

**ЭПИДЕМИЯ COVID-19. БЕЛАРУСЬ, ШВЕЦИЯ, ШВЕЙЦАРИЯ И ДАНИЯ.
АНАЛИТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ, СРАВНЕНИЕ И ПРОГНОЗЫ
Губенко С.И. Email: Gubenko694@scientifictext.ru**

*Губенко Сергей Иванович – кандидат технических наук, пенсионер,
г. Москва*

Аннотация: *предложен аналитический метод расчёта динамики эпидемических процессов. Метод основан на аппроксимации фактических временных зависимостей - числа инфицированных людей, числа выздоровевших людей и числа умерших людей - функциями, которые содержат четыре параметра. Значения этих параметров вычисляются методами оптимизации. Проведены расчёты для Беларуси, Швеции, Швейцарии и Дании. Эти страны принимали различные меры борьбы с эпидемией, что привело к различным результатам. В Швейцарии и Дании эпидемию уже, практически, победили. В Беларуси уже пройдены плато и максимумы. В Швеции ситуация пока более сложная. Сделан прогноз развития эпидемии в этих странах.*

Ключевые слова: *эпидемия, COVID-19, число инфицированных, число выздоровевших, число умерших, аналитические расчёты, прогнозы, Беларусь, Швеция, Швейцария, Дания, меры борьбы с эпидемией, сравнение.*

**EPIDEMIC COVID-19. BELARUS, SWEDEN, SWITZERLAND, DENMARK.
ANALYSIS, COMPARISONS AND FORECASTS
Gubenko S.I.**

*Gubenko Sergey Ivanovich - PhD in Engineering, Retiree,
MOSCOW*

Abstract: *an analytical method of calculating the dynamics of epidemic processes has been proposed. The method is based on approximation of actual dependencies - the number of infected people, the number of people who have recovered and the number of people who have died - by functions which contain four parameters. The values of these parameters are calculated by optimization methods. Calculations have been made for Belarus, Sweden, Switzerland and Denmark. These countries have taken various measures to combat the epidemic, which has led to different results. In Switzerland and Denmark, the epidemic has almost been defeated. The plateaus and highs have already been passed in Belarus. In Sweden, the situation is still more complicated. A forecast of the epidemic in these countries has been made.*

Keywords: *epidemic, COVID-19, number of infected, number of recovered, number of deaths, analytical calculations, forecasts, Belarus, Sweden, Switzerland, Denmark, counteract measures, comparison.*

УДК 616-036.22, 614.4, 51-7

Пандемия COVID-19 продолжает оставаться мировой новостью номер один. Темпы роста общего числа инфицированных продолжают увеличиваться, и глава ВОЗ заявил, что пандемия COVID-19 в мире неуклонно ускоряется.

Согласно данным Университета Джонса Хопкинса, во всем мире на 20-е июля: инфицировано - 14703293 человека; суточный прирост составил – 195802; выздоровело – 8290431 (56,4%); умерло 609887 (4,1%), а на 7-е августа: инфицировано -19378036 человек; суточный прирост составил – 280887; выздоровело – 11737927 (60,6%); умерло 721324 (3,7%).

Следует отметить, что все страны находятся на разных стадиях эпидемического процесса. С точки зрения динамики, эпидемию можно условно разбить на стадии (этапы):

- 1) Зарождение.
- 2) Усиление.
- 3) Развитие.
- 4) Максимум.
- 5) Ослабевание.
- 6) Затухание.

На динамику развития эпидемии оказывают влияние различные факторы и, в том числе, ограничительные меры, которые были различны в разных странах. Поэтому представляет практический интерес - рассмотреть влияние этих мер на динамику процесса.

В этой статье были выбраны четыре страны (Беларусь, Швеция, Швейцария и Дания), применявшие различные меры противодействия эпидемии, и рассмотрена динамика развития эпидемий в каждой из этих стран.

Методика расчётов

Метод основан на аппроксимации временных зависимостей числа инфицированных людей - $N_{inf}(t)$, числа выздоровевших людей - $N_r(t)$ и числа умерших - $N_d(t)$, а также их суточных приращений - $\Delta N_{inf}(t)$, $\Delta N_r(t)$ и $\Delta N_d(t)$ функциями:

$$N(t) = N_0 \cdot 0,5 \cdot (1 + \operatorname{erf}(\frac{\ln(t-t_0)-m}{\sqrt{2} \cdot s})), \quad (1)$$

$$\Delta N(t) = N_0 \cdot \frac{1}{(t-t_0) \cdot s \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp(-\frac{(\ln(t-t_0)-m)^2}{2 s^2}), \quad (2)$$

где

N_0, m, s, t_0 – параметры,

$\operatorname{erf}(z)$ – интеграл вероятностей (функция ошибок).

Параметр N_0 имеет смысл общего числа инфицированных (выздоровевших, умерших) за всё время эпидемии. Параметр t_0 отвечает за время реального начала процесса, это сдвиг по времени от выбранного начала отсчёта времени. Например, начало отсчёта выбрали 1-е марта ($t=1$), а реально эпидемия началась 15-го марта ($t_0=15$). Величина $(t-t_0)$ стоит под логарифмом, поэтому, естественно, должно быть $t > t_0$. Для $t < t_0$ принимаем $N(t) = 0$ и $\Delta N(t) = 0$, что вполне логично, так как эпидемия для этих времён ещё не началась.

Параметры ($N_0; m; s; t_0$) вычисляются из уже имеющихся фактических данных, например, за первые 1-3 месяца эпидемии.

Их необходимо подбирать так, чтобы расчётная кривая как можно точнее описывала фактические (экспериментальные) значения. Это задача оптимизации. Для оптимизации параметров составлялась целевая функция и, варьируя параметры, находилась её минимум. В качестве целевой функции было выбрано среднеквадратичное отклонение расчётных значений N и ΔN от фактических значений на каком-то массиве данных (30-150 точек).

Четвёртая важная функция эпидемического процесса – число одновременно болеющих - N_s , находилась из очевидного уравнения:

$$N_s = N_{inf} - N_r - N_d. \quad (3)$$

Расчёты показали, что такими уравнениями можно описать эпидемии во многих странах. В предыдущих статьях приведены расчёты для [1] Германии, Китая, Италии, Бельгии и России [2, 3]. Расчёты хорошо согласуются с фактическими данными.

Эпидемия в Беларуси

Первый инфицированный появился в Беларуси 1-го марта 2020 года, 18-го марта их было уже 51; 27-го марта - 94; 31-го марта - 152; 5-го апреля - 562; 8-го апреля - 1066; 11-го апреля - 2226 и далее эпидемия начала набирать обороты.

В конце марта руководство страны приняло непростое решение относительно мер борьбы с эпидемией.

Председатель Совета Республики Беларусь Наталья Кочанова (31.03.2020): “Мы прекрасно понимаем: эпидемия пройдет, а с чем останется страна? У нас нет такой ситуации, чтобы надо было закрывать какие-то предприятия. Поэтому экономика в приоритете: работа предприятий, выполнение задач, которые стоят перед нами” [4].

Были приняты меры:

- 1) Граница. Была закрыта, по факту, хотя это сделала не Беларусь, а все её соседи.
- 2) Маски. Населению было рекомендовано выполнять предписания ВОЗ: маска в людных местах; дистанцирование; гигиена рук.
- 3) Удалённая работа. Многие офисы перешли на удалённую работу.
- 4) Самоизоляция. Режим самоизоляции (с 09.04) для носителей коронавируса, а также для их контактов первого и второго уровня.
- 5) Детские сады. Не закрывались. Обязательно измеряют температуру всем малышам и работникам сада. Кварцевание и проветривание. Дополнительная дезинфекция всех помещений. Отменены все праздники и совместные мероприятия.
- 6) Школы. Не закрывались. Детям можно находиться лишь в своем классе. Контроль температуры. Дезинфекция и проветривание помещений.
- 7) Вузы. Не закрывались. Рекомендовано было перейти на дистанционное обучение.
- 8) Предприятия. Не закрывались. Запрещено (с 07.04) допускать к работе сотрудников с признаками простудных заболеваний. Проводить совещания и семинары в формате аудио- и видеоконференций. Командировки отменены.
- 9) В домах для престарелых и инвалидов вводится запрет на посещения.
- 10) В гостиницах заселение должно производиться с максимальным удалением, постояльцам будут ежедневно измерять температуру.
- 11) Рестораны, кафе и столовые. Продолжили работу, но столы в заведениях должны стоять не ближе 1,5 метра друг от друга.

12) Торговые центры и магазины. Продолжили работу. Запрет проводить групповые презентации и рекламные акции, сотрудники должны быть в масках.

13) Парикмахерские и салоны красоты. Продолжили работу, работать лишь по предварительной записи с интервалом между клиентами не менее 5 минут, персонал должен быть в масках.

14) Церкви и монастыри. Продолжили работу. Предписано обеспечить регулярное мытье рук, уборку помещений с использованием дезинфицирующих средств, проветривание и дезинфекцию дверных ручек, икон, к которым прикладываются прихожане, и церковной утвари.

15) Подъезды жилых домов убирать с использованием дезинфекции, обязательную дезинфекцию должен проходить и общественный транспорт.

