

# Прогнозирование динамики распространения COVID-19 на основе моделей временных рядов

Александр Филатов

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

## Информация о статье

Поступила в редакцию:

08.06.2020

Принята

к опубликованию:

08.09.2020

УДК 330.42

JEL C53, C32, I15, I19

## Ключевые слова:

коронавирус, распространение эпидемий, регрессионные модели, прогнозирование, прикладная эконометрика

---

## Keywords:

coronavirus, epidemic spread, regression models, prediction, applied econometrics

## Аннотация

*Исследование посвящено разработке эконометрической модели, позволившей на самых первых данных построить среднесрочные прогнозы динамики распространения коронавируса в разных странах, включая Россию. Необходимость оперативного получения приемлемого прогноза, отражающего основные тенденции, на основе неполных и неточных данных практически исключает использование стандартных SIR-моделей распространения эпидемий. В то же время сходство динамики в разных странах, в том числе, тех, в которых эпидемия шла с опережением во времени, и возможность учета факторов, определяющих различия между странами, позволили еще в марте 2020 г. получить экстраполяцию, относительно неплохо работающую на среднесрочном горизонте.*

## Prediction of COVID-19 Propagation Dynamics Based on the Time Series Models

Alexander Filatov

## Abstract

*The study is devoted to the development of an econometric model that made it possible to build medium-term predictions of the coronavirus propagation dynamics in different countries, including Russia, based on the very first data. Though it's essential to quickly obtain an acceptable (although not perfect) prediction that shows the critical trends based on incomplete and inaccurate data, it is practically impossible to use standard SIR-models of the epidemic spread. At the same time the dynamics similarity in different countries, including those which were several weeks ahead of Russia in the epidemic situation, and the possibility of including the heterogeneity factors into the model allowed as early as in March 2020 to develop the extrapolation working relatively well on the medium term horizon.*

*The basic results were shown on the 1-st of April based on the March statistics of the coronavirus propagation in the USA, 4 European countries – Italy, Spain, France, Germany (the most*

*vulnerable to the epidemic at that time), and Russia. It was shown how trajectory would deviate from the exponential form. We tried to identify and to evaluate the most significant factors distinguishing countries. One of the unexpected results was the slight impact of the quarantine restrictions on the number of the infected people. We also made the medium-term prediction, enacted by the local government, trying to assess the adequacy of the health care system capacity.*

Пандемия коронавируса, возникшего в конце 2019 г. в китайском городе Ухань и весной 2020 г. распространившегося практически по всему миру, не имеет близких аналогов в последние десятилетия, поэтому прогнозировать ее динамику и последствия, в том числе, влияние на экономику, крайне сложно. Усугубляют ситуацию как с прогнозированием, так и с борьбой с новым вирусом такие его свойства, как высокая контагиозность, достаточно долгий инкубационный период и высокая доля бессимптомных носителей, что делает весьма неточной существующую официальную статистику, а также практически исключает использование стандартных моделей распространения эпидемий [1], в т.ч. пространственных SIR-моделей [2], описывающих динамику групп восприимчивых, инфицированных и выздоровевших индивидов (русскоязычный обзор моделей данного класса представлен в [3]).

В то же время значительная доля носителей с тяжелыми симптомами, высокий уровень смертности (также пока не точно определяемый) и исключительная значимость влияния пандемии на мировую экономику и экономику отдельных стран [4] определяют особую актуальность хотя бы среднесрочных прогнозов динамики числа зараженных, в том числе, в контексте разработки мер, ограничивающих контакты людей, мониторинга эффективности или неэффективности их влияния на скорость распространения эпидемии, а также прогнозирования предполагаемой нагрузки на систему здравоохранения.

Базовое исследование было выполнено 31 марта – 1 апреля на основе мартовских данных по количеству зараженных в США, России, а также четырех странах Европы, наиболее подверженных эпидемии – Италии, Испании, Франции, Германии и России. Его целью было построение среднесрочного прогноза динамики заражения коронавирусом в России, где на тот момент эпидемия только началась, и число заболевших едва превысило тысячную отметку.

Заказчиками исследования выступили региональные власти, оценивавшие мощности местной системы здравоохранения и их достаточность на пиковых нагрузках, для чего было важно оценить хотя бы порядок цифр для числа зараженных и сроков выхода на плато, поскольку значения в разных источниках на конец марта – начало апреля отличались даже не в разы, а в десятки и сотни раз.

При этом публикация данного исследования на более широкую аудиторию спустя 2,5 месяца после проведения расчетов имеет и иные задачи.

Во-первых, важно продемонстрировать возможность получения прогноза приемлемого качества на основе простой экстраполяции данных и аналогий между странами до того, как имеющаяся статистика позволит применять более сложный и правильный инструментарий (при этом, конечно, нужно понимать ограничения экстраполяции и то, что она работает лишь до смены тенденций).

