

Прогнозирование распространения вируса
COVID-19 в России
на основе простых математических моделей
эпидемий
Prediction of the virus COVID-19 spread in
Russia based on simple mathematical models
of epidemics

Д.А. Томчин, А.Л. Фрадков
ИПМаш РАН, Санкт-Петербург
Dmitry Tomchin, Alexander Fradkov
IPME RAS, Saint Petersburg

04.05.2020

Делается попытка применить для прогнозирования распространения COVID-19 в России простейшие модели эпидемий: SIR и SEIR. Простота и небольшое число параметров являются преимуществами моделей SIR и SEIR, весьма существенными в условиях недостатка численных исходных данных и структурной неполноты моделей. Строится прогноз распространения COVID-19 в России по опубликованным данным по заболеваемости с 10 марта по 20 апреля 2020 года. Приводятся результаты сравнения прогноза по моделям SIR и SEIR. В обоих случаях пик числа зараженных при сохранении текущего уровня карантинных мер прогнозируется не ранее конца мая 2020 года.

Abstract. An attempt is made to use the simplest epidemic models: SIR and SEIR to predict the spread of COVID-19 in Russia. Simplicity and a small number of parameters are very significant advantages of SIR and

SEIR models. in conditions of a lack of numerical initial data and structural incompleteness of models. The forecast of distribution of COVID-19 in Russia is carried out according to public data sets from March 10 to April 20, 2020. Comparison of forecast results by SIR and SEIR models are given. In both cases, the peak number of infected persons while maintaining the current level of quarantine measures is forecasted at the end of May 2020.

1 Введение

В 2020 году человечество столкнулось с серьезнейшими вызовами из-за пандемии нового коронавируса COVID-19. Системы здравоохранения целого ряда развитых стран не справляются с большим количеством тяжелобольных. Пандемия приносит многочисленные жертвы. Интерес специалистов в различных областях, как и широкой публики, вызывает вопрос: как долго и насколько тяжело будет поражено человечество коронавирусной инфекцией. В сложной, труднопрогнозируемой ситуации может оказаться важной роль исследований с использованием математических моделей эпидемий. Основные модели в этой области известны уже более столетия и привлекают до сих пор внимание специалистов.

В настоящей работе делается попытка применить для прогнозирования распространения COVID-19 в России простейшие модели эпидемий: SIR и SEIR. Несмотря на их простоту, они часто применяются в эпидемиологии, в том числе для анализа текущей эпидемии коронавируса COVID-19 [1, 2, 3]. Например, 22 апреля 2020 г. из 598 публикаций в ArXiv.org, в заголовке или аннотации которых есть слова COVID-19 или SARS-CoV-2 в 32 статьях имеется термин SIR, а в 12 - термин SEIR.¹ В некоторых работах говорится о преимуществах более простой модели SIR перед более сложной моделью SEIR [5]. Простота и небольшое число параметров являются преимуществами моделей SIR и SEIR, весьма существенными в условиях недостатка численных исходных данных и структурной неполноты моделей. Модели SIR и SEIR применялись для прогнозирования распространения COVID-19 в Китае, Франции, Италии, Германии, Португалии и ряде других стран [1, 2, 3, 4] Некоторые результаты по прогнозированию распространения COVID-19 в России в целом имеются в [2].

¹Заметим, что публикация шестисот статей по проблеме всего лишь за два месяца говорит о нешуточном интересе исследователей к данной теме.

В настоящей работе проводится прогноз распространения COVID-19 в России по более представительному набору данных и приводятся результаты сравнения результатов прогноза по моделям SIR и SEIR на основе официальных статистических данных о заболеваемости. Для задания параметров моделей, которые затруднительно определить из официальных данных используется сценарный подход: анализируется динамика эпидемии при нескольких возможных значениях параметров. При выборе некоторых параметров модели SEIR используются результаты [2].

2 Прогнозирование на основе модели SIR

В классической SIR-модели Кермака–Маккендрика [6] рассматривается три группы индивидов — восприимчивые к заболеванию (Susceptible), инфицированные (Infected) и переболевшие/умершие (Recovered/Removed). Передача инфекции осуществляется от инфицированных индивидов к восприимчивым. Считается, что переболевшие индивиды приобретают иммунитет и не могут быть заражены вторично. Модель описывается дифференциальными уравнениями

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta}{N}S(t)I(t), \quad \frac{dI}{dt} = \frac{\beta}{N}S(t)I(t) - \gamma I(t), \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I(t), \quad (1)$$

где $S(t)$, $I(t)$, $R(t)$ — число восприимчивых (Susceptible), инфицированных (Infected) и переболевших (Recovered), соответственно. Положительные величины β , γ интерпретируются как параметры, значения которых определяется скоростью инфицирования и скоростью выздоровления, соответственно. Подробнее о свойствах SIR модели см. [7, 8].