Для получения уравнений, описывающих динамику развития эпидемии в Беларуси, были выбраны фактические статистические данные числа инфицированных - N_{inf} , числа выздоровевших - N_r и числа умерших - N_d в первых 137 дней эпидемии (137 точек с 1-го марта по 15-е июля). В результате получили:

$$N = (N_0 ; m ; s ; t_0) \quad S_N \text{ и } S_{AN},$$

$$N_{inf} = (71\ 000 ; 4,29 ; 0,39 ; 10) \quad S_N = 66, S_{AN} = 11;$$

$$N_r = (70\ 500 ; 4,47 ; 0,36 ; 22) \quad S_N = 120, S_{AN} = 22;$$

$$N_d = (600 ; 4,46 ; 0,56 ; 15) \quad S_N = 1,1, S_{AN} = 0,1.$$

Фактические данные и расчётные зависимости представлены на рис. 1-3.

Эпидемия COVID-19. Беларусь

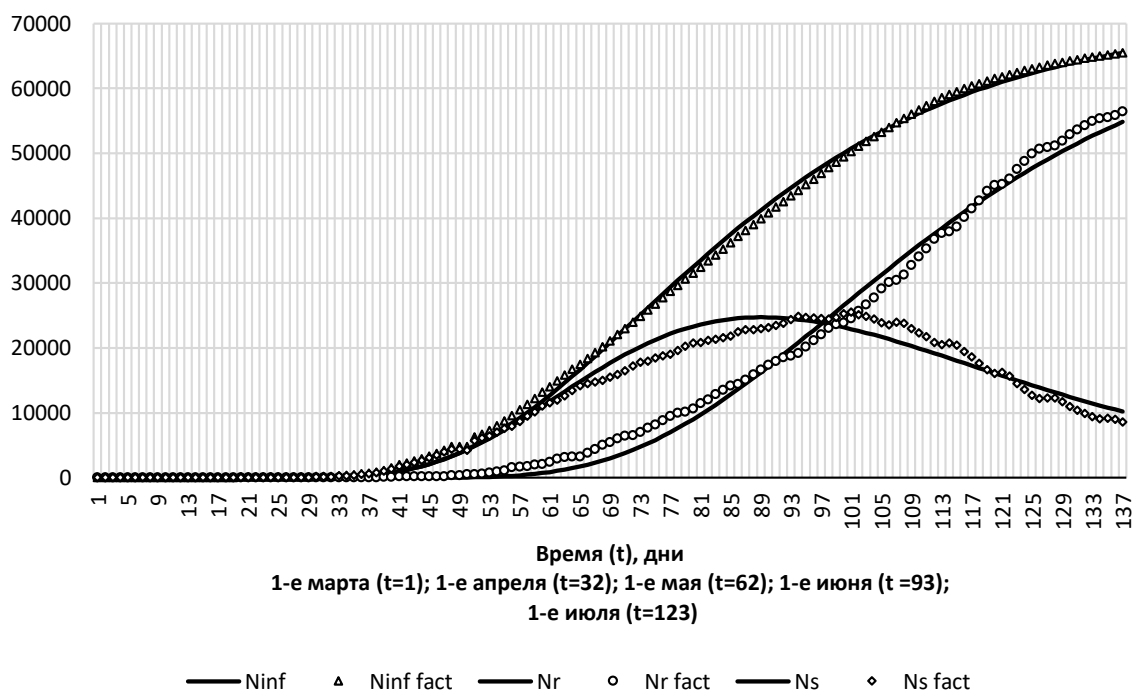


Рис. 1. Эпидемия COVID-19. Беларусь. Изменение со временем числа инфицированных (N_{inf}), числа болеющих (N_s) и числа выздоровевших (N_r). Линии – расчёт, точки – фактические данные

Видно, что, хотя число инфицированных продолжает увеличиваться, уже явно заметен изгиб этой кривой перед выходом на насыщение. Число выздоровевших активно увеличивается. Число одновременно болеющих уже перевалило через максимум и начинает активно снижаться, это говорит о снижении нагрузки на медицинскую систему.

«Ситуация полностью контролируемая» - отметил министр здравоохранения Владимир Караник. За время с начала вспышки специалисты Беларуси провели 1013056 млн тестов на коронавирусную инфекцию (на 1 июля). «С учетом анализа заболеваемости (01.07), вызванной COVID-19, в стране проводится поэтапное возвращение к обычной работе организаций здравоохранения, которые были перепрофилированы для оказания медпомощи пациентам с коронавирусной инфекцией».

На суточных приростах (Рис. 2) видно плато высотой 923 чел./сутки (это максимальная скорость инфицирования) в период с 21.04 по 25.05 и после этого началось снижение приростов.

Кривая, описывающая число умерших (Рис. 3), продолжает расти, однако, абсолютные значения числа умерших невысокие и составляли на 22 июня всего 0,6%, а на 20 июля 0,8% от числа

инфицированных. Главный кардиолог Минздрава Беларуси: «Смертность от коронавируса низкая, возможно, потому что в 2003 году белорусы массово переболели атипичными пневмониями».

Суточные приросты числа инфицированных. Беларусь

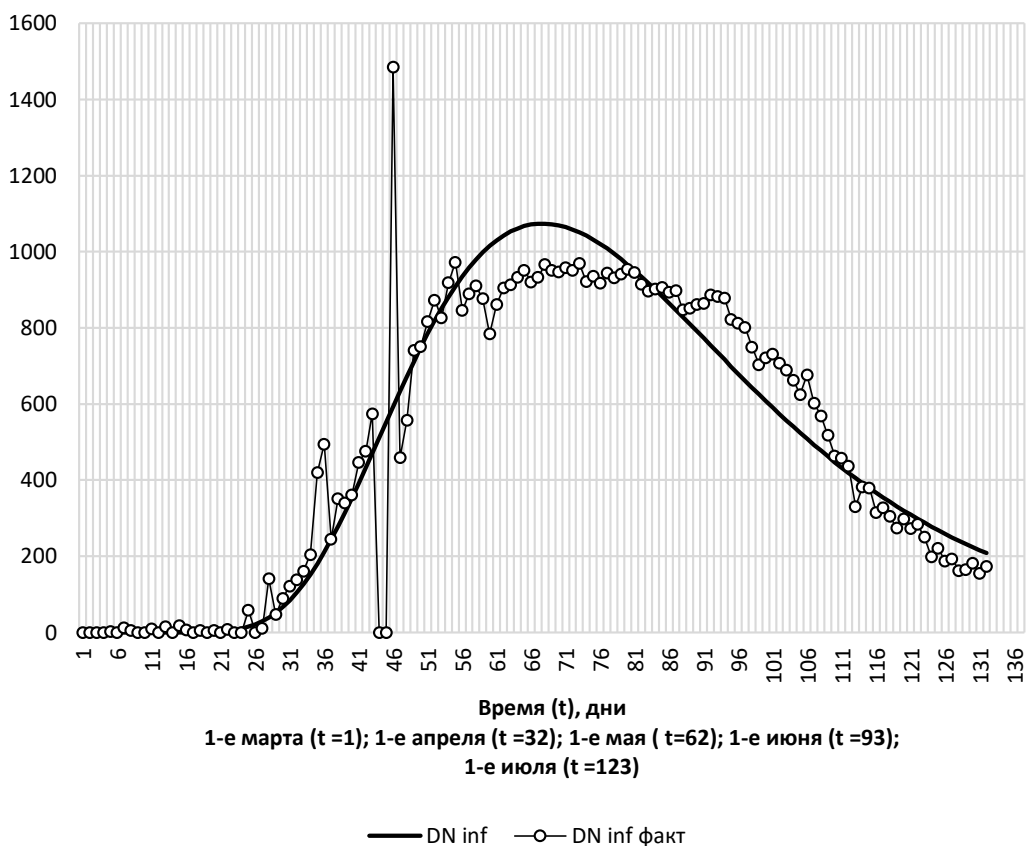


Рис. 2. Суточные приросты числа инфицированных (DN_{inf}). Беларусь. Линия – расчёт, точки – фактические данные

Президент Белоруссии Александр Лукашенко в ходе встречи с представителями Минской области, прошедшей 26 июня, признался, что «три месяца эти переживал за то, что творится с этим ковидом... одна страна [Беларусь] особый путь заняла борьбы с этим вирусом... и страна сумела победить инфекцию».

Вспомнил он и свои советы лечить коронавирус трактором, баней и водкой. По его признанию, тогда он «не мог говорить всерьёз»... «когда я говорил (16 марта), что трактор вылечит, я понимал, что надо посеять, потому что жрать будет нечего. Я людей пытался успокоить».