Во-вторых, эконометрические модели позволяют выявить значимость тех или иных факторов в контексте влияния на результирующий показатель, и эти

результаты могут оказаться важными, в том числе, для принятия тех или иных решений органами власти.

И в-третьих, обладая реальной статистикой по динамике распространения вируса в разных странах, мы видим ее расхождения с предварительными оценками, что дает основания для корректировки мер, направленных как на борьбу с пандемией, так и с ее экономическими последствиями.

В качестве исходных данных была использована официальная статистика по числу выявленных случаев заражения, представленная на сайте <https://www.worldometers.info/coronavirus>. Мы понимали, что данная статистика была неполной и неточной. Вероятно, реальное число зараженных в бессимптомной и легкой формах превышает официальные цифры в разы. Однако приведенная статистика достаточно точно отражала происходящие в реальности тенденции, в том числе, динамику распространения эпидемии, а значит, можно было ориентироваться именно на них. Сведем данные по наиболее подверженным эпидемии странам, а также по России в табл. 1.

Таблица 1

**Суммарное число зараженных COVID-19 по странам**

Дата	США	Италия	Испания	Франция	Германия	Россия
1 марта	75	1701	84	130	130	2
2 марта	100	2036	120	191	165	3
3 марта	124	2502	165	212	203	3
4 марта	158	3089	228	285	262	3
5 марта	221	3858	282	423	545	7
6 марта	319	4636	401	653	670	13
7 марта	435	5883	525	949	800	14
8 марта	541	7375	674	1209	1040	17
9 марта	704	9172	1231	1412	1224	20
10 марта	994	10 149	1695	1784	1565	20
11 марта	1301	12 462	2128	2281	1966	28
12 марта	1630	15 113	2950	2876	2745	34
13 марта	2183	17 660	4209	3361	3675	45
14 марта	2771	21 157	5753	4499	4599	59
15 марта	3617	24 747	7753	5423	5813	63
16 марта	4604	27 980	9191	6633	7272	93
17 марта	6357	31 506	11 178	7730	9367	114
18 марта	9317	35 713	13 716	9134	12 327	147
19 марта	13 898	41 035	17 147	10 995	15 320	199
20 марта	19 551	47 021	21 571	12 612	19 848	253
21 марта	24 418	53 578	25 496	14 459	22 364	306
22 марта	33 840	59 138	29 909	16 689	24 873	367
23 марта	44 189	63 927	35 480	19 856	29 056	438
24 марта	55 398	69 176	42 058	22 302	32 991	495
25 марта	68 905	74 386	50 105	25 233	37 323	658
26 марта	86 379	80 589	57 786	29 155	43 938	840
27 марта	105 217	86 498	65 719	32 964	50 871	1036
28 марта	124 788	92 472	73 232	37 575	57 695	1264
29 марта	144 980	97 689	80 110	40 174	62 435	1534
30 марта	168 177	101 739	87 956	44 550	66 885	1836
31 марта	193 353	105 792	95 923	52 128	71 808	2337

Источник: составлено автором на основе [5]

На первоначальном этапе распространение вируса происходит в соответствии с законами экспоненциального роста. И экспоненциальную модель вида

$$y = \theta_0 e^{\theta_1 t},$$

которая соответствует ситуации неизменного суточного прироста числа зараженных, можно рассматривать в роли бенчмарка. Отличия между странами состояли только в начальном уровне и темпах прироста, которые было легко рассчитать по мартовским данным, а также сделать среднесрочную аппроксимацию. Сведем в табл. 2 результаты расчетов по модели экспоненциального роста, оцененной на мартовских данных по каждой из стран.

Таблица 2

**Средние темпы прироста числа зараженных по странам и аппроксимация**

Страна	Темп прироста, %	Рост за 30 дней, раз	Аппроксимация на 30.04, тыс. чел.
США	27,6	1483,3	286 800
Италия	14,1	51,6	5 463
Испания	24,2	657,8	63 097
Франция	19,5	210,6	10 976
Германия	21,7	359,7	25 832
Россия	23,1	513,8	1 201

Источник: составлено автором

Очевидно, что даже прогнозом это назвать не получится – темпы прироста в первые недели распространения вируса до преодоления некоторой критической отметки могут быть очень высокими, затем они постепенно понижаются. При этом все страны Европы, с незначительными особенностями, в отличие от Китая и других стран Дальнего Востока, где были введены исключительно жесткие карантинные меры, а также осуществлялось быстрое выявление и локализация очагов, движутся по приблизительно одной траектории с поправкой на время, которое также можно учитывать в модели.