Для применения модели к конкретной ситуации необходимо провести ее калибровку - определение значений параметров и начальных условий из экспериментальных данных. Будем использовать официальные данные Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), представленные в удобной форме на сайте Worldometers [9]. Поскольку данные ВОЗ обновляются один раз в день, удобно перейти от дифференциальной модели (1) к дискретной:

$$\begin{aligned} S(t+1) - S(t) &= -\frac{\beta}{N}S(t)I(t), \\ I(t+1) - I(t) &= \frac{\beta}{N}S(t)I(t) - \gamma I(t), \\ R(t+1) - R(t) &= \gamma I(t), \quad t = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

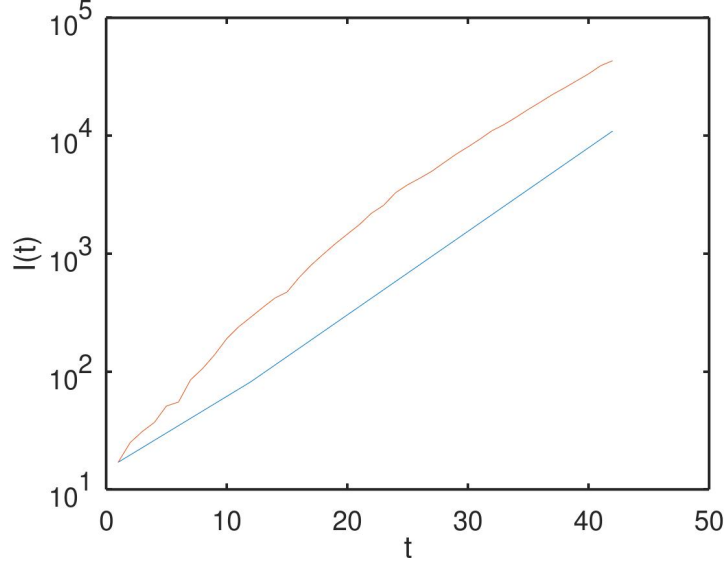


Рис. 1: Калибровка SIR модели по данным с 10.03.2020 по 20.04.2020. Красная линия - реальные данные, синяя линия - график переменной $I(t)$ по модели.

Используем для калибровки данные [9] за период с 10 марта 2020 г. до 20 апреля 2020 г. Начальные условия равны значениям переменных 10 марта 2020 г.

Для оценки параметров используем метод наименьших квадратов (МНК). Удобно применить его в два этапа: сначала оценить γ по формуле

$$\hat{\gamma} = \frac{\sum_{t=1}^T (R(t+1) - R(t))I(t)}{\sum_{t=1}^T I(t)^2},$$

а затем оценить β по формуле

$$\hat{\beta} = N \frac{\sum_{t=1}^T (I(t+1) - I(t) + \hat{\gamma}I(t))S(t)I(t)}{\sum_{t=1}^T (S(t)I(t))^2}.$$

Через N обозначим начальное число восприимчивых, совпадающее с численностью населения Российской Федерации: $N = 146,745$ млн. Расчет дает следующие значения параметров: $\hat{\beta} = 0.175$, $\hat{\gamma} = 0.0164$.

Результаты калибровки модели приведены на Рис.1. На первый взгляд ошибка кажется большой, но надо учитывать, что модель должна в

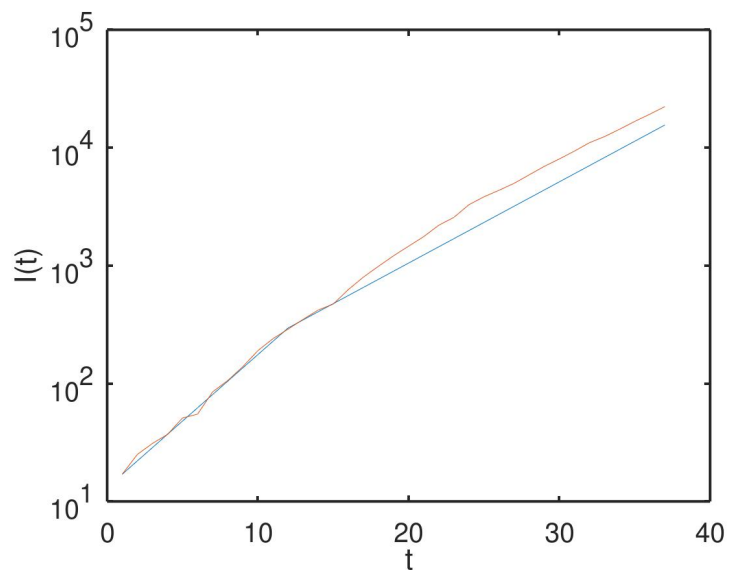


Рис. 2: Калибровка SIR модели отдельно по данным с 10.03.2020 по 27.03.2020 и с 28.03.2020 по 16.04.2020. Красная линия - реальные данные, синяя линия - график переменной $I(t)$ по скорректированной модели.