Число умерших. Беларусь

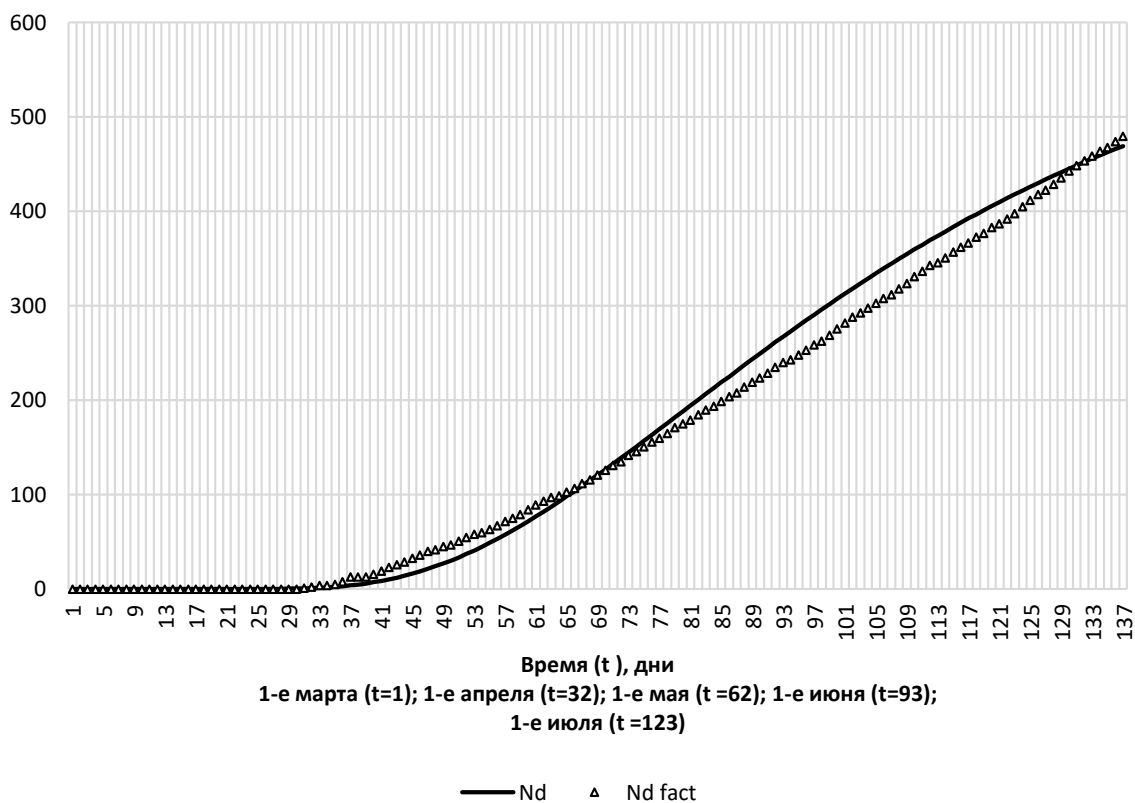


Рис. 3. Изменение со временем числа умерших (N_d). Беларусь. Линия – расчёт, точки – фактические данные

В заключение этого раздела отметим хорошее согласие расчётных и фактических данных.

Эпидемия в Швеции

Первый случай заболевания был зафиксирован 16-го февраля, затем 28 февраля больных было 11; 4 марта – 50; 6 марта – 137; 9 марта – 260; 11 – 500; 15 – 1040; 23 – 2046; 30 – 4028 и пошёл дальнейший рост.

Правительство Швеции и главный эпидемиолог страны Андерс Тегнелл, при обсуждении мер по противодействию коронавирусу, пришли к мнению, что большинство шведов должны переболеть коронавирусом, чтобы у них сформировался коллективный иммунитет. Согласно такому подходу, изолированы должны быть только «группы риска» - в частности, пожилые люди и люди имеющие хронические заболевания. Остальные же не должны бояться заражения коронавирусом. Тегнелл был убежден, что таким способом население страны обретет своего рода коллективный иммунитет и вирус потеряет свою эффективность в долгосрочной перспективе.

Отметим, что даже сейчас (июль) точно не установлено, как долго у переболевших сохраняется иммунитет к SARS-CoV-2. Высказывания Тегнелла подвергались критике. Так, 5 марта он утверждал в интервью газете, что эпидемия уже достигла своего пика: тогда число инфицированных составляло всего 94 человека. А 18 марта он заявил в эфире шведского телевидения, что даже если в семье есть заболевшие коронавирусом, остальные её члены могут спокойно продолжать ходить в школу и на работу.

Принятые меры:

- 1) Граница страны. Не закрыта, и граждане Евросоюза, по-прежнему, могут въезжать в страну.
- 2) Магазины и рестораны. Остаются открытыми.
- 3) Мероприятия. До 27 марта были разрешены мероприятия с участием до 500 человек, но потом было введено ограничение в 50 человек.
- 4) Детские сады и школы (младшие классы). Работают в обычном режиме.
- 5) Вузы. Удаленно занимаются студенты вузов и ученики старших классов.
- 6) Карантин. По приезде из-за границы никто не должен отправляться на профилактический карантин - даже медсестры и врачи.
- 7) Самоизоляция. Если у человека появляются симптомы коронавируса, дома должен оставаться только он сам, а все остальные члены его семьи могут продолжать свободно передвигаться.

8) Пожилые граждане. Пожилых призвали оставаться дома. Старики должны проявить сознательность — вот как это называлось.

Для получения уравнений, описывающих динамику развития эпидемии в Швеции, были выбраны фактические статистические данные числа инфицированных - N_{inf} , числа выздоровевших - N_r и числа умерших - N_d в первых 151 дней эпидемии (151 точка с 16-го февраля по 18-е июля). Просматривая эти данные, сразу же обнаружилось, что данные по числу выздоровевших - абсолютно недостоверны. Так на 4-е мая приведено число выздоровевших 4074 человека и затем это число не изменяется вплоть до 24-го июля. По каким-то причинам они либо бросили собирать статистику, либо перестали её публиковать. Не зная числа выздоровевших, нельзя посчитать и число болеющих. Картина получается не полная. Остаётся только поверить в достоверность данных по числу инфицированных и числу умерших и рассчитать эти зависимости.

В результате вычисления параметров получили зависимости:

$$N = (N_0; m; s; t_0) \quad S_N \text{ и } S_{\Delta N},$$

$$N_{inf} = (100000; 4,72; 0,55; 2) \quad S_N = 286, S_{\Delta N} = 37;$$

$$N_d = (6\ 000; 4,19; 0,49; 16) \quad S_N = 4,3; S_{\Delta N} = 2,5.$$

Фактические данные и расчётные зависимости представлены на рис. 4-б.

Число инфицированных. Швеция

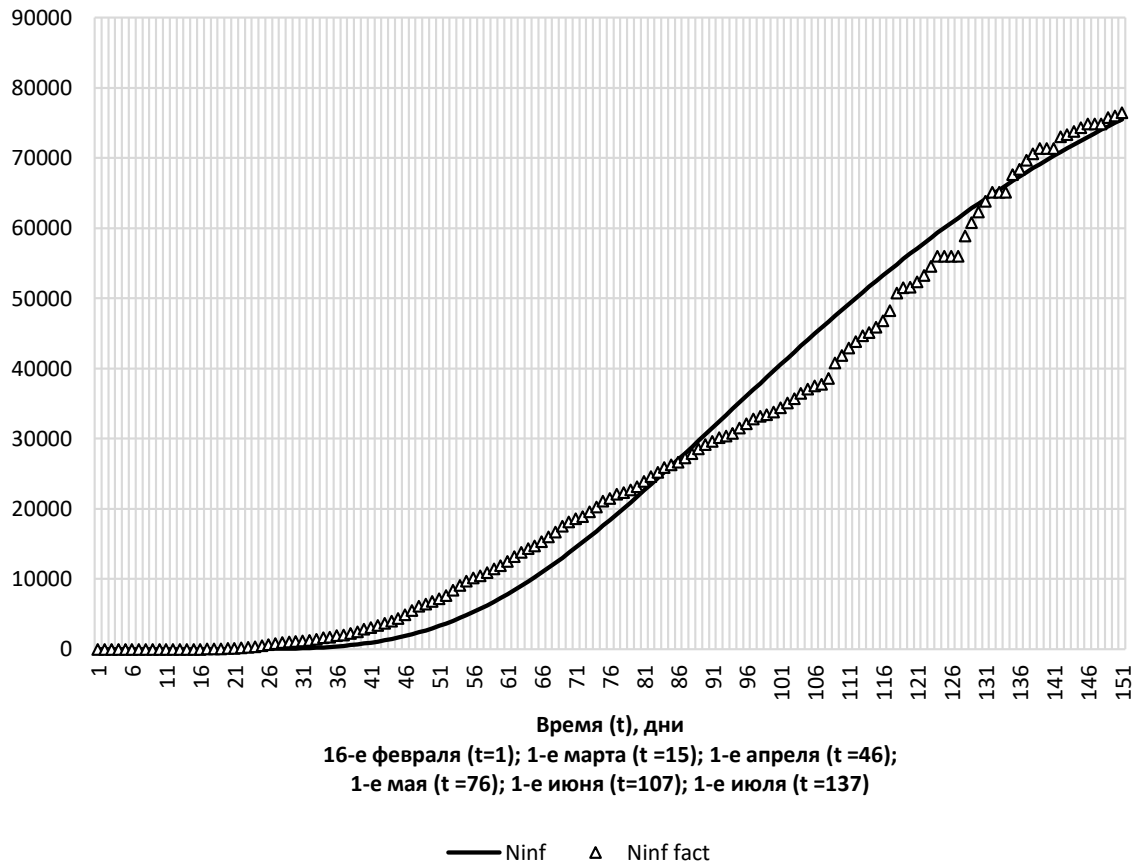


Рис. 4. Число инфицированных. Швеция. Линия расчёт, точки — фактические данные

Видно, что расчётная линия только приближённо описывает рост числа инфицированных. Довольно необычно, что фактическая зависимость на участках (05.04-01.06) и (02.06-26.06) является практически прямолинейной. Угловые коэффициенты на этих участках 550 чел/сутки и 1010 чел/сутки, соответственно. На участке после 26.06 кривая начинает демонстрировать выход на насыщение.