Осуществим следующее уточнение: рассчитаем средний начальный темп экспоненциального роста не по данным за 1–31 марта, а за фиксированное число дней (например, 15 или 30) с момента преодоления страной порога в 1000 выявленных зараженных (до этого слишком велики случайные суточные колебания, а данные слишком чувствительны к единичным масштабным случаям заражения). В разных странах это случилось в разное время, что продемонстрировано в табл. 3, где наряду со среднесуточным темпом прироста числа выявленных случаев указан момент преодоления порога. Также в последнем столбце табл. 3 указано, насколько сильно сократились темпы прироста при переходе с двухнедельного на месячный горизонт моделирования.

Представленные начальные темпы прироста могут являться ориентировочным индикатором скорости распространения вируса. В частности, в России они являлись чуть более низкими, чем в ключевых странах Европы. Более того, еще одним плюсом можно было назвать временную разницу в 2,5 недели – в

России было чуть больше времени, чтобы оценить риски и принять меры по локализации очагов распространения вируса.

Таблица 3

**Средние темпы прироста числа зараженных после преодоления порога**

Страна	Дата преодоления порога	Темп прироста за 15 дней, %	Темп прироста за 30 дней, %	Снижение темпа прироста, %
США	11 марта	29,4	20,6	8,8
Италия	29 февраля	20,0	14,8	5,2
Испания	9 марта	23,5	15,6	7,9
Франция	8 марта	18,9	14,6	4,3
Германия	8 марта	23,5	15,8	7,7
Россия	27 марта	17,1	14,6	2,5

Источник: составлено автором

К сожалению, этого оказалось недостаточно для предотвращения эпидемии (это, в частности, видно по наименьшему среди всех стран уменьшению темпа прироста при переходе от 15-дневного к 30-дневному горизонту). Есть в этом и объективная причина размера страны, особенно такой большой, как Россия. Когда в одних регионах эпидемия завершается, в других может возникнуть вспышка, и процесс продолжается. В то же время экспоненциальный рост не может быть вечным, и даже для среднесрочного прогноза следует рассмотреть чуть более сложные модели.

В частности, темп прироста постепенно сокращается с первоначального высокого уровня до более низких значений. В простейшем варианте модели это снижение может быть линейным. Данные показали, что базовый темп прироста на момент преодоления порога в 1000 зараженных составлял 25,7% в день, несколько отличаясь по странам и уменьшаясь ежедневно в среднем на 0,99 процентных пункта.

Однако убывающая линейная функция всегда рано или поздно уходит в отрицательную область – при предположении об одинаковом указанном выше уменьшении за 40 дней в США, 37 – в Испании, 33 – в Италии и Германии, 31 – во Франции и 26 – в России. А этого не может быть для показателя динамики кумулятивной зависимости (мы рассматриваем в качестве результирующего показателя суммарное число выявленных зараженных с начала эпидемии, а не количество больных на данный момент), поэтому желательно изменить спецификацию модели.

В качестве модифицированного варианта рассмотрим экспоненциальное убывание относительного прироста  $y$  от времени  $t$ . Учтем также снижение роста в зависимости от доли  $x$  зараженных в стране. Механизмы воздействия этого показателя могут быть весьма различными, но в целом это соответствует характерной для многих процессов отрицательной связи предельных показателей с текущим уровнем кумулятивной величины, с учетом большого числа невыявленных бессимптомных случаев, а также высокой доли заболевших в столице и крупных мегаполисах при гораздо более низкой заболеваемости в регионах и, особенно, в глубинке. Также учтем изменение системы измерения числа зараженных в США 17–23 марта, приведшее к всплеску числа зарегистрированных случаев, и сроки введения основных ка-

рантинных мер (21 марта – в США, 23 февраля – в Италии, 14 марта – в Испании, 17 марта – во Франции, 16 марта – в Германии, 28 марта – в России) с временным лагом в 5 дней (от момента заражения до обнаружения проходит некоторый срок). Полученная модель имеет следующий вид:

$$\ln \tilde{y}_t = -1,405 - 0,0256t - 0,0005x_t + 0,571m_t - 0,049q_{t-5} + \quad (1)$$

$$+ 0,365z_t^{(1)} + 0,227z_t^{(2)} + 0,519z_t^{(3)} + 0,096z_t^{(4)} + 0,224z_t^{(5)} + \varepsilon_t.$$

Здесь  $\tilde{y}_t = y_t/y_{t-1} - 1$  – относительный прирост числа зараженных,  $t$  – день с момента преодоления рубежа в 1000 зараженных,  $x_t$  – число зараженных на миллион жителей,  $m_t$  – дамми для периода изменения системы измерения в США (принимаяющая единичное значение в период с 17 по 23 марта),  $q_{t-5}$  – дамми, равная единице для периода, когда работают карантинные меры, со сдвигом в 5 дней (с 26 марта в США и т.д.),  $z_t^{(1)}, \dots, z_t^{(5)}$  – дамми для США, Италии, Испании, Франции и Германии соответственно. Под оценками коэффициентов в скобках указаны их стандартные ошибки.