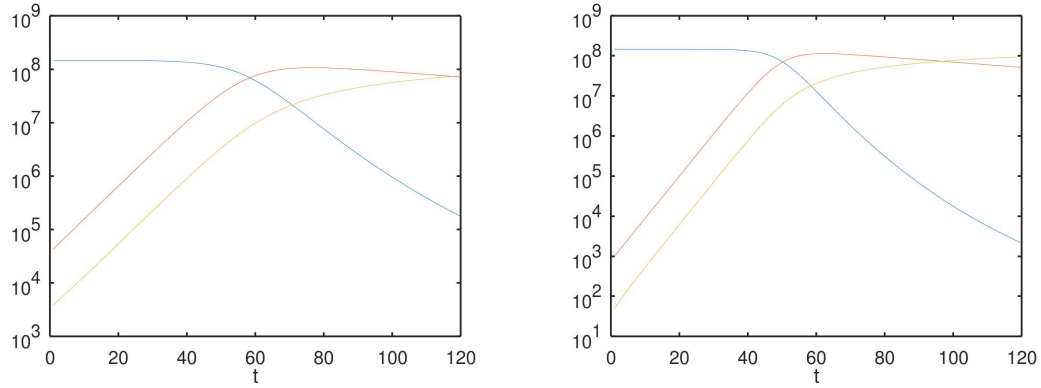


Рис. 3: Прогноз по SIR модели-1 на 120 дней: а) (слева): с 20 апреля по 18 августа 2020 г. по данным 10 марта - 20 апреля; б) (справа): с 27 марта по 25 июля 2020 г. по данным с 11 по 20 марта. Синяя линия - число восприимчивых $S(t)$; красная линия - число инфицированных $I(t)$, желтая линия - число выведенных $R(t)$ (сумма числа выздоровевших и числа умерших).

первую очередь учитывать не общее число инфицированных, а скорость его роста. Тем не менее, можно попытаться уточнить оценки. Из графиков видно, что точность аппроксимации снижается после 27 марта, поскольку снижается реальная скорость роста заболеваемости. Очевидно, это связано с введением в 20-х числах марта в РФ частичной самоизоляции. Для более точного прогнозирования с учетом самоизоляции временной отрезок наблюдений был разбит на две части: до 28 марта и с 28 марта по 20 апреля и параметры модели на каждом множестве оценивались отдельно. Если оценивать параметры модели отдельно по данным с 11 по 20 марта, получим $\hat{\beta} = 0.26$, тогда как по данным с 21 марта по 15 апреля получим $\hat{\beta} = 0.175$, т.е. ту же величину, что и в первом случае.. Оценки параметра γ также в обоих случаях совпадают: $\hat{\gamma} = 0.0164$. Результаты калибровки модели по усеченному набору данных представлены на рис.2.

Результаты прогноза развития эпидемии на 120 дней вперед представлены на Рис.3. На Рис.3,а прогноз строится по данным 10 марта - 20 апреля на период после 20 апреля. Из графика видно, что пик заболеваемости (выход на плато) прогнозируется примерно на 70-й день, т.е. 30 июня 2020 года. Для сравнения на Рис.3,б для прогноза на период после

28 марта используются значения параметров модели, рассчитанные по данным 10-28 марта, т.е. до введения режима самоизоляции. Из графика видно, что если бы режим самоизоляции не вводился, то пик наступил бы раньше: на 60-й день, т.е. 26 мая. Полученные результаты можно использовать для оценки интенсивности карантинных мер, требуемых для заданного замедления развития вспышек эпидемий и пандемий.

Таким образом, даже простейшая SIR модель показывает эффективность введения режима самоизоляции с точки зрения растяжения во времени фазы роста заболеваемости и позволяет дать, пусть и грубые, но полезные оценки времени роста заболеваемости. Что касается числа инфицированных, его прогноз на первый взгляд выглядит неутешительно: для того, чтобы начать снижаться, это число должно приблизиться к общей численности населения страны. Однако надо учитывать, что в популяции имеется большое число бессимптомных инфицированных, которые легко переносят болезнь, зачастую даже не догадываясь о ней. Возможность количественного учета бессимптомных больных будет показана в следующем разделе с использованием модели SEIR.

3 Прогнозирование на основе модели SEIR

Модель SEIR (Susceptible — Exposed — Infected — Recovered) учитывает инкубационный период заболевания [8]. Эта модель применялась для прогнозирования распространения COVID-19 в Китае [1] и в европейских странах [2]. Мы будем использовать модифицированную SEIR модель с дискретным временем [2], описываемую уравнениями

$$\begin{aligned} S(t+1) - S(t) &= -\frac{\beta}{N}(p_C I(t) + r_t E(t))S(t), \\ E(t+1) - E(t) &= -\sigma E(t) + \frac{\beta}{N}(p_C I(t) + r_t E(t))S(t), \\ I(t+1) - I(t) &= \sigma E(t) - \gamma I(t), \\ R(t+1) - R(t) &= \gamma I(t), \quad t = 1, 2, \dots \end{aligned} \tag{3}$$

Здесь $S(t)$, $I(t)$, $R(t)$ имеют тот же смысл, что и в SIR модели (2), а $E(t)$ - численность инфицированных индивидов, находящихся в стадии инкубационного (латентного) периода. Общая численность населения $N = S(t) + E(t) + I(t) + R(t)$, как и ранее, считается постоянной.