Суточные приросты числа инфицированных. Швеция

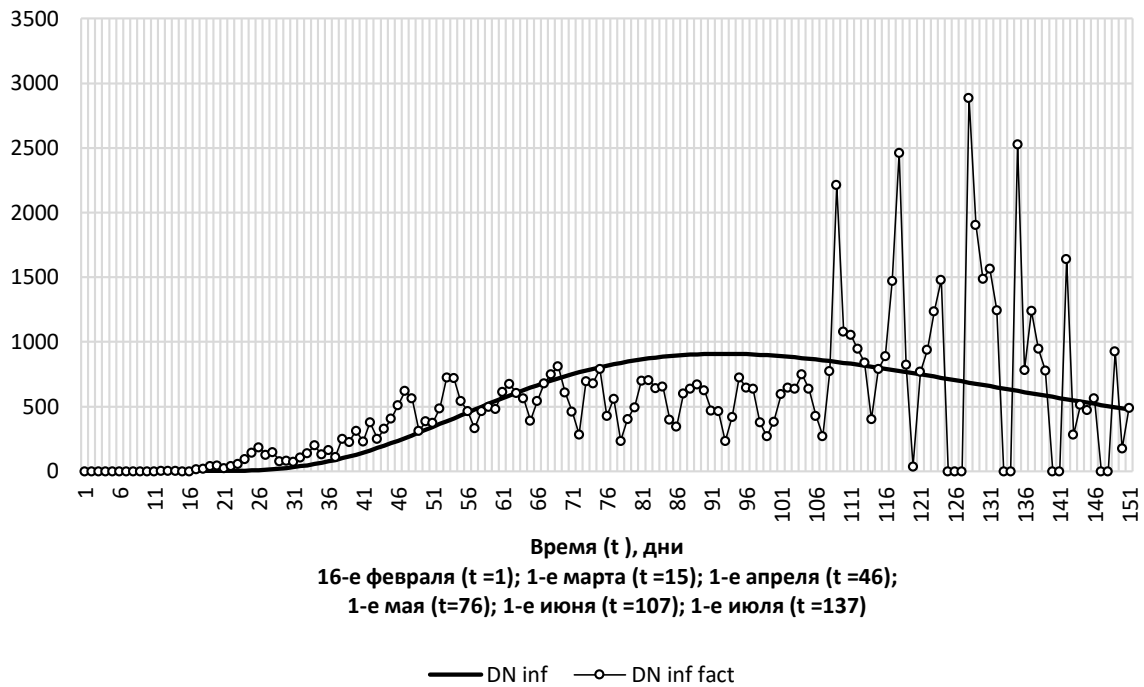


Рис. 5. Суточные приросты числа инфицированных. Швеция. Расчёты – линия, фактические данные – точки

На рис. 5 представлены фактические данные приростов. Просматривается последовательность “плато-ступенька-новое плато”. Обработка данных дала высоту первого плато 540 чел/сутки и второго 1090 чел/сутки. Эти значения, естественно, близки к более точным значениям, вычисленным по наклонам (550 и 1010). Появление этой ступеньки может быть связано с тем, что подключились какие-то новые источники инфицирования.

Число умерших. Швеция

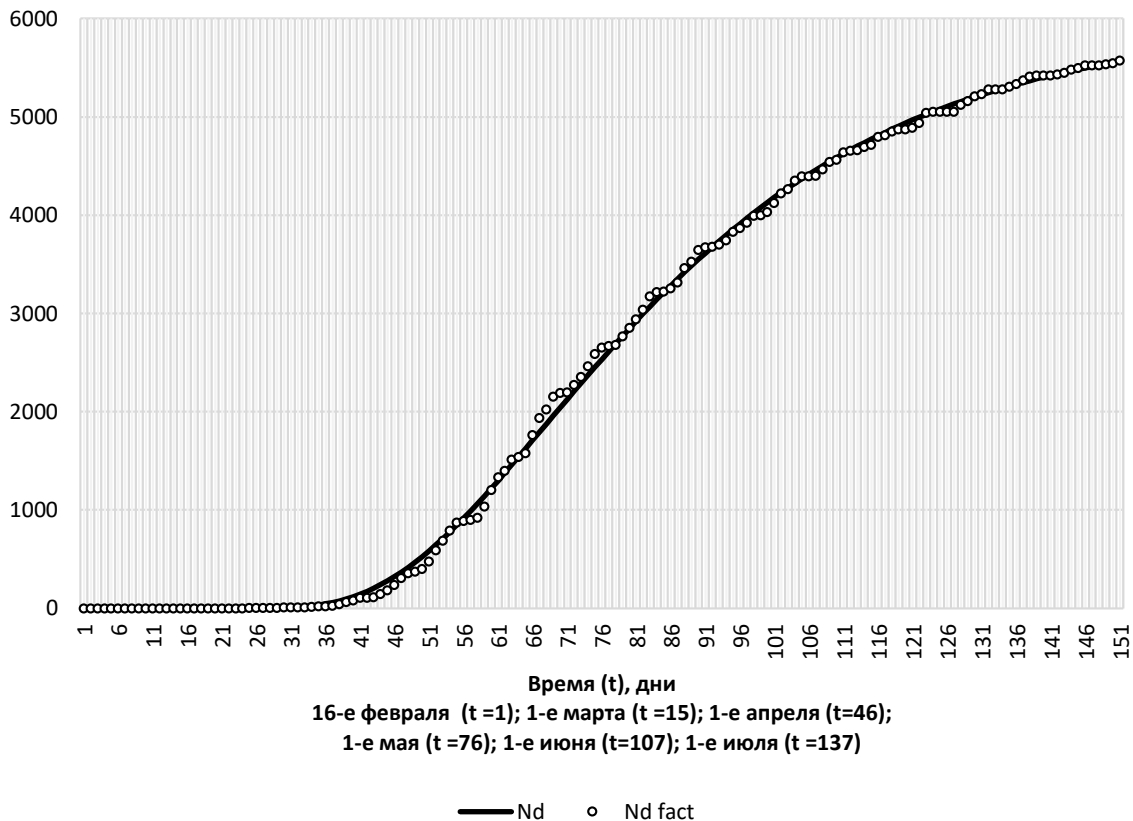


Рис. 6. Рост числа умерших. Швеция. Линия – расчёт, точки – фактические данные

Расчётная кривая числа умерших хорошо описывает фактические данные. Обращает внимание высокий уровень смертности. Так на 23 июня (t=129) было $N_d = 5161$ и $N_{inf} = 60\ 837$ и смертность равнялась 8,5% от числа инфицированных, а на 20 июля (t=156) было $N_d = 5639$ и $N_{inf} = 78048$ и смертность равнялась 7,2% от числа инфицированных.

«Смерть в домах престарелых сейчас распространяется со скоростью лесного пожара. К жильцам не пускают близких, а персонал часто плохо обучен, не защищен и сильно напуган» [5].

В Швеции, по сведениям из Интернета, домов престарелых 932 и в них содержатся около 40000 пациентов.

В заключение этого раздела отметим, что «Швеция начала расследование принятых против коронавируса мер. Комиссия, созданная по требованию оппозиции, даст оценку мерам правительства и региональных властей по борьбе с заболеванием. Швеция сильно опережает соседние с ней страны по числу умерших и заболевших» [6].

Эпидемия в Швейцарии

Первый случай коронавируса в Швейцарии был зафиксирован 25 февраля 2020 года. Затем 28-го – было уже 15; 5-го марта – 120; 7-го – 268; 10-го 497; 13-го – 1139; 16-го – 2353. Видно, что время удвоения на первой стадии было примерно 3 дня.

В марте Правительство оценило ситуацию как «чрезвычайное положение», однако, полный карантин в стране не был объявлен, и с 16 марта, когда было 2353 инфицированных, вводит следующие меры:

1) Граница. Усилен пограничный контроль. Ограничен въезд в страну. Транзит и грузовые перевозки разрешены.

2) Магазины (кроме продовольственных), бары, рестораны, кинотеатры. Закрыты до 26 апреля.

3) Школы. Закрыты до 26 апреля.

4) Публичные и частные мероприятия. Запрещены.

5) Установлена норма социальной дистанции в общественных местах в два метра.

6) Самоизоляция. Гражданам рекомендовано оставаться дома. В особенности это относится к людям в возрасте 65 лет и старше, имеющим хронические заболевания.

Президент Конфедерации Симонетта Соммаруга сказала: «Меры, принятые Федеральным советом, имеют смысл только в том случае, если их придерживаются все».

Забегаая вперёд, скажем, что эти меры эффективно сработали и уже с 27 апреля 2020 года их начали постепенно отменять.

Для получения уравнений, описывающих динамику развития эпидемии в Швейцарии, были выбраны фактические статистические данные числа инфицированных - N_{inf} , числа выздоровевших - N_r и числа умерших - N_d в первые 121 дней эпидемии (121 точка с 25-го февраля по 24-е июня). В результате получили:

$$N = (N_0 ; m ; s ; t_0) \quad S_N \text{ и } S_{\Delta N} ,$$

$$N_{inf} = (31\,500 ; 3,50 ; 0,40 ; 1,9) \quad S_N = 34, S_{\Delta N} = 12;$$

$$N_r = (29\,500 ; 3,50 ; 0,46 ; 17) \quad S_N = 35, S_{\Delta N} = 26;$$

$$N_d = (2\,000 ; 3,50 ; 0,46 ; 13) \quad S_N = 2,5, S_{\Delta N} = 0,8.$$

Фактические данные и расчётные зависимости представлены на рис. 7-9.