Содержательно представленная выше модель говорит о том, что базовый (на момент преодоления тысячного порога) среднесуточный темп прироста числа зараженных составляет 35,4% в США ( $e^{-1,405+0,365} = 0,354$ ), 30,8% – в Италии, 41,2% – в Испании, 27,0% – во Франции, 30,7% – в Германии и 24,5% – в России. При этом каждый день прирост сокращается на 2,56% (обращаем внимание, именно процента, а не процентных пункта!). Значимо отрицательное влияние оказывает доля зараженных. Контроль на изменение системы измерений в США повысил точность модели. В то же время, вопреки ожидаемому, на представленных данных существенное влияние карантинных мер не было выявлено. Вычисляемая как отношение оценки коэффициента к его стандартной ошибке  $t$ -статистика, равная  $0,049/0,063 = 0,784$ , означает, что доверять отрицательному знаку коэффициента не приходится.

Любые ограничительные меры (запрет массовых мероприятий, закрытие торговых центров, ресторанов, кинотеатров, спортивных комплексов и других мест общего доступа, переход ряд отраслей, включая систему образования, в онлайн, ограничения на передвижения и т.д.) замедляют скорость распространения вируса, уменьшают максимальное число активных случаев и позволяют не допустить коллапса медицинской системы. С другой стороны, они увеличивают продолжительность эпидемии и экономические издержки, связанные с сокращением экономической активности, которые выходят на первый план. Поэтому очень важным вопросом является то, насколько эффективной оказывается жесткость ограничений.

Возникает гипотеза, что незначимость фактора ограничений может быть связана с неточной спецификацией модели, например, ошибочным лагом между их введением и замедлением распространения вируса. Однако если увеличивать или уменьшать лаг, значимость введения ограничений не только не увеличивается, но и типично уменьшается или даже становится противоположного знака (например, при лаге менее 2 дней). Данные по  $t$ -статистике коэффициента при ограничительных мерах в зависимости от лага представлены в табл. 4.

Таблица 4

*t*-статистика коэффициента при ограничениях в зависимости от лага (дней)

0	1	2	3	4	5	6	7	8
0,168	0,692	-0,058	-0,210	-0,399	-0,784	-0,568	-0,506	-0,936

Источник: составлено автором

Вторая гипотеза связана с возможными неточностями использования дамми-переменной для учета принятых карантинных мер, принимающей только значения 0 или 1, а также в указании сроков введения этих мер, поскольку указанные даты были выбраны исключительно на основе сообщений в СМИ без серьезного дополнительного анализа.

Действительно, ограничительные меры в большинстве стран принимались не одновременно, а постепенно. На сайте <https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker> представлен индекс изоляции, отражающий жесткость ограничений и принимающий значения от 0 (полное отсутствие ограничений) до 100 (использования всех мер одновременно в самой сильной редакции). Пронормированные на интервал  $[0;1]$  его значения приведены в табл.5.

Таблица 5

*Индекс изоляции за 1–31 марта по странам*

Дата	США	Италия	Испания	Франция	Германия	Россия
1 марта	0,083	0,699	0,111	0,194	0,250	0,083
2 марта	0,111	0,699	0,111	0,287	0,250	0,083
3 марта	0,111	0,699	0,111	0,287	0,250	0,083
4 марта	0,111	0,745	0,111	0,287	0,250	0,083
5 марта	0,204	0,745	0,111	0,287	0,250	0,222
6 марта	0,204	0,745	0,111	0,287	0,250	0,222
7 марта	0,204	0,745	0,111	0,287	0,250	0,222
8 марта	0,204	0,745	0,111	0,287	0,250	0,222
9 марта	0,204	0,745	0,250	0,287	0,287	0,222
10 марта	0,204	0,824	0,458	0,287	0,329	0,319
11 марта	0,218	0,852	0,458	0,287	0,329	0,319
12 марта	0,301	0,852	0,458	0,287	0,329	0,319
13 марта	0,301	0,852	0,458	0,426	0,329	0,319
14 марта	0,357	0,852	0,671	0,482	0,329	0,319
15 марта	0,412	0,852	0,671	0,482	0,329	0,319
16 марта	0,523	0,852	0,690	0,556	0,421	0,505
17 марта	0,551	0,852	0,718	0,907	0,421	0,607
18 марта	0,551	0,852	0,718	0,907	0,523	0,607
19 марта	0,671	0,852	0,718	0,907	0,551	0,625
20 марта	0,671	0,917	0,718	0,907	0,579	0,625
21 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,681	0,699
22 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,732	0,699
23 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,732	0,681
24 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,732	0,681
25 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,732	0,681
26 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,732	0,681
27 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,732	0,681
28 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,732	0,718
29 марта	0,727	0,917	0,718	0,907	0,732	0,718
30 марта	0,727	0,917	0,852	0,907	0,732	0,870
31 марта	0,727	0,917	0,852	0,907	0,732	0,870

Источник: составлено автором на основе данных [6]

Тем не менее, использование индекса изоляции не внесло существенных изменений в значимость карантинных мер. Более того при лаге выше 5 дней уточненная модель давала даже положительные значения соответствующего коэффициента. Данные по *t*-статистике для этого показателя в зависимости от лага (рассматривался срок от 0 до 8 дней между введением ограничений и воздействием на число зараженных) сведены в табл.6.