Модель SEIR (3) имеет два параметра, значения которых можно оценить на основе реальных данных о заболеваемости: γ , β . Параметр $\gamma > 0$ представляет интенсивность смертности и выздоровления, параметр

$\beta > 0$ соответствует скорости заражения вирусом восприимчивых людей во время контакта с инфицированными или латентными. Параметр $\sigma > 0$ определяет скорость инкубации, с которой появляются симптомы у индивидов, находящихся в латентном периоде. Величину σ можно выбрать обратно пропорциональной средней длительности инкубационного периода COVID-19: $\sigma = 1/7$.

Число $p_C > 0$ соответствует числу контактов на человека в день для инфицированных $I(t)$ (предполагается, что если инфицированные люди с симптомами находятся в карантине (самоизоляции), то количество контактов уменьшается); $r_t > p_C$ - число контактов на человека в день для находящихся в латентном периоде $E(t)$. Параметры r_t, p_C можно изменять путем применения мер, регулирующих социальную дистанцию (карантин, самоизоляция). Они зависят также от плотности населения и социальных традиций.

Важной особенностью пандемии COVID-19, как и ряда предыдущих эпидемий является существенное отличие реального числа инфицированных от документированного. Это связано с наличием значительного числа бессимптомных инфицированных, с невозможностью осуществить полное тестирование, а также с неточностью и недостаточной чувствительностью тестов. Статистические данные по Европе и США говорят о том, что доля недокументированных случаев может меняться от 40% до 90% [10]. Обозначим через α отношение общего числа инфицированных к числу документированных инфицированных. Учитывая значительную неопределенность α и трудность определения α , проведем расчеты для $\alpha = 5$ ² и для $\alpha = 10$.

Рассмотрим сначала случай $\alpha = 5$. В результате оценки параметров модели SEIR по МНК по данным с 10 марта по 20 апреля получим: $\beta = 0.027, \gamma = 0.017$. Следуя [2] и исходя их близости социальных традиций во Франции и в России, примем следующие значения остальных параметров в качестве базовых: $\sigma = 1/7, ; p_C = 2, r = 10$. Эти значения соответствуют текущему карантинному режиму (модель-1). Начальные условия $S(t), I(t), E(t), R(t)$ при $t = 0$ также задаются аналогично [2], с использованием соотношений $E(t) = (I(t + 1) - (1 - \gamma)I(t))/\sigma, S(0) = N, I(t) = \alpha(\bar{I}(t) - D(t) - H(t)), R(t) = D(t) + \alpha H(t)$. Данные о числе инфицированных $\bar{I}(t)$, числе выздоровевших $H(t)$ и числе умерших $D(t)$

²Близкие значения принимались и в исследованиях развития пандемии COVID-19 во Франции [2]

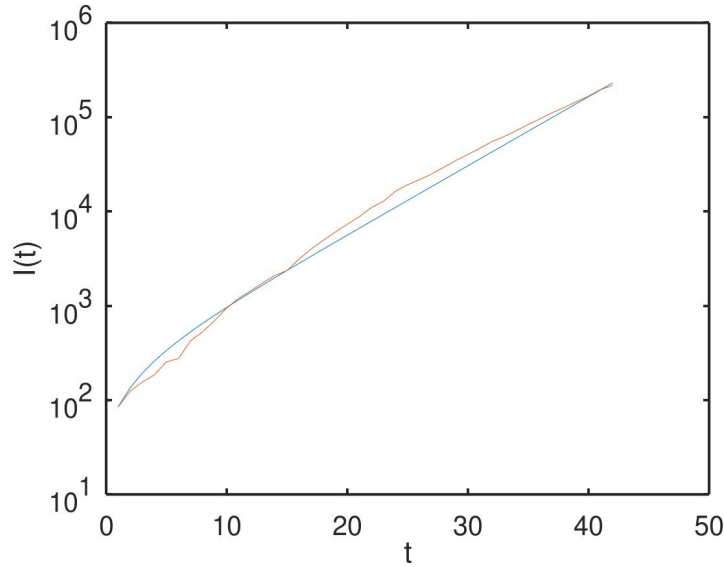


Рис. 4: Калибровка SEIR модели при $\alpha = 5$ по данным с 10.03.2020 по 20.04.2020. Синяя линия соответствует числу инфицированных по модели, а красная - реальным данным $\bar{I}(t)$.

берутся из официальных источников [9]. Результаты калибровки представлены на Рис.4. Они показывают хорошую точность аппроксимации реальных данных моделью. Результаты прогноза на 120 дней по модели представлены на Рис.5. На Рис. 5,а) (слева) представлены результаты прогноза на период с 20 апреля по 18 августа 2020 г. по данным с 10.03.2020 по 20.04.2020. На графиках синие кривые соответствуют процессу $S(t)$, желтые кривые - процессу $E(t)$, красные кривые - процессу $I(t)$, а фиолетовые - процессу $R(t)$. Видно, что пик эпидемии прогнозируется на 40-й день - 30 мая 2020 г.