Эпидемия COVID-19. Швейцария

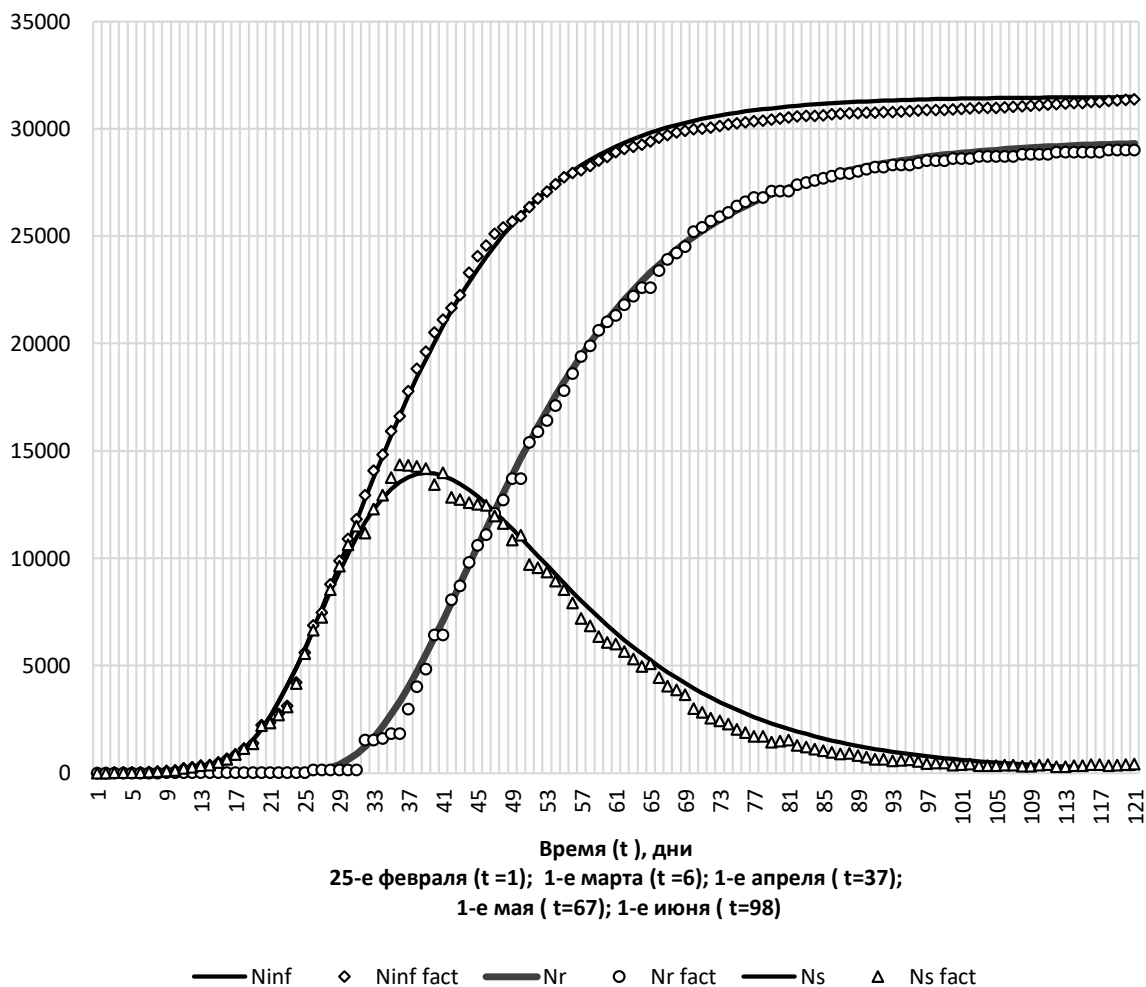


Рис. 7. Эпидемия COVID-19. Швейцария. Изменение со временем числа инфицированных (N_{inf}), числа болящих (N_s) и числа выздоровевших (N_r). Линии — расчёты, точки — фактические данные

Из этих данных видно, что кривые числа инфицированных и числа выздоровевших уже вышли на насыщение, а кривая числа болящих перевалила через максимум (пик эпидемии) и стремится к нулю. Таким образом, эпидемия (первая волна) близка к завершению.

Суточные приросты числа инфицированных. Швейцария

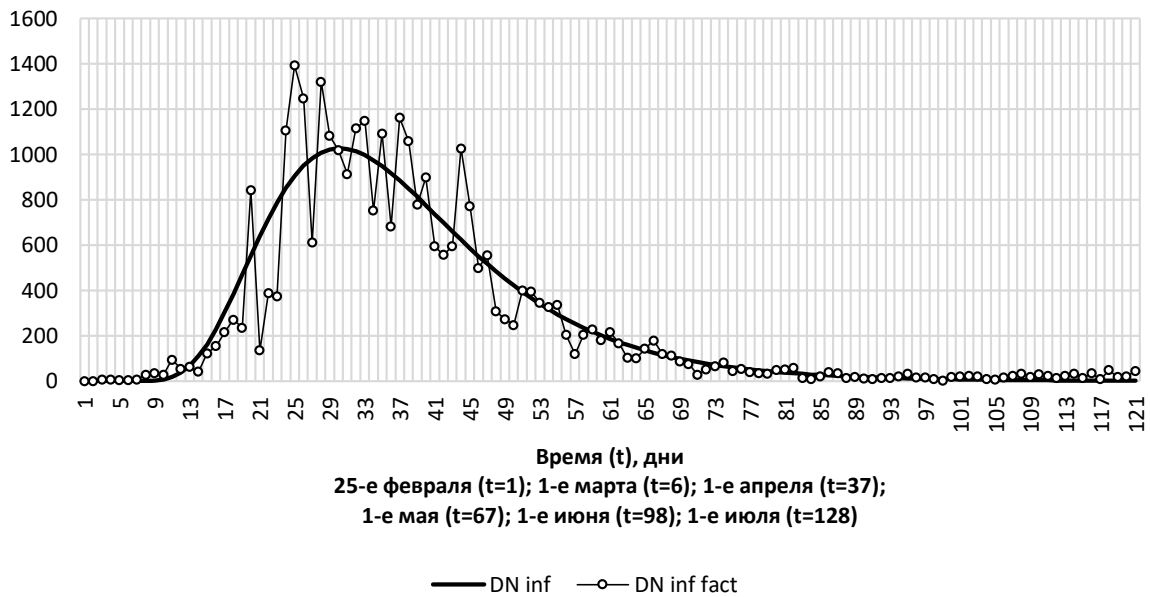


Рис. 8. Суточные приросты числа инфицированных. Швейцария. Линия – расчёт, точки – фактические данные

Суточные приросты хорошо описываются расчётной линией, которая имеет правоасимметричную колоколообразную форму с максимумом при $t=30$ (25 марта). Если рассматривать только фактические значения приростов, то можно говорить и о плато в интервале $t=24-36$ (19 марта – 31 марта) со средним значением 1040 чел/сутки.

Линия, описывающая изменение со временем числа умерших (Рис. 9), согласуется хорошо с фактическими данными. Смертность от инфекции в Швейцарии ниже, чем в Швеции. Так на 20 июня ($t=117$) было $N_d = 1956$ и $N_{inf} = 31\,243$ и смертность равнялась 6,3%, а на 20 июля ($t=147$) $N_d = 1971$ и $N_{inf} = 33\,591$ и смертность равнялась 5,9% от числа инфицированных. Отметим, что в Швейцарии примерно с 20-го июня заработал новый источник инфицирования, который оказался примерно в 10 раз слабее первого, если судить по величине приростов. Второй источник заработал тогда, когда первый уже прекратил работать, поэтому можно говорить и о второй волне. Но эти явления уже не связаны с первоначальными ограничительными мерами, поэтому не будем сейчас их подробно рассматривать.

Число умерших. Швейцария

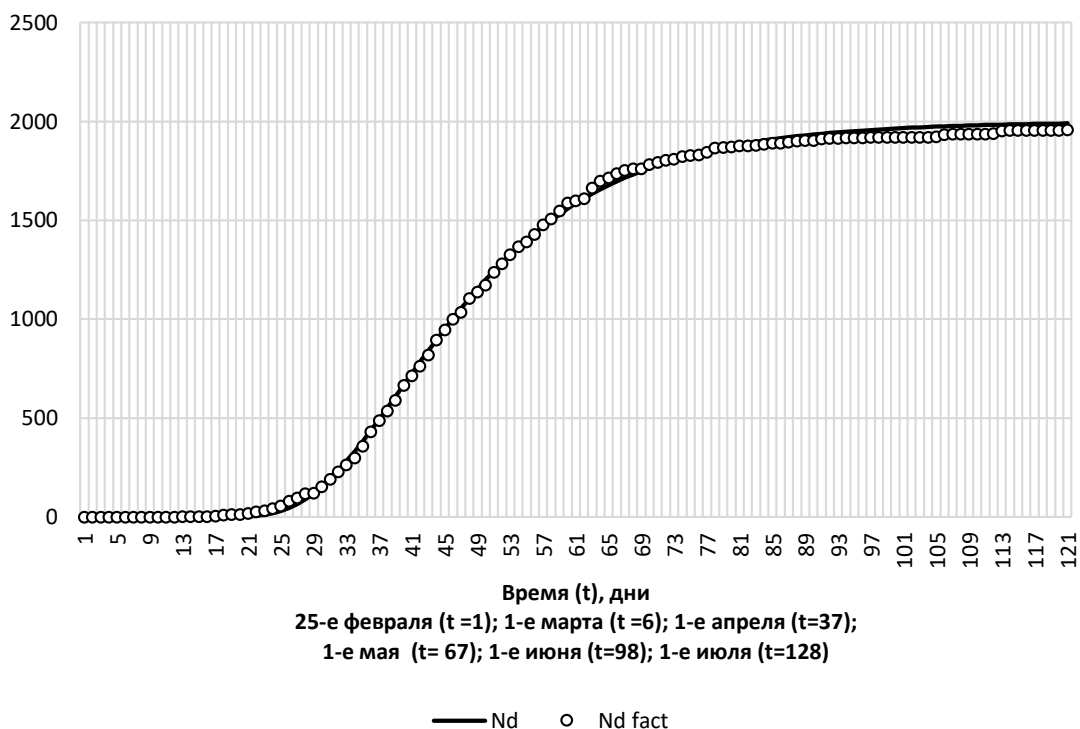


Рис. 9. Изменение со временем числа умерших (N_d). Швейцария. Линия – расчёт, точки – фактические данные