Таблица 6

*t*-статистика коэффициента при ограничениях в зависимости от лага (дней) для модели с учетом индекса изоляции

0	1	2	3	4	5	6	7	8
-0,850	-0,159	-0,442	-0,100	-0,007	0,125	0,059	0,193	0,365

Источник: составлено автором

Таким образом, на имеющихся данных не выявлено значимой связи между жесткостью карантинных мер и масштабом эпидемии. Косвенно это выявляется по тому, что уровень распространения вируса (число выявленных случаев на 1 млн жителей) примерно одинаков как в странах с относительно жесткими ограничениями – Италия (максимальный уровень индекса 0,935), Франция (0,907), Россия (0,870), средними – Великобритания (0,759), США (0,745), Германия (0,732) и низкими – Швеция (0,407) и Беларусь (0,194).

С учетом того, что даже в Китае были введены далеко не все ограничения (максимальный индекс изоляции составлял 0,819, правда введенные соблюдались неукоснительно), а в других азиатских странах значения были еще ниже (Гонконг – 0,667, Япония – 0,472), вероятно более важным фактором являются именно базовые меры – ограничения на проведение массовых мероприятий, масочный режим в общественных местах, перевод многих сервисов в онлайн и т.д. – и их всеобщее безусловное выполнение. В то же время многие ограничения, принятые, в том числе, в Москве – запреты на одиночные прогулки в парках, пропускной режим и т.д. – не приводят к уменьшению масштабов эпидемии.

Перейдем к прогнозированию. Продемонстрируем среднесрочный прогноз для каждой из стран на основе базовой модели (1) с дамми-переменной для карантинных мер и лагом в 5 дней. Именно этот прогноз был представлен 1 апреля. Некоторые его результаты (прогнозы на 15 апреля, 1 мая, 15 мая, 1 июня) представим в табл.7

Таблица 7

Прогноз числа зараженных на указанную дату в модели (1), чел.

Дата	США	Италия	Испания	Франция	Германия	Россия
15 апреля	695 863	174 274	179 861	126 103	181 223	22 874
1 мая	1 096 024	217 809	224 934	184 489	262 127	98 438
15 мая	1 299 450	240 786	246 820	216 504	304 735	190 509
1 июня	1 445 955	258 072	262 629	240 651	336 261	283 079

Источник: составлено автором



Поскольку с момента прогноза прошло уже 2 месяца, можно оценить его точность. В табл. 8 продемонстрируем процентное отклонение реальных значений от прогноза на указанные даты.

Таблица 8

**Отклонение реального числа зараженных от прогноза в модели (1), %**

Дата	США	Италия	Испания	Франция	Германия	Россия
15 апреля	-5,9	-5,2	0,4	-15,8	-25,6	7,1
1 мая	3,5	-4,8	8,0	-29,4	-37,4	16,2
15 мая	14,8	-7,0	11,2	-34,4	-42,3	38,0
1 июня	29,6	-9,6	9,2	-36,8	-45,4	46,6

Источник: составлено автором

Если бы на момент создания прогноза у автора был в наличии индекс изоляции, можно было бы немного подкорректировать модель (1). С учетом замены дамми-переменной  $q_t$  карантинных мер на индекс изоляции  $\tilde{q}_t$  модель принимает вид:

$$\ln \tilde{y}_t = -1,411 - 0,0285t - 0,0005x_t + 0,585m_t + 0,021\tilde{q}_{t-5} + \quad (2)$$

$$+ 0,375z_t^{(1)} + 0,207z_t^{(2)} + 0,512z_t^{(3)} + 0,102z_t^{(4)} + 0,231z_t^{(5)} + \varepsilon_t.$$

В то же время значительного различия между моделями (1) и (2) не наблюдается. В частности, прирост числа зараженных ежедневно сокращается не на 2,56%, а на 2,85%. Есть и другие небольшие количественные отличия. Как демонстрирует табл.9, для одних стран прогноз становится чуть лучше, для других, напротив, незначительно ухудшается.

