



# Прогноз развития нового коронавируса с использованием модели SEIR

Гун Шэншо<sup>1,2,a)</sup> &  
Татаринов Виктор Викторович<sup>1,b)</sup>

<sup>1</sup>*Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)*

<sup>2</sup>*Harbin Institute of Technology (HIT)*

a) [13420gss@gmail.com](mailto:13420gss@gmail.com)

b) [tatavictor@bmstu.ru](mailto:tatavictor@bmstu.ru)

Москва, 2020

В работе используется модель SEIR для прогнозирования развития эпидемии нового коронавируса и времени максимального количества заболевших. Прогнозируется и сравнивается развитие эпидемии в тех случаях, когда принимаются определенные меры и не принимаются меры, а затем сравниваются с фактическими данными города Уханя и изучаются дальнейшие подходы к реагированию на подобные эпидемии.

**Ключевые слова.** модель SEIR, инкубационный период, ношения масок.

Эпидемия очень заразного коронавируса в Китае с января по март 2020 года вызвала большую панику в мире.

23 января 2020 года правительство города Уханя объявило о закрытии города.





За десять дней была построена  
больница, вместимостью на тысячу мест.  
Некоторые стадионы были  
превращены в больницы.



Врач учит больных традиционной китайской зарядке в больнице, построенной из стадиона.

В магазине. Специальное ведро для отработанных масок на улице.

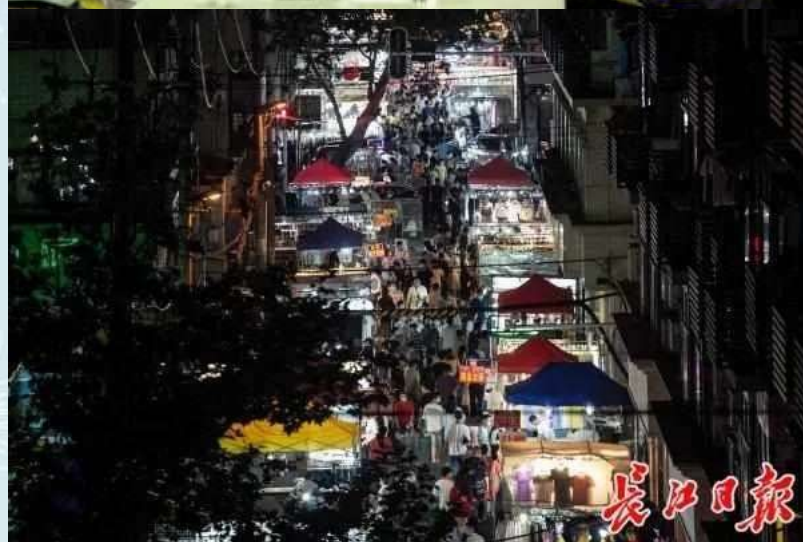






8 апреля 2020 года правительство города Уханя объявило об открытии города.

В мае тестирование всех жителей Уханя распорядились провести городские власти за 10 дней.



Если мы сможем определить характер распространения вирусной инфекции, мы сможем предсказать, как будет развиваться эпидемия и когда наступит период максимума распространения эпидемии, чтобы заранее подготовиться к профилактике и борьбе.

В этой работе мы используем модель SEIR для прогнозирования развития эпидемии нового коронавируса и максимального количества зараженных.





По данным демографической статистики на 2019 год <sup>[1]</sup> в городе Уханя проживало более 10 миллионов человек. Для удобства мы округлили до 10 миллионов человек, это -  $N$

$$N = S + E + I + R,$$



$S$  - здоровые люди, которые могут быть инфицированы, (начальное значение  $S=N-1$ );

$E$  - здоровые люди, которые проходят инкубационный период после заражения, (начальное значение равно 0);

$I$  - люди, у которых есть симптомы заражения (начальное значение равно 1);

$R$  - люди, которые выздоравливают, вырабатывают антитела и больше не будут болеть (начальное значение равно 0).