Эпидемия в Дании

Первый больной появился в Дании 27 февраля 2020 года. Затем 3-го марта было уже 10 человек; 06.03 – 21; 09.03 – 90; 10.03 – 262; 11.03 – 514; 12.03 - ; 14.03 - ; 18.03 -1057; 27.03 – 2046; 04.04 – 4077 и далее число инфицированных продолжило нарастать.

12 марта премьер-министр Дании Метте Фредериксен представила план по борьбе с распространением коронавируса в стране и 14 марта ряд мер вступил в силу.

Принятые меры:

- 1) Граница. Дания закрыла полностью свои границы.
- 2) Школы, университеты, детские сады и библиотеки. Закрыты. Все учебные заведения перевели на удаленный режим.
- 3) Рестораны, кафе, парикмахерские. Закрыты. При этом рестораны и кафе могли продавать еду на вынос.
- 4) Места массового скопления людей. Закрыты.
- 5) Собрания более 10 человек. Запрещены под угрозой штрафа.
- 6) Армия. Отправили по домам большую часть своей армии (17200 человек).
- 7) Аптеки и супермаркеты. Открыты. В супермаркетах людей просят надевать перчатки. Для кассиров установлены защитные экраны, везде стоят санитайзеры. Есть разметка, чтобы покупатели соблюдали дистанцию.
- 8) Маски и перчатки. Рекомендовано носить.
- 9) Транспорт. Общественный транспорт продолжал функционировать, но были приняты меры по сокращению загруженности и количество пассажиров значительно сократилось.
- 10) Перемещения. Перемещаться можно было свободно, при соблюдении дистанции.
- 11) Предприятия. Некоторые предприятия были закрыты, но правительство оказывало финансовую помощь самозанятым гражданам и работодателям. Государственные служащие, не выполняющие ответственных функций, были отправлены на удаленную работу.

Сейчас уже известно, что эти меры эффективно сработали.

«Власти Дании считают, что стране удалось взять под контроль ситуацию с распространением COVID-19 благодаря оперативной реакции, эксперты не исключают, что способствовать этому могли также дисциплинированность граждан и доверие к правительству. В стране уже (25-го апреля) открыты детские сады, школы и парикмахерские, сейчас также рассматривается новый этап снятия ограничительных мер» [7].

«Я думаю, было бы справедливым сказать, что это (улучшение ситуации с коронавирусом – ред.) происходит благодаря комбинации двух факторов – раннего ответа датских властей на возникшую ситуацию и дисциплинированности граждан», – сказал РИА Новости посол королевства в Москве Карстен Сендергорд [7].

Теперь перейдём к расчётам.

Для получения уравнений, описывающих динамику развития эпидемии в Дании, были выбраны фактические статистические данные числа инфицированных - N_{inf} , числа выздоровевших - N_r и числа умерших - N_d в первые 119 дней эпидемии (119 точек с 27-го февраля по 24-е июня). В результате получили:

$$N = (N_0 ; m ; s ; t_0) \quad S_N \text{ и } S_{\Delta N},$$

$$N_{inf} = (13\ 000 ; 4,00 ; 0,47 ; -6) \quad S_N = 16, S_{\Delta N} = 5;$$

$$N_r = (12\ 100 ; 4,00 ; 0,44 ; 6) \quad S_N = 26, S_{\Delta N} = 9;$$

$$N_d = (620 ; 3,90 ; 0,42 ; 0) \quad S_N = 0,8, S_{\Delta N} = 0,2.$$

Фактические данные и расчётные зависимости представлены на рис. 10-12.

Эпидемия COVID-19. Дания

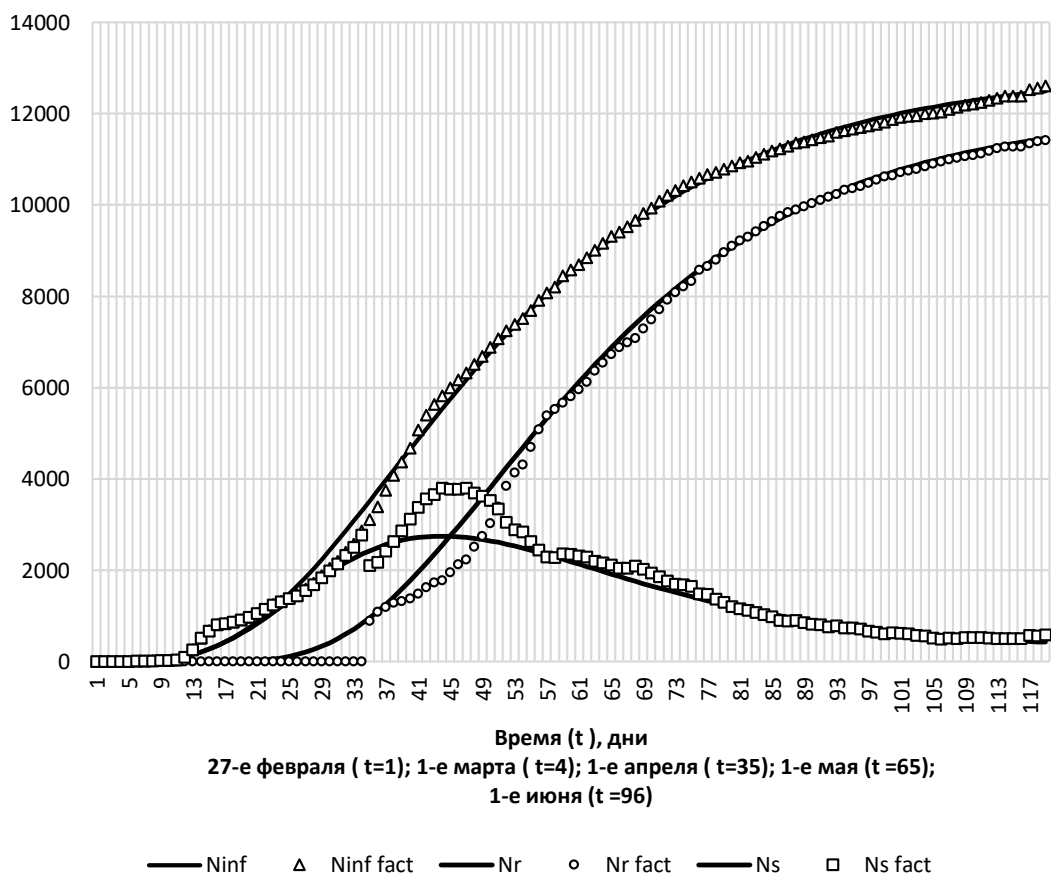


Рис. 10. Эпидемия COVID-19. Дания. Изменение со временем числа инфицированных (N_{inf}), числа болящих (N_s) и числа выздоровевших (N_r). Линии – расчёты, точки – фактические данные

Видно, что кривые числа инфицированных и числа выздоровевших вышли на насыщение, а число болящих неуклонно снижается. Некоторое расхождение фактических данных и расчётных кривых связано, на мой взгляд, с погрешностями статистики. Так, согласно статистике, за период с 5-го марта и по 31-е марта выздоровел всего 1 человек, а уже на следующий день выздоровело сразу 894 человека. Чему можно только удивляться и радоваться.

Согласие фактических данных и расчётных результатов – хорошее.