Таблица 9

**Отклонение реального числа зараженных от прогноза в модели (2), %**

Дата	США	Италия	Испания	Франция	Германия	Россия
15 апреля	-5,9	-3,7	0,4	-15,3	-25,2	2,7
1 мая	4,5	-2,3	8,5	-28,3	-36,5	14,8
15 мая	16,7	-4,0	12,1	-32,9	-41,1	40,8
1 июня	32,5	-6,1	10,6	-34,8	-43,8	53,3

Источник: составлено автором

При этом, если апрельский прогноз можно считать приемлемым, то в майском, а тем более в более долгосрочном прогнозе обнаруживаются значительные систематические смещения. В Германии и отчасти во Франции эпидемия стала близиться к завершению быстрее, чем это виделось в марте. В то же время в США и особенно в России уход с траектории экспоненциального роста происходит медленнее ожидаемого.

В частности, на начало эпидемии в России были самые низкие темпы роста, однако в середине мая страна по числу выявленных случаев вышла на первое место в Европе, опередив Италию и Испанию. Более того, рост хоть и

замедлился (и практически превратился в линейный), но все-таки продолжается, и к настоящему времени отставание от большинства европейских государств по тенденциям составляет не 2–3 недели, а более 1,5 месяцев.

Полуторамиллионные прогнозные цифры по США на июнь, в марте казавшие существенно завышенными, в реальности были перекрыты. По этой же траектории идет Бразилия, в конце мая вышедшая на второе место в мире, и еще несколько стран.

По какому признаку можно кластеризовать страны с более быстрым и более медленным выходом из пандемии? В качестве гипотезы можно предложить размер страны. Этому есть содержательное объяснение. Большие страны очень неоднородны, поэтому в то время как в одних частях (например, в столице или нескольких крупнейших мегаполисах) уже произошел выход на плато, в других частях вспышка заболеваемости только начинается. Напротив, на начальном этапе число заболевших оказывается заниженным, поскольку эпидемия еще не затронула значительную часть территории страны. Усугубляют ситуацию типично открытые границы между регионами с разными уровнями заболеваемости.

В итоге оказывается, что размер имеет значение, и в больших странах уменьшение прироста числа зараженных оказывается более медленным. Это можно, например, смоделировать делением коэффициента при  $t$  на площадь страны в некоторой небольшой степени  $\alpha$ .

Если задать параметр  $\alpha$  равным 0,1 (это означает, что в 10 раз большая страна будет характеризоваться на 20% более медленным снижением темпа прироста числа зараженных:  $0,1^{0,1} \approx 0,7943$ ), то модифицированная спецификация модели будет выглядеть следующим образом:

$$\ln \tilde{y}_t = -1,411 - 0,0285 S_i^{-0,1} t - 0,0004 x_t + 0,596 m_t - 0,011 \tilde{q}_{t-5} + \quad (3)$$

$$+ 0,315 z_t^{(1)} + 0,263 z_t^{(2)} + 0,520 z_t^{(3)} + 0,130 z_t^{(4)} + 0,270 z_t^{(5)} + \varepsilon_t.$$

Здесь  $S_i$  – площадь  $i$ -страны.

Варьируя значение параметра  $\alpha$ , можно в некоторой степени усилить или ослабить влияние размера страны. При  $\alpha = 0$  мы получим исходную модель (2). Если же  $\alpha = 0,2$ , модель спрогнозирует большие цифры по числу зараженных в России и США, а также ускорит завершение эпидемии в Германии. Прогноз для  $\alpha = 0,1$  и отклонение от него представлены в табл. 10 и 11.

Таблица 10

Прогноз числа зараженных на указанную дату в модели (3) с  $\alpha = 0,1$ , чел.

Дата	США	Италия	Испания	Франция	Германия	Россия
15 апреля	787 348	170 778	184 247	125 692	178 494	27 429
1 мая	1 290 333	210 693	231 092	183 196	256 129	140 515
15 мая	1 550 012	230 700	252 931	213 884	295 553	285 423
1 июня	1 740 681	244 800	267 925	236 126	323 208	426 674

Источник: составлено автором

Таблица 11

**Отклонение реального числа зараженных от прогноза в модели (3), %**

Дата	США	Италия	Испания	Франция	Германия	Россия
15 апреля	-16,8	-3,3	-1,9	-15,5	-24,5	-10,7
1 мая	-12,1	-1,5	5,1	-28,9	-35,9	-18,6
15 мая	-3,7	-3,0	8,5	-33,6	-40,6	-7,9
1 июня	7,7	-4,7	7,0	-35,6	-43,1	-2,8

Источник: составлено автором

Также эти данные для большей наглядности представим на графиках (см. рис.).