## Чтобы упростить ситуацию, мы делаем следующие предположения:

- Инфицированные люди ходят каждый день, и каждый человек сталкивается с  $r$  индивидуумами;
- Люди, инфицированные с вероятностью  $\beta_1$  передают вирус здоровым людям. Так появляются новые латентные больные каждый день;
- Доля людей, выздоравливающих каждый день общего числа пациентов, составляет  $\gamma = 0,1$ ;
- Латентный больной превращается в инфицированного с вероятностью  $a$ , которая математически эквивалентна обратному времени инкубационного периода (средняя продолжительность инкубационного периода составляет 10 дней, т. е.  $a = 0,1$ ) ;



## **Предположения:**

- Поскольку новый коронавирус также заразит во время инкубационного периода, мы предполагаем, что латентные больные с вероятностью  $\beta_2$  заражат здоровых людей;
- Ношение маски может уменьшить вероятность заражения здоровых людей в 10 раз;
- Регулярная дезинфекция домашних хозяйств позволяет снизить вероятность заражения в 100 раз;
- Обстоятельства смерти медицинского персонала не учитываются.



## Численные дифференциальные уравнения [2] :

Число здоровых людей уменьшается за счет заражения от явных больных и от латентных больных;

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{r\beta_1 IS}{N} - \frac{r\beta_2 ES}{N} \quad (1)$$

Число явных больных : число проявившихся из латентных больных минус число вылеченных в день;

$$\frac{dI}{dt} = aE - \gamma I \quad (2)$$



Число латентных больных равно  
числу новых зараженных минус  
числу латентных больных,  
превращающихся в явных

больных ;

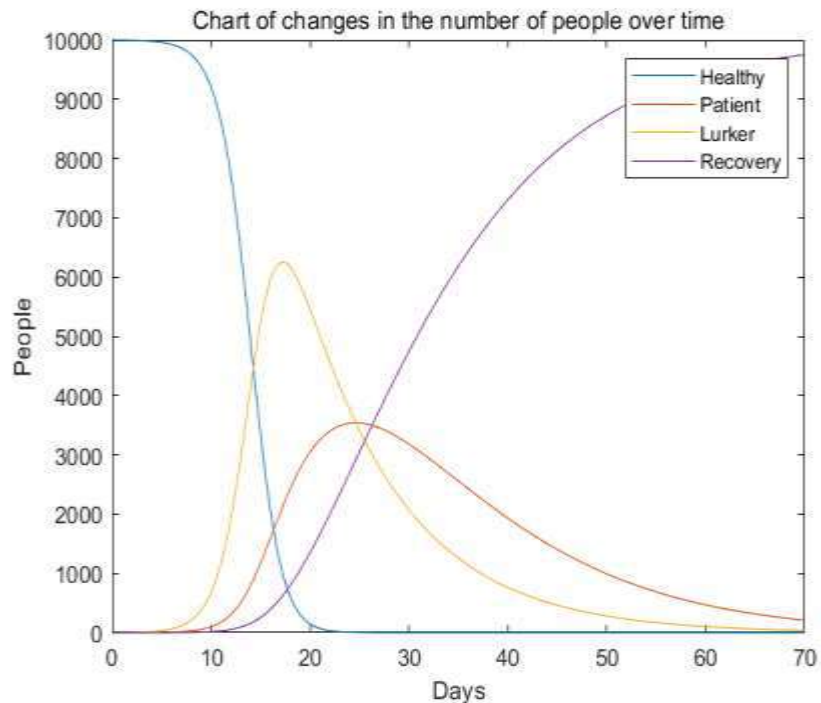
$$\frac{dE}{dt} = \frac{r\beta_1 IS}{N} + \frac{r\beta_2 ES}{N} - aE \quad (3)$$

Число вылеченных в день  
пропорционально числу явных

больных;