Суточные приросты числа инфицированных. Дания

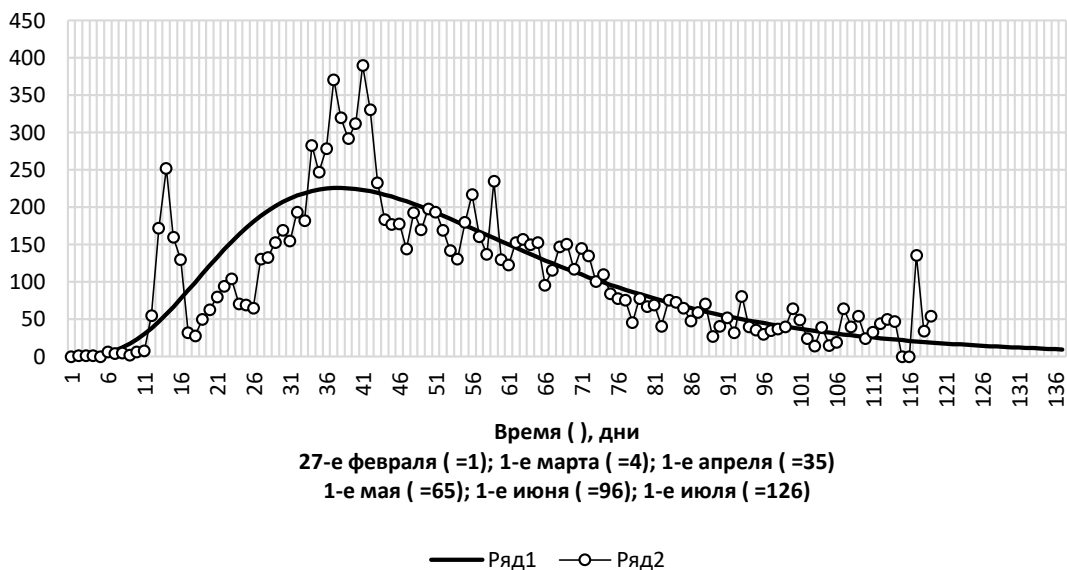


Рис. 11. Суточные приросты числа инфицированных. Дания. Линия – расчёт, точки – фактические данные

Расчётная кривая приростов в среднем неплохо описывает фактические значения. За весь период приросты были не большие по величине и не превосходили 400 чел/день. На фактической кривой приростов видны два пика, что свидетельствует о двух дополнительных очагах инфекции.

Кривая числа умерших (Рис. 12) уже вышла на насыщение. Согласие расчётных и фактических значений хорошее. Подсчитаем уровень смертности. На 20-е июня (t=115) имеем $N_{inf} = 12\ 391$ и $N_d = 600$ и уровень смертности 4,8%. На 20-е июля (t=145) имеем $N_{inf} = 13\ 262$, $N_d = 611$ и уровень смертности 4,6%.

Число умерших. Дания

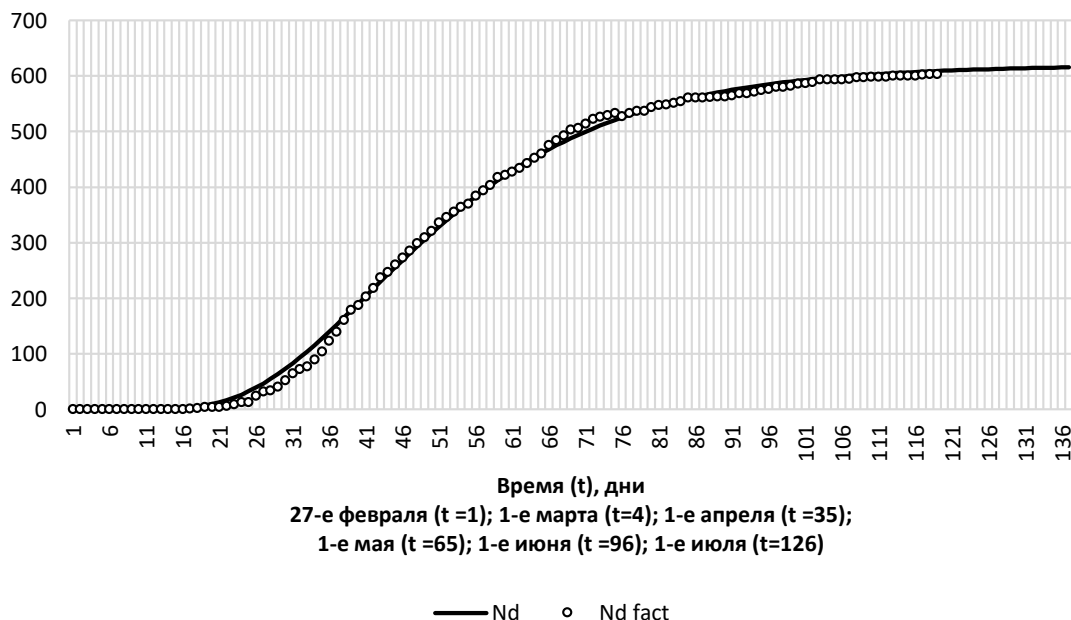


Рис. 12. Изменение со временем числа умерших (N_d). Дания. Линия – расчёт, точки – фактические данные

Обсуждение

Для того чтобы легче было сравнивать кривые инфицирования этих четырёх стран, приведём все зависимости на одном графике. Эпидемии в этих странах начались в разное время. Какой день брать за

начало эпидемии? Я выбрал день, когда число инфицированных перевалило через отметку 100 человек. Тогда последовательность начала эпидемий такая:

Швейцария – 05.03 (120 человек);

Швеция – 06.03 (137 человек);

Дания – 13.03 (262 человека);

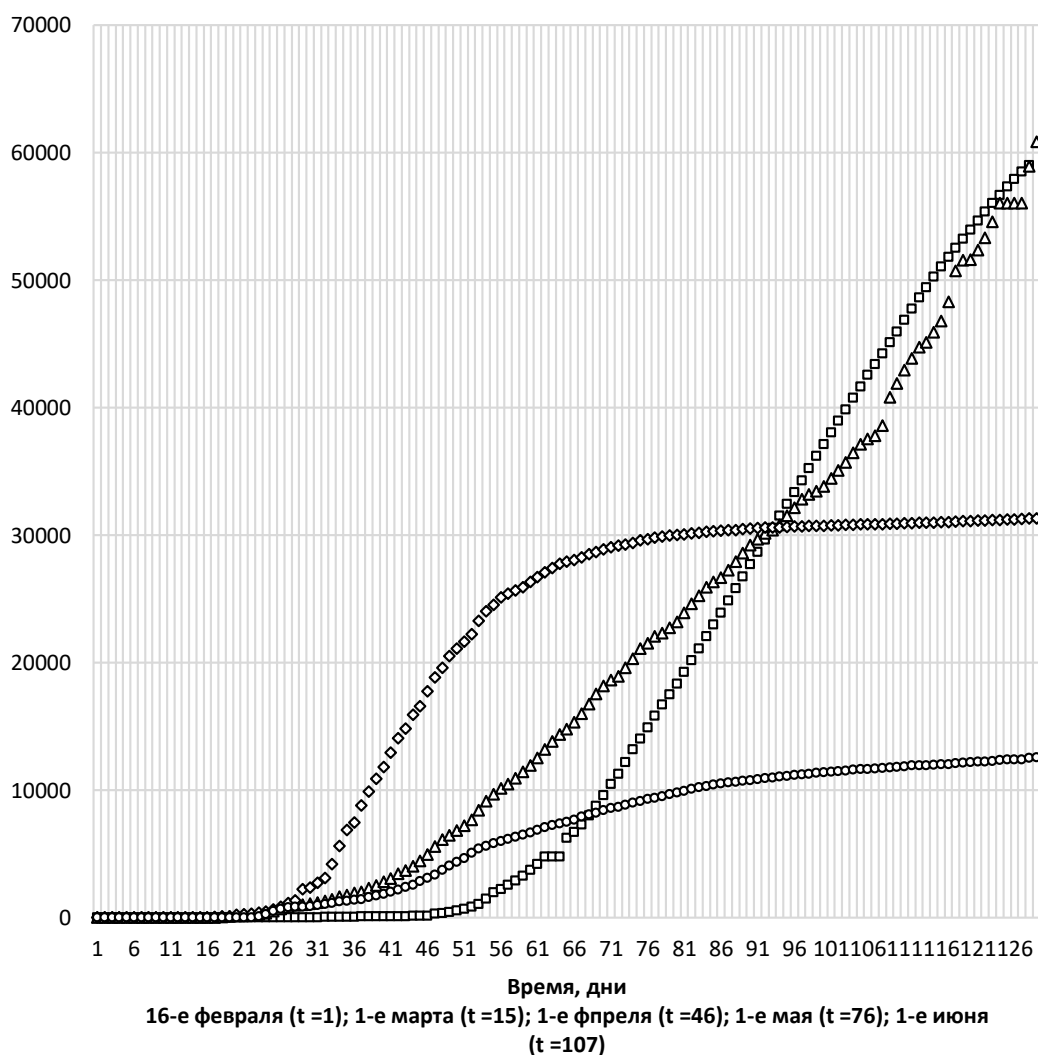
Беларусь – 30.03 (152 человека).

Иными словами, можно сказать, что эпидемия в Швейцарии и Швеции началась одновременно, примерно 5-6 марта, а через неделю эпидемия началась в Дании и ещё через две недели - в Беларуси. Для нас сейчас важна не точная дата начала, а последовательность и промежутки.

Рост числа инфицированных COVID-19

Беларусь, Швеция

Швейцария, Дания



Ninf Беларусь □ Ninf fact Беларусь Ninf Швеция Δ Ninf fact Швеция
 Ninf Швейцария ◇ Ninf fact Швейцария Ninf Дания ○ Ninf fact Дания

Рис. 13. Рост числа инфицированных со временем. Беларусь, Швеция, Швейцария, Дания

Сравним зависимости числа инфицированных от времени (Рис. 13). Видим, что для Швейцарии и Дании зависимости вышли на насыщение, но на разные уровни (примерно 31500 и 13000 человек).

Кривые Швейцарии и Беларуси имеют почти параллельные участки и скорости инфицирования на них равны 1040 и 920 чел./сутки соответственно.