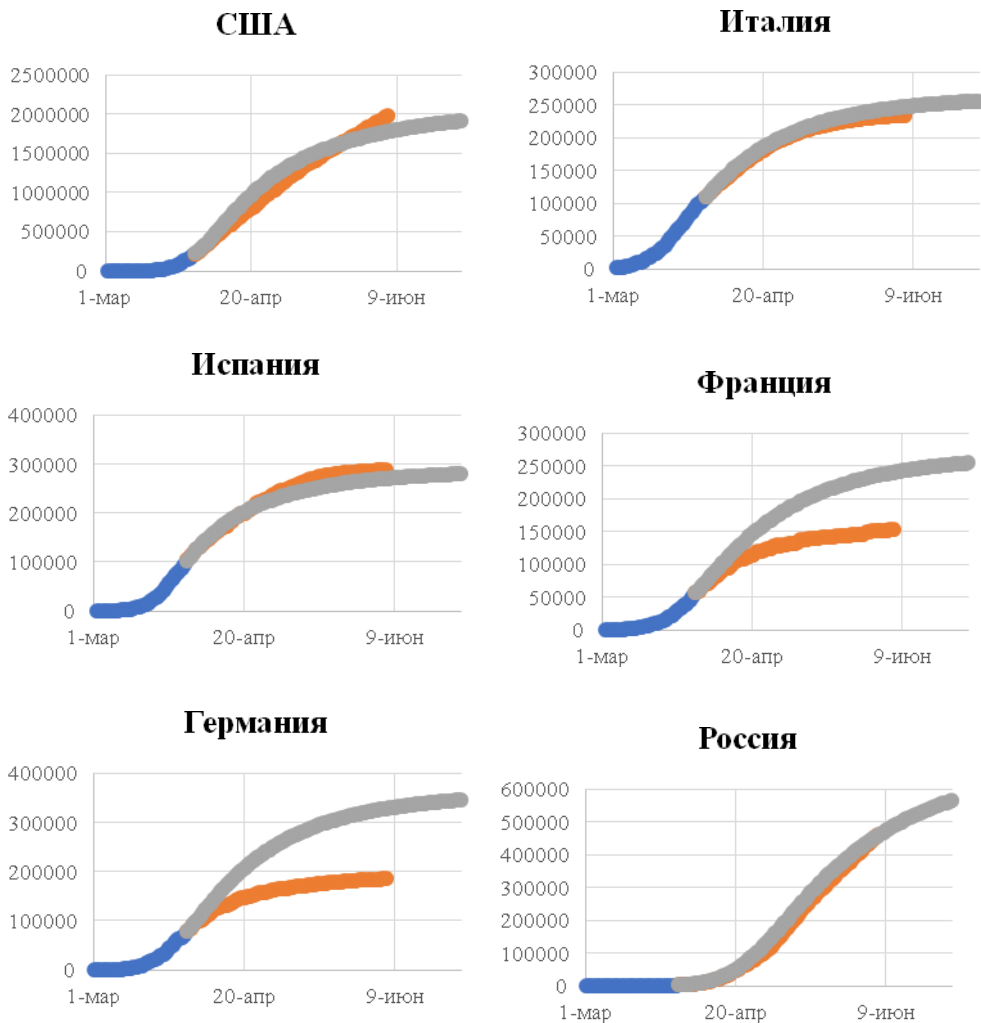


Рис. Прогнозы и их сопоставление с реальными данными по странам

Примечание: ● – данные; ● – реальность; ● – прогноз

Источник: составлено автором

В целом графики демонстрируют достаточно высокую точность для прогноза на основе мартовских данных. Достаточно сказать, что на 31 марта в США было в 10, а в России в 200 раз меньше выявленных случаев заражения, чем на начало июня.

Чуть менее точным оказались прогнозы для Германии и Франции – двух стран, которые на конец марта предполагались в качестве следующих после Италии и Испании лидеров по числу зараженных, однако по официальной статистике на начало июня находятся соответственно на 9 и 12 местах. Процесс выхода на плато в них произошел существенно быстрее и на более низком уровне, чем это было спрогнозировано.

Правда, следует отметить, что во Франции есть существенная проблема с данными и их многочисленными корректировками. Например, еще несколько дней назад число зараженных на середину мая превышало 180 тыс. чел., что куда лучше согласовалось с прогнозом, чем нынешние значения, оказавшиеся на четверть ниже. При этом текущая статистика также не является окончательной, поскольку в ней присутствуют такие артефакты, как невозможное в реальности снижение кумулятивного числа выявленных зараженных 29 апреля и 2 июня, а также маловероятные резкие скачки уровней ряда. Кроме того, если нынешняя методика отслеживания зараженных признана более правильной, скорее всего мартовские данные также должны быть ретроспективно подкорректированы, что изменит и прогноз.

В отличие от 4 европейских стран, где модель очень точно выявила форму кривой (а для Италии и Испании еще и количество), в США и России реализовался иной сценарий. Экспоненциальный тренд сменился линейным (что означает выход на плато – число новых заболевших совпадает с числом выздоровевших), однако дальнейшего прогресса не наблюдается уже в течение месяца. Среди прочего это означает существенную задержку в выходе из эпидемии по сравнению с Европейскими странами и необходимость существенных мер поддержки экономики.