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad (4)$$



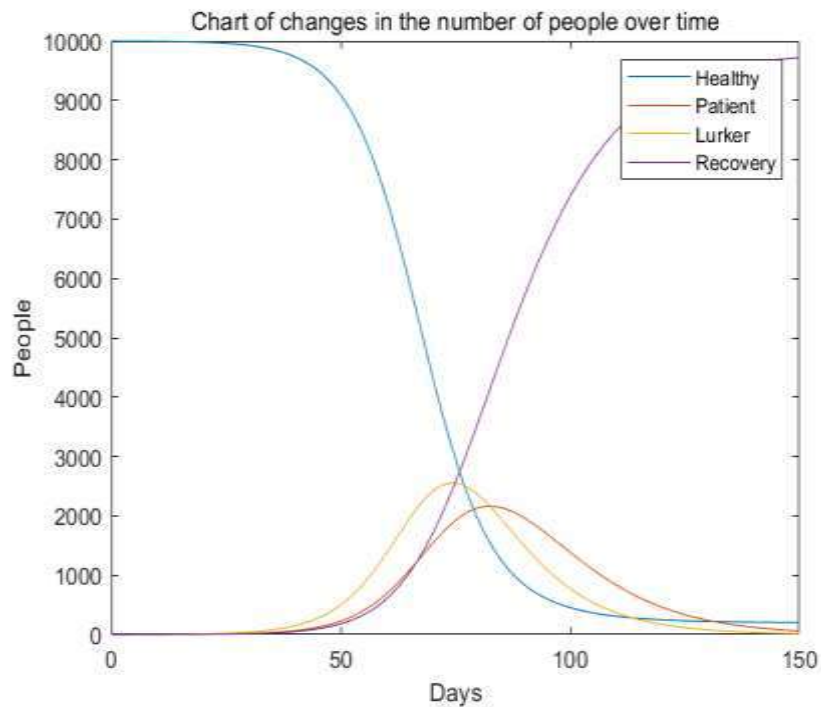


**Рисунок 1** – Свободное передвижение:

$$r=50; \beta_1 = 0,03; \beta_2 = 0,01$$

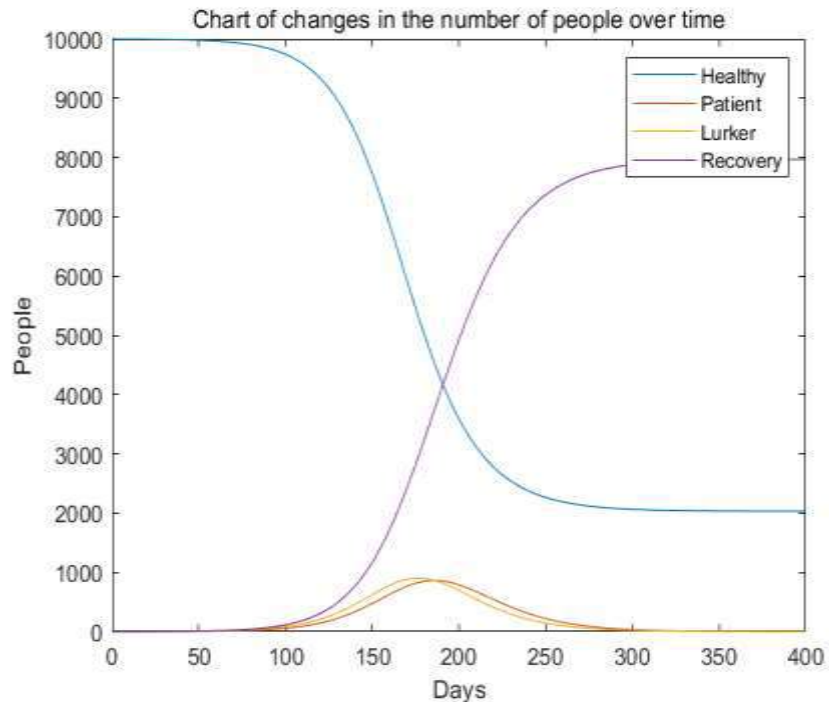
На рисунке 1 изображена ситуация, что людям можно свободно двигаться  $r = 50$ , вероятность передачи с явных больных к здоровым  $\beta_1 = 0,03$ , а вероятность с латентных больных к здоровым  $\beta_2 = 0,01$ .

Самые высокие показатели соответствовали двум случаям: 17-й день после начала эпидемии и 123-й день; в то время как максимальное число больных составило 6213 и 2541.