На зависимости для Беларуси виден перегиб, это означает, что плато пройдено и скоро кривая выйдет на насыщение.

Не совсем понятна зависимость у Швеции. Кривая состоит из четырёх участков, и средние два – практически линейные зависимости: на временном отрезке 05.04-01.06 скорость инфицирования (прироста) равна 540 чел./сутки, а на отрезке 02.06-26.06 скорость - 1090 чел./сутки.

Параметры кривых числа инфицированных и числа умерших

$N = (N_0; m; s; t_0)$:

Беларусь $N_{inf} = (71\ 000; 4,29; 0,39; 10)$;

Беларусь $N_d = (600; 4,46; 0,56; 15)$;

Швеция $N_{inf} = (100\ 000; 4,72; 0,55; 2)$;

Швеция $N_d = (6\ 000; 4,19; 0,49; 16)$;

Швейцария $N_{inf} = (31\ 500; 3,50; 0,40; 1,9)$;

Швейцария $N_d = (2\ 000; 3,50; 0,46; 13)$;

Дания $N_{inf} = (13\ 000; 4,00; 0,47; -6)$;

Дания $N_d = (620; 3,90; 0,42; 0)$.

Параметр N_0 имеет смысл конечного числа инфицированных и конечного числа умерших за всё время эпидемии, поэтому его величину, в некотором смысле, можно рассматривать как долгосрочный прогноз. Видим, что для Швейцарии и Дании эти параметры вполне правдоподобны. Для Швейцарии на 20-е июня фактические значения числа инфицированных и умерших составляли 31243 и 1956, а на 20-е июля соответственно 33591 и 1971. Для Дании на 20-е июня фактические значения числа инфицированных и умерших составляли 12 391 и 600, а на 20-е июля соответственно 13262 и 611. Наблюдается некоторое небольшое превышение фактических значений, по сравнению с расчётными, на 20-е июля, и это связано с тем, что после снятия ограничений начались возвратные явления, и для Швейцарии можно даже говорить о небольшой второй волне, начавшейся после 20-го июня.

Для Беларуси фактические значения на 20-е июня составляли

$N_{inf} = 57936$ и $N_d = 343$, а на 20-е июля $N_{inf} = 66213$ и $N_d = 503$. Кривые уже выходят на насыщение и вполне вероятно, что предельные значения как раз и будут 71000 и 600 соответственно.

Для Швеции фактические значения на 20-е июня составляли

$N_{inf} = 56043$ и $N_d = 5053$, а на 20-е июля $N_{inf} = 78\ 048$ и $N_d = 5639$ и продолжают заметно расти и пока не ясно, достигнут ли они расчётных значений 100000 и 6000.

Параметр m меньше для стран (Швейцария и Дания), в которых эпидемия прошла быстрее. Параметр s чем меньше, тем кривая круче: Швейцария - 0,4, Дания - 0,47. Параметр t_0 отвечает за выбор времени начала эпидемии и здесь его не имеет смысла сравнивать.

Теперь сравним принятые меры.

Границу не закрыла только Швеция, поэтому инфекция могла всё это время продолжать поступать в страну извне. Данных по этому потоку я не нашёл. Остальные три страны перекрыли этот путь инфекции.

Сравнивая остальные меры, видим, что самые слабые меры приняла Швеция. Беларусь, на мой взгляд, действовала более ответственно, чем Швеция, и, хоть она не закрывала предприятия, школы и т.д., она всё же снизила уровень контактов, использовала маски и перчатки, проводила дезинфекцию.

В Швейцарии и Дании меры были приняты наиболее строгие (хотя промышленные предприятия не закрывались), возможно, именно это позволило этим странам быстро и эффективно победить первую волну эпидемий.

Численность населения, площадь страны и средняя продолжительность жизни (2019 год):

Беларусь – 9,413 млн человек, 207595 км², 71,2 года;

Швеция – 10,232 млн человек, 450295 км², 82,2 года;

Швейцария – 8,570 млн человек, 41285 км², 82,7 года;

Дания – 5,806 млн человек, 42933 км², 78,6 года.

Сравним число умерших/инфицированных людей:

Беларусь – 343/57 936 (20.06) и 503/66213 (20.07);

Швеция – 5053/56 043 (20.06) и 5639/78048 (20.07);

Швейцария – 1956/31 243 (20.06) и 1 971/33591 (20.07);

Дания – 600/12391 (20.06) и 611/13262 (20.07).

Число инфицированных в Беларуси и Швеции примерно одно и то же, и меры они приняли примерно одни и те же, но население Швеции больше на 800 тысяч и эпидемия в ней началась на 3 недели раньше, поэтому можно было ожидать, что инфицированных в Беларуси будет меньше.

В Беларуси и Швеции число инфицированных больше, чем в Швейцарии или Дании. Это понятно, у последних двух стран и население меньше и меры они приняли более жёсткие.

Бросается в глаза существенная разница (в 2,5 раза) в числе инфицированных в Швейцарии и Дании. Попробуем это объяснить. Ясно, что в крупных городах число контактов между людьми больше, чем в небольших городах и посёлках, поэтому и инфекция должна легче распространяться в крупных городах. В Швейцарии в городах с численностью более 100 тысяч человек проживает 8,038 млн человек, а в

Дании всего 1,581 млн человек, то есть в 5,1 раз меньше. Так как численность городского населения в Швейцарии больше, то и число инфицированных в ней больше.

Сравним смертность.

Число умерших в процентах от числа инфицированных:

Беларусь - 0,6% (20.06.2020) и 0,8% (20.07.2020);

Дания - 4,8% (20.06.2020) и 4,6% (20.07.2020);

Швейцария - 6,3% (20.06.2020) и 5,9% (20.07.2020);

Швеция - 9,0% (20.06.2020) и 7,2% (20.07.2020).

Видим, что смертность в Швеции выше, чем в трёх других странах, это следствие выбранных мер и состояния медицинской системы. Отметим, что средняя смертность по всему миру на 05.07.2020 составляла 4,8% ($N_{inf} = 11\ 053\ 488$; $N_d = 526\ 260$), а на 27.07.2020 составляла 4,0% ($N_{inf} = 16\ 252\ 541$; $\Delta N_{inf} = 204\ 606$; $N_r = 9\ 397\ 505$; $N_d = 648\ 637$).

Заключение

Проведены аналитические расчёты динамики эпидемических процессов в четырёх странах (Беларусь, Швеция, Швейцария и Дания). Эти страны предпринимали различные меры по борьбе с эпидемией, что и повлияло на динамику процессов.

Быстрее всех с эпидемией (первой волной) справились Швейцария и Дания, в которых были приняты более жёсткие меры. В этих странах кривые инфицирования и выздоровления уже вышли на насыщение. Однако, к сожалению, это не было окончательной победой над эпидемией. После снятия ограничительных мер в Швейцарии, примерно с 20-го июня, началась вторая (слабая) волна эпидемии.

В Беларуси эпидемия началась позднее и меры были приняты не такие жёсткие, но плато пройдено и кривая инфицирования близка к началу выхода на насыщение, а смертность самая низкая из этих стран.

Из этих четырёх стран пока ситуация хуже всего в Швеции, в которой самый высокий уровень смертности от коронавируса и только недавно началось уменьшение скорости инфицирования.

Список литературы / References

1. Губенко С.И. Эпидемии коронавируса. Аналитические расчёты и прогнозы. [Электронный ресурс] (06.06.2020). Режим доступа: <https://trueinform.ru/modules.php?name=News&sid=47411/> (дата обращения: 15.07.2020).
2. Губенко С.И. Эпидемия COVID-19 в России. Москва и регионы. Аналитические расчёты. [Электронный ресурс]. (15.07.2020). Режим доступа: <https://trueinform.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=47418/> (дата обращения: 20.07.2020).
3. Губенко С.И. Эпидемия COVID-19. Москва и Московская область // Вестник науки и образования, 2020. № 14 (92). Часть 3. С. 28-34. [Электронный ресурс] (20.07.2020). Режим доступа: <https://scientificjournal.ru/images/PDF/2020/92/epidemiya-covid-19.pdf/> (дата обращения: 22.07.2020).
4. Подготовка к выборам, ситуация в экономике и коронавирус. Рабочая встреча Президента А.Г. Лукашенко с Председателем Совета Республики Национального собрания Натальей Кочановой. [Электронный ресурс] (31.03.2020). Режим доступа: <https://www.tribunapracy.by/2020/03/podgotovka-k-vyboram-situaciya-v-ekonomike-i-koronavirus-temy-kotorye-lukashenko-obsudil-s-kochanovoj/> (дата обращения: 22.07.2020).
5. Грёнинг Л. Происходящее в наших (Швеция) домах престарелых просто ужасно. [Электронный ресурс] (17.04.2020). Режим доступа: <https://inosmi.ru/social/20200417/247283187.html> (дата обращения: 10.07.2020).
6. Анисимова Н. Швеция начала расследование принятых против коронавируса мер. Новости на РБК [Электронный ресурс] (02.07.2020). Режим доступа: <https://www.rbc.ru/politics/02/07/2020/5efd68d69a7947e8e2c9829b/> (дата обращения: 21.07.2020).
7. Иванова А. Новости. Раннее реагирование и дисциплина помогли Дании в борьбе с COVID-19. [Электронный ресурс] (00.00.2020). Режим доступа: <https://ria.ru/20200425/1570554825.html/> (дата обращения: 15.07.2020).