Для сравнения на Рис.5,б) показаны результаты прогноза по модели, построенной по данным с 10 марта по 15 апреля. Такую модель можно было построить, естественно, с использованием меньшего количества данных. Казалось бы, она должна иметь меньшую предсказательную силу. Однако из рисунка видно, что даже такая "устаревшая" модель прогнозирует пик заболеваемости не менее точно, на 45-й день или также на 30 мая.

На Рис. 6 представлен аналогичный прогноз для усиленного каран-

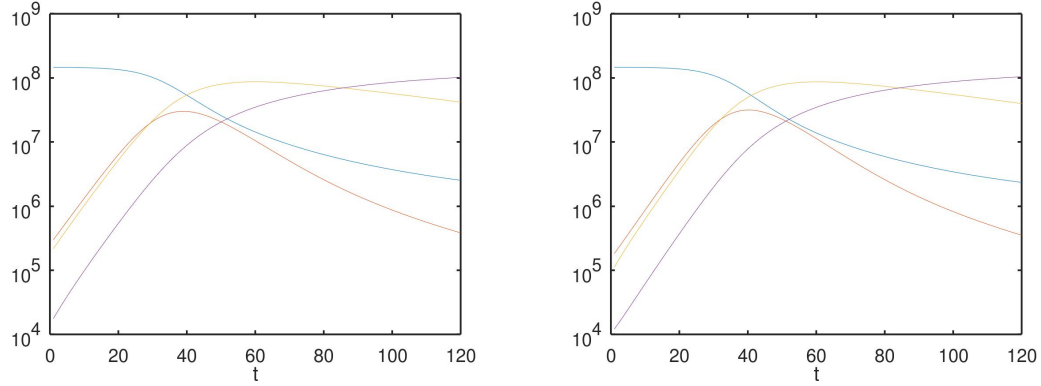


Рис. 5: Прогноз по SEIR модели-1 на 120 дней при $\alpha = 5$: а) (слева) прогноз с 20 апреля по 18 августа 2020 г. по данным 10.03.2020 - 20.04.2020. б) (справа) - прогноз с 15 апреля по 13 августа 2020 г. по данным 10.03.2020 - 15.04.2020. Синяя линия - число восприимчивых $S(t)$; желтая линия - число инфицированных в инкубационном периоде $E(t)$, красная линия - число инфицированных $I(t)$, фиолетовая линия - число выведенных $R(t)$.

тинного режима (модель-2, $p_C = 1.5, r = 7.5$). На Рис. 7 представлен прогноз для еще более строгого карантинного режима (модель-3, $p_C = 1, r = 5$). Таким образом, как видно из графиков Рис.5-7, при стандартном карантинном режиме пик заболеваемости наступает на 40-й день - 30 мая 2020 г., при строгом режиме - на 60-й день - 10 июня, а при очень строгом режиме на 100-й день - 20 июля 2020 года. Видно также, что более строгий режим приводит к снижению пика заболеваемости: при стандартном режиме число заболевших может достигать 50 млн., при строгом карантинном режиме величина пика падает до 20 млн., а при очень строгом режиме становится менее 10 млн. При этом доля документированных случаев еще в α раз меньше.

Перейдем к рассмотрению случая $\alpha = 10$. Калибровка модели проводится аналогично случаю $\alpha = 5$. Результаты калибровки представлены на Рис.8. Они также показывают хорошую точность аппроксимации реальных данных моделью везде, кроме начального участка. Результаты прогноза на 120 дней на период с 20 апреля по 18 августа 2020 г по модели представлены на Рис.9. Из графиков видно, что прогнозируемые даты достижения максимального числа инфицированных приходятся на

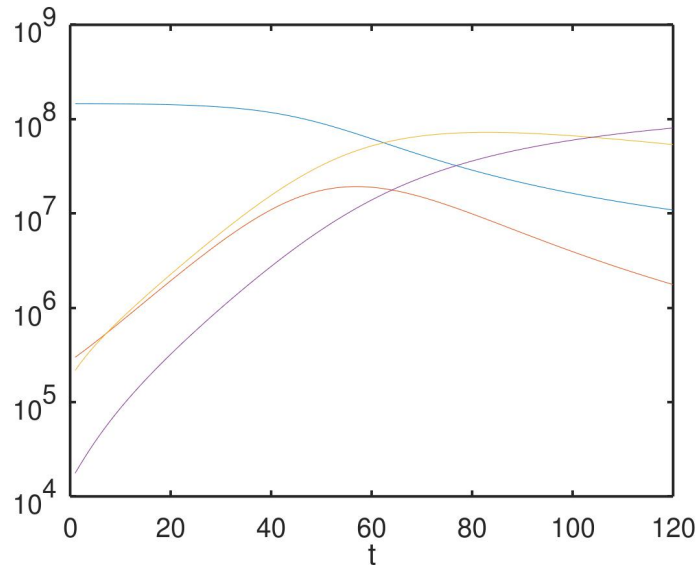


Рис. 6: Прогноз по SEIR модели-2 (строгий карантин) при $\alpha = 5$ по данным 10.03.2020 - 20.04.2020.

23-24 мая.