**Рисунок 2** – Карантинные мероприятия:  
нет свободы передвижения  $r=10$

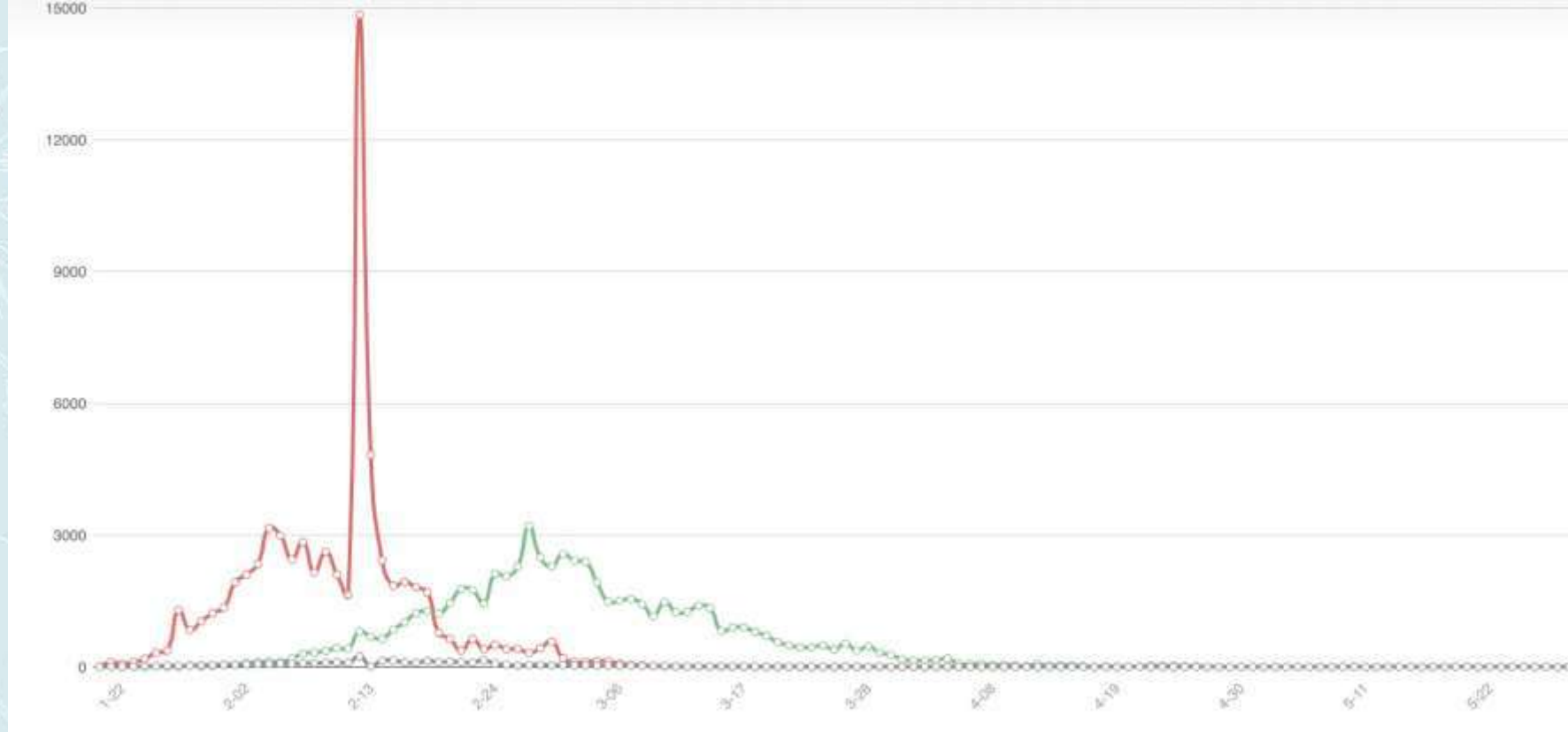
Таким образом, чем меньше людей контактируют с внешним миром, тем позже наступает вспышка, тем медленнее растет число больных и, наконец, минимальное количество пациентов.



