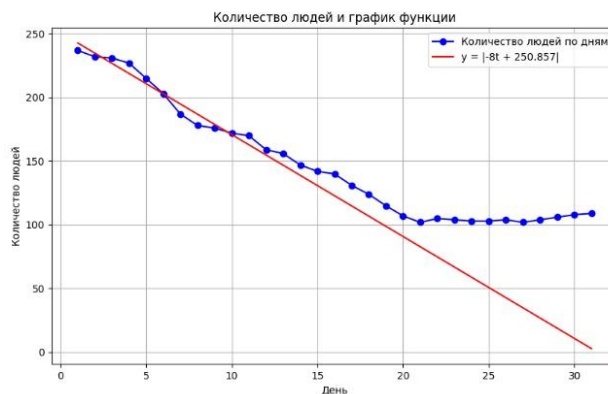


Рисунок 3. Кривые инфицирования в Костанайской области за 30 дней согласно официальным данным и согласно выведенному уравнению

Из рисунков можно заметить, что данным способом можно определить в каком направлении будет изменяться число инфицированных для территории Костанайской области. Итак, главную цель моделирования на основе МНК мы достигли – верно спрогнозировали снижение роста заболеваемости на предстоящую неделю, при этом имея данные всего семи предыдущих дней. Далее, когда был взят более продолжительный период времени – 1 месяц, видим, что примерно на 20 день число новых инфицированных остается примерно на уровне 100 человек на каждый день, и наша модель это не учитывает.

Далее по уже известному принципу составим уравнение прямой выздоровления, то есть  $R(t)$ , именно анализируем число выздоровевших людей, потому что за этот отрезок времени в Костанайской области не было зафиксировано летальных исходов от ковид. Пользуясь данными таблицы 1, составим таблицу 3.

Таблица 3. Метод наименьших квадратов для уравнения прямой выздоровления

$\sum t = 28$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$	$t = 5$	$t = 6$	$t = 7$	$\sum_{t=1}^7$
$t^2$	1	4	9	16	25	36	49	140
$R(t)$	283	349	104	196	73	73	162	1240
$R(t)t$	283	698	312	784	365	438	1134	4014
$(R(t))^2$	80089	121801	10816	38416	5329	5329	26244	288024

Вычислим значения коэффициентов  $b$  и  $c$ ,  $n=7$ .

$$b = \frac{n \sum_{t=1}^7 R(t)t - \sum_{t=1}^7 t \sum_{t=1}^7 R(t)}{n \sum_{t=1}^7 (t)^2 - (\sum_{t=1}^7 t)^2} = \frac{7 * 4014 - 28 * 1240}{7 * 140 - 28^2} = \frac{-6622}{196} = -33,786 \quad (5)$$

$$c = \frac{\sum_{t=1}^7 R(t) - b \sum_{t=1}^7 t}{n} = \frac{1240 - (-33,786) * 28}{7} = 312,287 \quad (6)$$

Далее составили уравнение, которое будет под знаком модуля, так как количество выздоровевших не может быть отрицательным. Получаем уравнение вида:

$$y = |-33,786t + 312,287| \quad (7)$$

Для определения размеров погрешности или точности прогноза показателя рассчитаем коэффициент несоответствия Тейла по формуле:

$$K_T = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^7 (R(t) - \overline{R(t)})^2}{\sum_{t=1}^7 (R(t))^2}} = \sqrt{\frac{68366,857143}{288024}} = \sqrt{0,237365} \approx 0,5 \quad (8)$$

где  $\overline{R(t)}$  - это среднее значение  $R(t)$ , которое в нашем случае равно 177,143. Показатель Тейла принимает значение от 0 до 1, чем ближе значение к 0, тем лучше результат

прогнозирования, в нашем случае он составляет примерно 0,5, можно судить, что модель недостаточно точна и будут большое отклонение от статистических данных. Построим кривые выздоровления, опираясь на статистические данные с сайта [5], и на уравнение (7), рис.4.



Рисунок 4. Кривые выздоровления за 14 дней в Костанайской области согласно официальным данным и согласно нашему уравнению

На рисунке 4 можем наглядно увидеть расхождение.

### Результаты исследования

Итак, так как показатель Тейла составляет примерно 0,07, и подчеркивая, что только в случае краткосрочного прогнозирования метода наименьших квадратов может быть использован. Очень тяжело построить модель для прогнозирования эпидемиологической ситуации в регионе, которая могла бы применяться в долгосрочном прогнозировании. Это связано со сложностью самого эпидемиологического процесса, который зависит от многих факторов. Однако, в данной статье, обладая небольшими статистическими данными, нам все же удалось спрогнозировать эпидситуацию на несколько дней вперед для Костанайской области. Следует подчеркнуть, что ведутся работы в совершенствовании МНК примером служат следующие работы [8,9]. Но, к сожалению, нет отечественных работ и литературы на данную тему.