На Рис. 10 представлен аналогичный прогноз для усиленного карантинного режима (модель-2, $p_C = 1.5, r = 7.5$), а на Рис. 11 - прогноз для “очень строгого” карантинного режима (модель-3, $p_C = 1, r = 5$).

Видно, что изменение характера процессов при изменении величины α от $\alpha = 5$ до $\alpha = 10$ невелико.

4 Заключение

В работе представлены результаты построения математической модели развития эпидемии заболевания, вызванного коронавирусом COVID-19 на основе статистических данных по заболеваемости в России с 10 марта по 20 апреля 2020 г. Рассмотрены две классических простых модели эпидемиологии: SIR и SEIR. Проведена оценка параметров моделей по опубликованным статистическим данным. Построены варианты прогноза развития заболеваемости в Российской Федерации на 120 дней при изменении параметра социальной дистанции, соответствующего различным режимам изоляции населения (карантина) и параметра α , опреде-

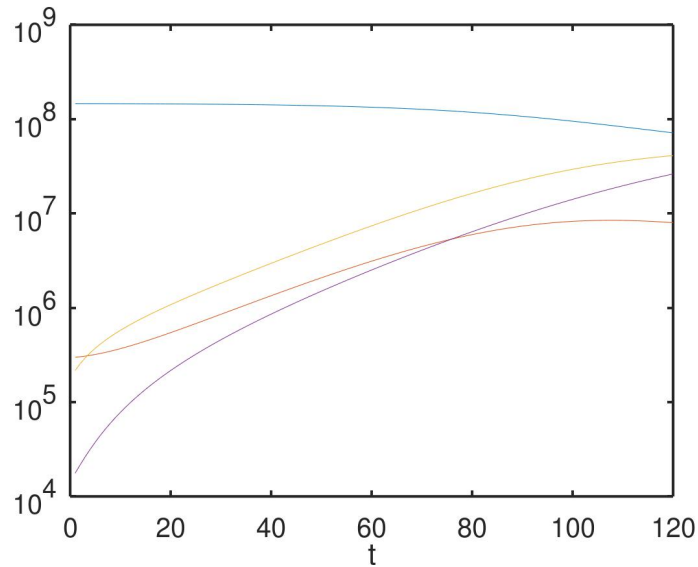


Рис. 7: Прогноз по SEIR модели-3 (очень строгий карантин) при $\alpha = 5$ по данным 10.03.2020 - 20.04.2020.

ляющего долю недокументированных случаев заражения.

Проведенные расчеты показывают, что модели SIR и SEIR могут быть использованы в условиях ограниченного объема и недостаточной достоверности статистических данных. Они позволяют давать не только качественные, но и количественные прогнозы процессов распространения вируса. В частности, из расчетов следует, что пик числа инфицированных в России следует ожидать не ранее конца мая. Результаты прогноза могут использоваться для оценки эффективности режимов самоизоляции, для выбора оптимальной стратегии, например, путем периодического усиления и ослабления карантинных мер [11] и т.д.

Отметим, что в марте-апреле 2020 г. в СМИ неоднократно высказывались, со ссылкой на официальных лиц различные предположения о времени наступления "пика" или "плато" распространения вируса COVID-19 в России, причем оценки менялись в течение нескольких дней [12, 13, 14, 15]. В середине апреля говорили о наступлении "пика" в конце апреля или начале мая 2020 г, в конце апреля и начале мая говорили о пике в середине мая. Однако результаты прогноза по SEIR модели, построенной по данным с 10 марта по 15 апреля, показывают, что такая "устарев-

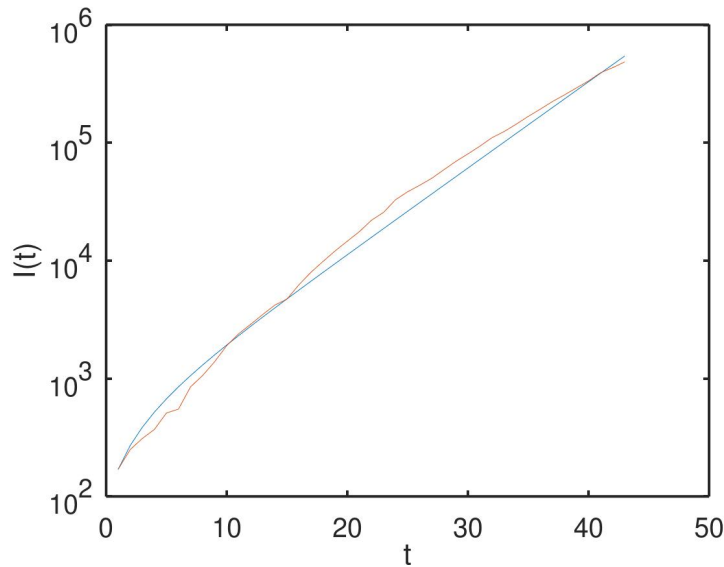


Рис. 8: Калибровка SEIR модели при $\alpha = 10$ по данным с 10.03.2020 по 20.04.2020. Синяя линия соответствует числу инфицированных по модели, а красная - реальным данным $\bar{I}(t)$.