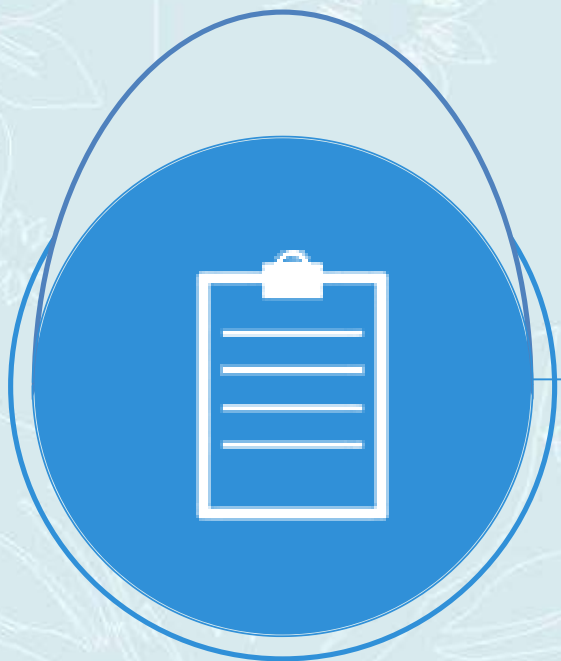
**Рисунок 3** – Свободное передвижение в масках и перчатках ( $\beta_1 = 0,003$ ;  $\beta_2 = 0,001$ )

На рисунке 3 изображена ситуация, когда все люди носят маски и могут выходить на улицу по своему усмотрению. В этом случае число людей, с которыми каждый человек может столкнуться при выходе  $r = 50$ , вероятность передачи от явных больных к здоровым  $\beta_1 = 0,003$ , а вероятность от латентных больных к здоровым  $\beta_2 = 0,001$ . Если бы люди сознательно надевали маски, эпидемия была бы отложена почти на полгода, а пик заболеваемости бы снизился.





**Рисунок 4** – Данные о городе Ухане с начала эпидемии до июня (красный для пациентов с диагнозом, зеленый для людей, вылеченных, серый для смертей) [3]

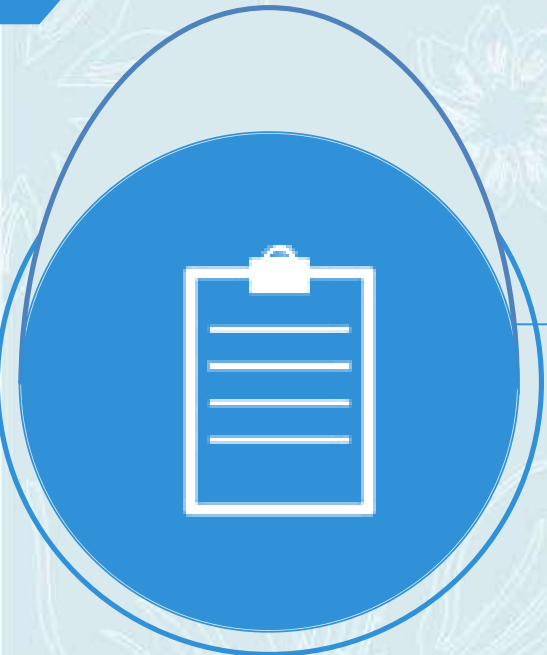


01

Из рисунка 4 видно, что общая динамика числа людей, инфицированных вирусом, соответствует нашему прогнозу.

Сравнение прогнозов с фактическими данными показывает, что в первые четыре дня прогноз соответствовал фактическим результатам, а после этого фактическое число пациентов росло намного быстрее, чем мы прогнозировали.

И после того, как правительство города Уханя объявило о карантине всего города, скорость роста новых больных начала уменьшаться.



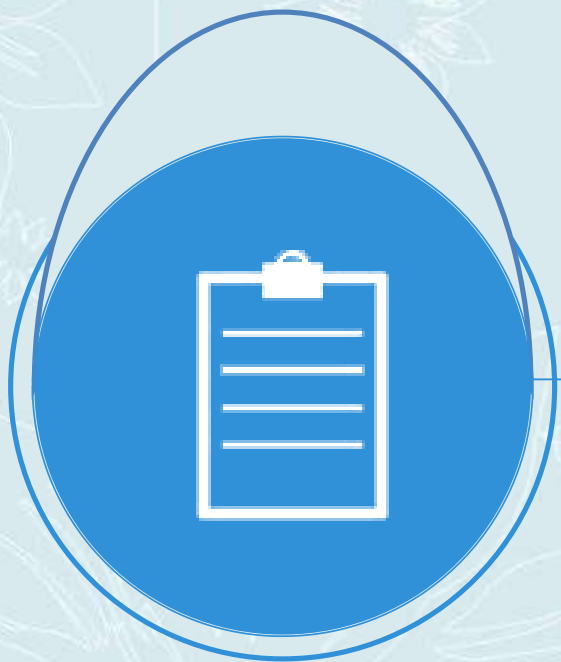
02

Кроме того, анализ данных показал, что изоляция и ношение масок играют важную роль в предотвращении распространения нового коронавируса.