Второй наш вывод заключается в том, что МНК нельзя применять для расчета темп выздоровления людей это вытекает и из графиков, где кривые совершенно не похожи, и даже противоположны, и из показателя Тейла, который равен 0,5. Это связано с тем, что выздоровление зависит от многих факторов, например, индивидуальные характеристики организма людей, их иммунитета, времени заражения, своевременного обращения к медицинской помощи и так далее.

### Дискуссия

Правильно сформированная математическая модель позволяет все разложить по составляющим эпидемиологического процесса и является предпосылкой для поиска и осуществления санитарных мер. Благодаря ей можно оценить количество контактов, установить уровень риска заражения, изучить возрастное и региональное распространение заболевания. Важная функция модели – это профилактике эпидемиологических заболеваний, потому что, опираясь на данные моделирования, можно распланировать противозидемические мероприятия, которые способствуют подбору оптимальных способов борьбы с заболеваниями. Поэтому в данном направлении ведутся работы, существует множество методов и моделей, применяемых в эпидемиологии.

Также следует отметить, что несмотря на все преимущества метода наименьших квадратов и его широкое использование в технических, инженерных и экономических науках, он имеет

ряд недостатков, в свою очередь мы продолжаем работать в данной сфере, изучая и рассматривая другие подходы и методы для прогнозирования эпидемиологической ситуации на примере нашей страны, выпущены следующие работы [10-15].

### Заключение

В данной статье приведена лишь часть исследования, и в данном направлении продолжается работа, конечно, данный метод имеет свои достоинства и недостатки, которые наглядно приведены в [3], однако мы не исключают применение МНК на практике и для моделирования столь сложного биологического процесса, как развитие эпидемиологии.

В мире появляются новые возбудители болезней, которые могут привести к эпидемии, есть также множество инфекционных заболеваний, которые человечеству еще предстоит победить, но и наука не стоит на месте, развивается, появляются новые методы выявления и борьбы с инфекционными заболеваниями, здесь велика роль математики и математического моделирования. Данная тема является очень обширной и актуальной, особенно в контексте нашего времени, когда человечество столкнулось с коронавирусной инфекцией [11].

### Список использованных источников

- [1] Алымова Г.Н. Моделирование как метод научного познания сложных технических систем с электронным блоком управления // <https://dspace.enu.kz/handle/data/1694?show=full>
- [2] Мазуров Б.Т., Падве В.А. Метод наименьших квадратов (статика, динамика, модели с уточняемой структурой) // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Том 22, № 2. Новосибирск. – с.22-3.
- [3] Легеяда Е.П. Особенности использования метода наименьших квадратов в статистических задачах // 59- научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. 2023. Минск. с.111-113.
- [4] Чурухин В.А. Применение метода наименьших квадратов для аппроксимации периодических процессов при построении прогнозов // Записки Горного института. – 2014. – Том 208. Санкт-Петербург. – с.197-202.
- [5] Статистика по коронавирусу в Казахстане: <https://findhow.org/4268-karta-koronavirusa-covid-19-v-kazahstane.html>
- [6] Информационный портал: <https://yandex.ru/covid19/stat#development>. Коронавирус: статистика
- [7] Сервис визуализации и анализа данных: <https://datalens.yandex> Коронавирус: дашборд
- [8] Mengqiu Kong, Dongsheng Li, Daofang Zhang. Research on the Application of Improved LeastSquare Method in Linear Fitting // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Volume 252, Issue 5. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/252/5/052158>
- [9] Hasan Halit Tali, Ceren Çelti. An Approach Towards the Least-Squares Method for Simple Linear Regression. – 2022. - Vol. 2 (No. 2), pp. 38-44. <http://dergipark.org.tr/en/doi/10.54569/aaair.1032607>
- [10] Жумартова Б.О., Ысмагул Р.С. Применение SIR модели в моделировании эпидемий // международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. - № 12-2 (63). Новосибирск. – с.6-8. DOI <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sir-modeli-v-modelirovanii-epidemiy>
- [11] Жумартова Б.О., Ысмагул Р.С. Применение SIRS и SEIR-HCD моделей в моделировании эпидемий // Вестник Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева. – 2022. – Выпуск 1 (53). Петропавловск. – с.18-23. DOI <https://vestnik.nku.edu.kz/jour/article/view/643>
- [12] Жумартова Б.О. Математическая модель безыммунной эпидемии // XVIII международная научная конференции студентов, магистрантов и молодых ученых «Ломоносов – 2023». – 2023. – 1 часть. Астана. – с.52-54.
- [13] Жумартова Б.О. Ысмагул Р.С. Математическое моделирование инфекционных заболеваний: прошлое, настоящее, будущее // Международная научно-практической конференции «Байтурсыновские чтения – 2023». – 2023. Костанай. – с.164-166.
- [14] Жумартова Б.О. Ысмагул Р.С. Применение систем дифференциальных уравнений в эпидемиологии // VII Всемирном Конгрессе математиков тюркского мира. 2023. Туркестан. с.219-225.