шая" модель прогнозирует пик заболеваемости не менее точно, на 45-й день или также на конец мая. Было бы желательно публичные предположения и рекомендации сопровождать публикацией доказательств и вычислений, на которых рекомендации основаны. Ссылки на использование искусственного интеллекта в моделях без подробных пояснений [14] вызывают скорее подозрения, чем доверие.

Также хочется отметить, что расчеты проводились при ряде дополнительных предположений: считалось, что всё население страны восприимчиво к вирусу, вирус не обладает сезонностью и т.п. При таких предпосылках итоговым сценарием является то, что в конечном итоге переболеет значительная часть населения, изменяется только темп распространения болезни. В реальности же распространение инфекции может быть ограничено какими-то факторами, которые в настоящий момент неизвестны и здесь не учитывались.

Дальнейшие исследования целесообразно проводить для моделей, учитывающих пространственные неоднородности (сетевые или компартментальные модели) и неполную восприимчивость населения к инфекции.

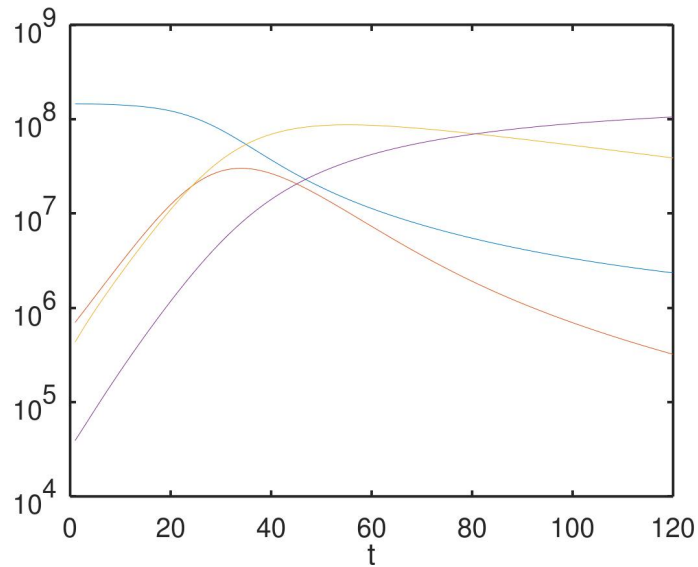


Рис. 9: Прогноз по SEIR модели-1 на 120 дней при $\alpha = 10$: а) (слева) прогноз с 20 апреля по 18 августа 2020 г. по данным 10.03.2020 - 20.04.2020. б) (справа) - прогноз с 15 апреля по 13 августа 2020 г. по данным 10.03.2020 - 15.04.2020. Синяя линия - число восприимчивых $S(t)$; желтая линия - число инфицированных в инкубационном периоде $E(t)$; красная линия - число инфицированных $I(t)$; фиолетовая линия - число выведенных $R(t)$.

Список литературы

- [1] Z. Yang, Z. Zeng, K. Wang, S.-S. Wong, W. Liang, M. Zanin, P. Liu, X. Cao, Z. Gao, Z. Mai, J. Liang, X. Liu, S. Li, Y. Li, F. Ye, W. Guan, Y. Yang, F. Li, S. Luo, Y. Xie, B. Liu, Z. Wang, S. Zhang, Y. Wang, N. Zhong, and J. He, "Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions," *Journal of Thoracic Disease*, vol. 12, no. 3, 2020. [Online]. Available: <http://jtd.amegroups.com/article/view/36385> I, I, 1, I, II, III, 3, III, 4, IV-B, IV-C
- [2] Efimov D., Ushirobira R. On an interval prediction of COVID-19 development based on a SEIR epidemic model. [Research Report] INRIA. 2020, fihal-02517866v4f

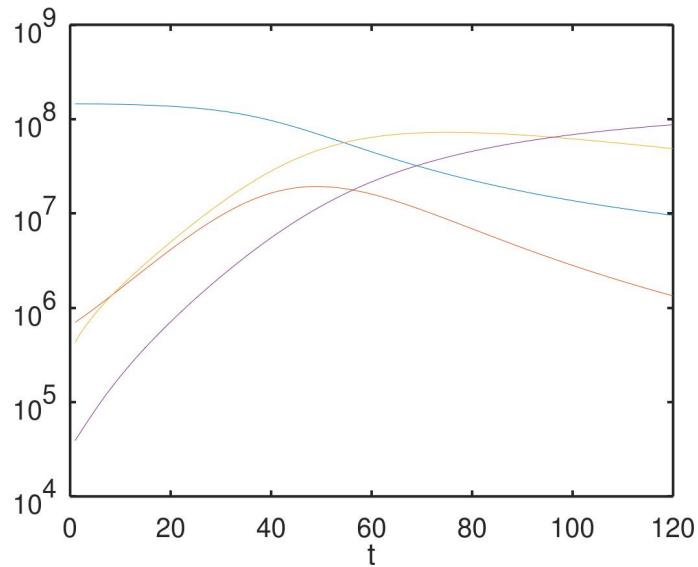


Рис. 10: Прогноз по SEIR модели-2 (строгий карантин) при $\alpha = 10$ по данным 10.03.2020 - 20.04.2020.