Опыт показал, что обычная ватная маска почти не помогает.

| Классификация масок | Истечение L/min | Проницаемость вируса, % | Сопротивление mmH <sub>2</sub> O/Па |
|---------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------------|
| N95                 | 85              | <5                      | <1.961 (20)                         |
| N99                 | 85              | <1                      | <2.746 (28)                         |
| FFP1                | 95              | ≤15                     | <1.569 (16)                         |
| FFP2                | 95              | ≤5                      | ≤1.961 (20)                         |
| FFP3                | 95              | ≤1                      | ≤2.746 (28)                         |



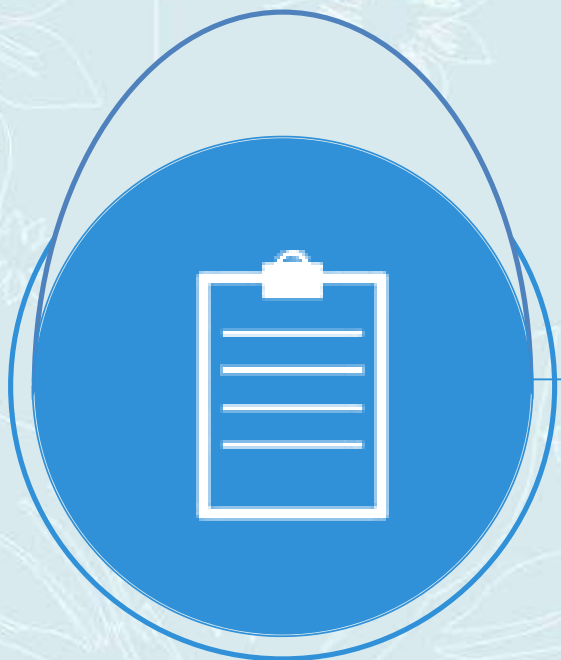


03

В Китае принимались очень строгие меры по контролю потока населения с целью его пребывания дома на карантине. Это значительно уменьшает наш  $r$  (*basic reproduction number*).

После широкой и эффективной пропаганды, каждый, кто правильно носил маску при выходе из дома, и старался сохранить дистанцию значительно снизило вероятность передачи вируса.

Эти меры сыграли важную роль в борьбе с эпидемией в Китае.



04

Для следующих исследований можно устанавливать различные параметры для разных городов и регионов в зависимости от плотности населения, мобильности населения и других факторов.

Чтобы уточнить прогноз, можно изменить некоторые предположения и добавить новые параметры.

Например, жителям даже не нужно выходить на улицу, так как есть добровольцы, которые доставляют предметы первой необходимости в каждый дом. Это уменьшает  $r$  еще больше .

В заключение, мы можем сделать вывод о том, что инфекционные заболевания имели бы больший максимум на ранней стадии, и число заболевших значительно росло без внешних воздействий.

Если болезнь можно вылечить, то при врачебном вмешательстве число заболевших постепенно уменьшится, и в конечном итоге болезнь будет побеждена.



По опыту Китая для борьбы с этой эпидемией необходимо:

- проводить карантин больных и лиц, возможно больных;
- призывать людей выходить на улицу в масках и перчатках;
- регулярно дезинфицировать окружающую среду и надлежащим образом продлевать срок карантина.

В этом случае число инфицированных значительно сократится, период эпидемии будет отложен и социально-экономические потери уменьшатся.





# Литература

1. Jansen, H., & Twizell, E. H. (2002). An unconditionally convergent discretization of the SEIR model. *Mathematics and Computers in Simulation*, 58(2), 147-158.
2. Li, M. Y., & Muldowney, J. S. (1995). Global stability for the SEIR model in epidemiology. *Mathematical biosciences*, 125(2), 155-164.
3. Li, M. Y., Graef, J. R., Wang, L., & Karsai, J. (1999). Global dynamics of a SEIR model with varying total population size. *Mathematical biosciences*, 160(2), 191-213.