[15] Жумартова Б.О., Ысмагул Р.С., Утемисова А.А. Элементы корреляционного анализа для взаимосвязи жесткости карантинных мер и числа заражений коронавирусом и корью в странах Центральной Азии // IV Международный научно-исследовательский конкурс. -2023. Пенза. – с.7-10.

#### References

[1] Alymova G.N. (2012) Modelirovanie kak metod nauchnogo poznanija slozhnyh tehnikeskikh sistem s jelektronnym blokom upravlenija [Modeling as a method of scientific knowledge of complex technical systems with an electronic control unit] <https://dspace.enu.kz/handle/data/1694?show=full> (In Russian)

[2] Mazurov B.T., Padve V.A. (2017) Metod naimen'shikh kvadratov (statika, dinamika, modeli s utochnjaemoj strukturoj) [The method of least squares (statics, dynamics, models with a specified structure)]. Vestnik SGUGiT, Tom 22, № 2, Novosibirsk, 22-3. (In Russian)

[3] Legejda E.P. (2023) Osobennosti ispol'zovaniya metoda naimen'shikh kvadratov v statisticheskikh zadachah [Features of using the method of least squares in statistical problems]. 59- nauchnaja konferenciya aspirantov, magistrantov i studentov BGUIR, Minsk, 111-113. (In Russian)

[4] Chiruhin V.A. (2014) Primenenie metoda naimen'shikh kvadratov dlja approksimacii periodicheskikh processov pri postroenii prognozov [Application of the least squares method for approximation of periodic processes in the construction of forecasts]. Zapiski Gornogo instituta, Tom 208, Sankt-Peterburg, 197-202. (In Russian)

[5] Statistika po koronavirusu v Kazahstane [Statistics on coronavirus in Kazakhstan]: <https://findhow.org/4268-karta-koronovirusa-covid-19-v-kazahstane.html> (In Russian)

[6] Informacionnyj portal [Information Portal]: <https://yandex.ru/covid19/stat#development>. Koronavirus: statistika (In Russian)

[7] Servis vizualizacii i analiza dannyh [Data visualization and analysis service]: <https://datalens.yandex> Koronavirus: dashboard (In Russian)

[8] Mengqiu Kong, Dongsheng Li, Daofang Zhang. (2019) Research on the Application of Improved LeastSquare Method in Linear Fitting. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 252, Issue 5. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/252/5/052158>

[9] Hasan Halit Tali, Ceren Çelti. (2022) An Approach Towards the Least-Squares Method for Simple Linear Regression, Vol. 2 (No. 2), 38-44. <http://dergipark.org.tr/en/doi/10.54569/aair.1032607>

[10] Zhumartova B.O., Ysmagul R.S. (2021) Primenenie SIR modeli v modelirovanii jepidemij [Application of the SIR model in epidemic modeling]. Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk. № 12-2 (63), Novosibirsk, 6-8. DOI <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sir-modeli-v-modelirovanii-epidemiy> (In Russian)

[11] Zhumartova B.O., Ysmagul R.S. (2022) Primenenie SIRS i SEIR-HCD modelej v modelirovanii jepidemij [Application of SIRS and SEIR-HCD models in epidemic modeling]. Vestnik Severo-Kazahstanskogo universiteta im. M. Kozybaeva, Vypusk 1 (53), Petropavlovsk, 18-23. DOI <https://vestnik.nku.edu.kz/jour/article/view/643> (In Russian)

[12] Zhumartova B.O. (2023) Matematicheskaja model' bezymunnoj jepidemii [Mathematical model of an immune epidemic]. XVIII mezhdunarodnaja nauchnoj konferencii studentov, magistrantov i molodyh uchenyh «Lomonosov – 2023», 1 chast', Astana., 52-54. (In Russian)

[13] Zhumartova B.O., Ysmagul R.S. (2023) Matematicheskoe modelirovanie infekcionnyh zabolevanij: proshloe, nastojashhee, budushhee [Mathematical modeling of infectious diseases: past, present, future]. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskoy konferencii «Bajtursynovskie chteniya – 2023», Kostanaj, .164-166. (In Russian)

[14] Zhumartova B.O., Ysmagul R.S. (2023) Primenenie sistem differencial'nyh uravnenij v jepidemiologii [Application of systems of differential equations in epidemiology]. VII Vsemirnomyj Kongress matematikov tjurkskogo mira, Turkestan, 219-225. (In Russian)

[15] Zhumartova B.O., Ysmagul R.S., Utemisova A.A. (2023) Jelementy korrelyacionnogo analiza dlja vzaimosvjazi zhestkosti karantinnyh mer i chisla zarazhenij koronavirusom i kor'ju v stranah Central'noj Azii [Elements of correlation analysis for the relationship between the severity of quarantine measures and the number of coronavirus and measles infections in Central Asian countries]. IV Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij konkurs, Penza, 7-10. (In Russian)