Действительно, глубина возникающих проблем и скорость восстановления экономики зависят от длительности эпидемии и действий государства. Если ограничительные меры продолжаются 1–2 месяца или государство посредством фискальной и монетарной политики не допускает раскручивания нисходящей спирали, кризис может иметь V-образную форму с достаточно быстрым восстановлением после отмены ограничений. Иначе, особенно если кризис вызовет существенные проблемы в банковском секторе, он может принять L-образную форму и превратиться в затяжную депрессию.

Осложняет ситуацию то, издержки ограничений, введенных государством в период пандемии, распределены крайне неравномерно, а среди наиболее пострадавших компаний очень высока доля фирм малого и среднего бизнеса, как правило не входящих в списки системообразующих производств и одновременно не имеющих финансовой подушки, что означает высокую вероятность их банкротства при длительной (даже на 3–4 месяца) остановке деятельности.

С другой стороны, преимуществом России по сравнению с другими странами является наличие резервов в объеме 12,9 трлн руб. (из них порядка 11 трлн руб. в ликвидных активах), позволяющих осуществить поддержку

населения и бизнеса даже без задействования механизма заимствований, а также низкий уровень внешнего (менее 5% ВВП) и внутреннего (менее 10% ВВП) долга. И даже резко упавшие в марте цены на нефть, благодаря успешной сделке России, ОПЕК и США, а также постепенному выходу из коронакризиса экономик Китая и Европы, уже восстановились до уровня 40 долл. США за баррель и продолжают расти.

Таким образом, сейчас особенно важны активные действия государства, включая выделение безусловных трансфертов (позволяющих выжить наиболее пострадавшим слоям населения и одновременно создающих потребительский спрос, не дающий кризису распространиться на не затронутые ограничениями отрасли), отмену (или, по крайней мере, снижение) налогов с компаний малого и среднего бизнеса при выполнении ряда условий, в первую очередь, сохранения занятости и выплаты зарплат (что расширяет круг тех, кто работает в кризис), осуществление мер, минимизирующих издержки компаний, вынужденных прекратить в кризис свою экономическую активность, для максимально быстрого и полного запуска производства по окончании ограничительных мер.

Возможно, представленный базовый набор мер неидеален в условиях наличия полной информации и достаточного времени на принятие решений. Одновременно он неполон. В частности, он не включает уже реализуемые меры, в т.ч. в сфере медицины, позволяющие расширить мощности системы здравоохранения, или касающиеся поддержки определенных отраслей, например, авиации или туризма. В то же время в реалистичной ситуации затягивающейся пандемии (что показало проведенное исследование), жесткого цейтнота и существующих неидеальных институтов, предложенные мероприятия, несмотря на их затратность, позволят ускоренно восстановить экономику и уже к концу 2020 года приблизиться к докризисным помесечным уровням производства, избежав банкротства значительной доли бизнеса, что грозит куда большими расходами со стороны государства.

#### *Список источников / References*

1. Brauer F. Compartmental models in epidemiology. *Mathematical epidemiology*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, pp. 19–79.
2. Kermack W., McKendrick A. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the royal society of London. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character*, 1927, vol. 115, no. 772, pp. 700–721.
3. Романюха А.А. Математические модели в иммунологии и эпидемиологии инфекционных заболеваний. Москва, Бином, 2012. 296 с. [Romanyuxa A.A. Matematicheskie modeli v immunologii i e`pidemiologii infekcionny`x zabolevanij [Mathematical models in immunology and epidemiology of infectious diseases]. Moscow, Binom Publ., 2012. 296 p.]
4. Ениколопов Р. и др. Экономическая политика во времена COVID-19. – Москва, РЭШ, 2020. 63 с. [Enikolopov R. i dr. E`konomicheskaya politika vo vremena COVID-19 [Economic policy in the days of COVID-19]. Moscow, RES Publ., 2020. 63 p.]
5. Available at: <https://www.worldometers.info/coronavirus>

6. Available at: <https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker>

#### **Сведения об авторе / About author**

**Филатов Александр Юрьевич**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент Департамента экономических наук, научный руководитель Научно-исследовательской лаборатории моделирования социально-экономических процессов, Школа экономики и менеджмента, Дальневосточный федеральный университет. 690922 Россия, г. Владивосток, о-в Русский, кампус ДВФУ, корпус G, каб. G335. *E-mail: [filatov.aiu@dvfu.ru](mailto:filatov.aiu@dvfu.ru)*

Aleksander Yu. Filatov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, the Department of Economic Sciences, Scientific Director, the Research Laboratory of Modeling Socio-Economic Processes, School of Economics and Management, Far Eastern Federal University. Office G335, building G, FEFU campus, Russky Island, Vladivostok, Russia 690922.

*E-mail: [filatov.aiu@dvfu.ru](mailto:filatov.aiu@dvfu.ru)*