- [3] Zhong L., Mu L., Li J., Wang J., Yin Z., Liu D. Early Prediction of the 2019 Novel Coronavirus Outbreak in the Mainland China Based on Simple Mathematical Model. *IEEE Access*, V.8, 51761-51769, March 24, 2020, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2979599
- [4] Teles P. A time-dependent SEIR model to analyse the evolution of the SARS-CoV-2 epidemic outbreak in Portugal arXiv:2004.04735, April 21, 2020.
- [5] Roda, W.C., Varughese, M.B., Han, D., Li, M.Y. Why is it difficult to accurately predict the COVID-19 epidemic? (2020) *Infectious Disease Modelling*, 5, pp. 271-281.
- [6] Kermack W. O., McKendrick, A. G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics // *Proc. Roy. Soc. Lond., Ser. A.* 1927. No. 115. pp. 700–721.
- [7] Леоненко В.Н. Математическая эпидемиология. Учебно-методическое пособие. Изд-во ИТМО, 2018.

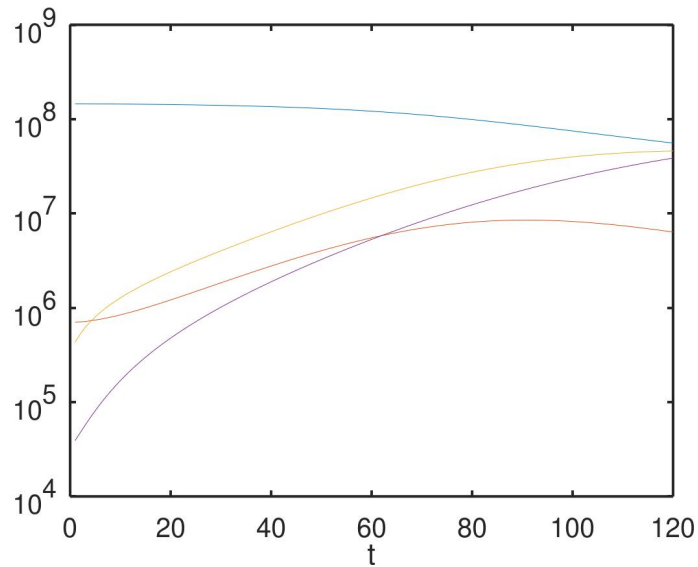


Рис. 11: Прогноз по SEIR модели-3 (очень строгий карантин) при $\alpha = 10$ по данным 10.03.2020 - 20.04.2020.

- [8] Wang, Z.; Bauch, C.T.; Bhattacharyya, S. et al. Statistical physics of vaccination. *Physics Reports*, Vol. 664, pp.1-113, 2016.
- [9] Worldometers. <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/russia/>
- [10] Li R., Pei S., Chen B., Song Y., Zhang T., Yang W., Shaman J., Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2). *Science*, 16 Mar 2020, 10.1126/science.abb3221 (2020).
- [11] Eubank S., Eckstrand I., Lewis D., Venkatramanan S., Marathe M., Barrett C.L. Commentary on Ferguson, et al., “Impact of Non-pharmaceutical Interventions (NPIs) to Reduce COVID-19 Mortality and Healthcare Demand” *Bull Math Biol.* 2020; 82(4): 52. Published online 2020 Apr 8. doi: 10.1007/s11538-020-00726-x
- [12] МОСКВА, 7 апреля. /ТАСС/. Ситуация с распространением коронавируса в России выйдет на плато примерно через 10-14 дней, сообщила глава Федерального медико-биологического агентства Ве-

роника Скворцова во вторник в интервью телеканалу "Россия-24".
<https://tass.ru/obschestvo/8185283> (Дата обращения 04 мая 2020 г.)

- [13] МОСКВА, 20 апр - РИА Новости. Пик заболеваемости коронавирусом при соблюдении всех мер профилактики будет в начале мая или даже раньше, заявил советник директора ФБУН "Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии" Роспотребнадзора Виктор Малеев.

https://ria.ru/20200420/1570319700.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews

(Дата обращения 04 мая 2020 г.)

- [14] МОСКВА, 29 апр — РИА Новости. Сбербанк с помощью искусственного интеллекта построил модель, которая предсказала сроки пика эпидемии коронавируса в России: по всей стране он придется на первую декаду мая, а в Москве наступит несколькими днями ранее, сообщил первый зампред правления банка Александр Ведяхин в интервью РИА Новости. <https://ria.ru/20200429/1570716529.html> (Дата обращения 04 мая 2020 г.)

- [15] РБК, 4 мая 2020 г. Пик эпидемии коронавируса в России ожидается в ближайшую неделю-две, после чего страна выйдет на плато и начнется постепенное снижение заболеваемости, сообщил эксперт Минздрава Владимир Чуланов <https://www.rbc.ru/society/04/05/2020/5eaf3af09a7947cda4a4278d> (Дата обращения 04 мая 2020 г.).