

УДК: 519.8

## Моделирование динамики общественного внимания к протяженным процессам на примере пандемии COVID-19

А. П. Петров<sup>1,a</sup>, О. Г. Подлипская<sup>1,2,b</sup>, Г. Б. Прончев<sup>1,3,c</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН,  
Россия, 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),  
Россия, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

<sup>3</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова,  
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 33

E-mail: <sup>a</sup> petrov.alexander.p@yandex.ru, <sup>b</sup> podlipskaya.og@phystech.edu, <sup>c</sup> pronchev@rambler.ru

*Получено 12.07.2022, после доработки — 01.08.2022.*

*Принято к публикации 11.08.2022.*

Изучается динамика общественного внимания к эпидемии COVID-19 в ряде стран. При этом в качестве индикатора общественного внимания взято количество поисковых запросов в Google, сделанных в течение суток пользователями из данной страны. В эмпирической части работы рассмотрены данные относительно количества запросов и количества новых заболевших для ряда стран. Показано, что во всех рассмотренных странах максимум общественного внимания наступил ранее максимума количества новых зараженных за день. Тем самым обнаружено, что в течение некоторого периода времени рост эпидемии происходит параллельно со спадом общественного внимания к ней. Также показано, что спад количества запросов описывается экспоненциальной функцией времени. Для того чтобы описать выявленную эмпирическую зависимость, предложена математическая модель, представляющая собой модификацию модели спада внимания после одноразового политического события. Модель развивает подход, рассматривающий принятие решения индивидом как членом социума, в котором происходит информационный процесс. В рамках этого подхода предполагается, что решение индивида о том, делать ли в данный день поисковый запрос на тему COVID, формируется на основании двух факторов. Один из них — это установка, отражающая долгосрочную заинтересованность индивида в данной теме и аккумулирующая предыдущий опыт индивида, его культурные предпочтения, социальное и экономическое положение. Второй — динамический фактор общественного внимания к данному процессу — изменяется в течение рассматриваемого процесса под влиянием информационных стимулов. Применительно к рассматриваемой тематике информационные стимулы связаны с эпидемической динамикой. Поведенческая гипотеза состоит в том, что если в некоторый день сумма установки и динамического фактора превышает некоторую пороговую величину, то в этот день индивид делает поисковый запрос на тему COVID. Общая логика состоит в том, что чем выше скорость роста числа заболевших, тем выше информационный стимул, тем медленнее убывает общественное внимание к пандемии. Таким образом, построенная модель позволила соотнести скорость экспоненциального убывания количества запросов со скоростью роста количества заболевших. Обнаруженная с помощью модели закономерность проверена на эмпирических данных. Получено, что статистика Стьюдента равна 4,56, что позволяет отклонить гипотезу об отсутствии корреляционной связи с уровнем значимости 0,01.

**Ключевые слова:** общественное внимание, COVID-19, инфодемия, математическая модель, количество поисковых запросов

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 20-01-00229).

UDC: 519.8

## Modeling the dynamics of public attention to extended processes on the example of the COVID-19 pandemic

A. P. Petrov<sup>1,a</sup>, O. G. Podlipskaia<sup>1,2,b</sup>, G. B. Pronchev<sup>1,3,c</sup>

<sup>1</sup>Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS,  
4 Miusskaya sq., Moscow, 125047, Russia

<sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University),  
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University,  
1/33 Leninskiye Gory, Moscow, 119234, Russia

E-mail: <sup>a</sup> petrov.alexander.p@yandex.ru, <sup>b</sup> podlipskaya.og@phystech.edu, <sup>c</sup> pronchev@rambler.ru

Received 12.07.2022, after completion — 01.08.2022.

Accepted for publication 11.08.2022.

The dynamics of public attention to COVID-19 epidemic is studied. The level of public attention is described by the daily number of search requests in Google made by users from a given country. In the empirical part of the work, data on the number of requests and the number of infected cases for a number of countries are considered. It is shown that in all cases the maximum of public attention occurs earlier than the maximum daily number of newly infected individuals. Thus, for a certain period of time, the growth of the epidemics occurs in parallel with the decline in public attention to it. It is also shown that the decline in the number of requests is described by an exponential function of time. In order to describe the revealed empirical pattern, a mathematical model is proposed, which is a modification of the model of the decline in attention after a one-time political event. The model develops the approach that considers decision-making by an individual as a member of the society in which the information process takes place. This approach assumes that an individual's decision about whether or not to make a request on a given day about COVID is based on two factors. One of them is an attitude that reflects the individual's long-term interest in a given topic and accumulates the individual's previous experience, cultural preferences, social and economic status. The second is the dynamic factor of public attention to the epidemic, which changes during the process under consideration under the influence of informational stimuli. With regard to the subject under consideration, information stimuli are related to epidemic dynamics. The behavioral hypothesis is that if on some day the sum of the attitude and the dynamic factor exceeds a certain threshold value, then on that day the individual in question makes a search request on the topic of COVID. The general logic is that the higher the rate of infection growth, the higher the information stimulus, the slower decreases public attention to the pandemic. Thus, the constructed model made it possible to correlate the rate of exponential decrease in the number of requests with the rate of growth in the number of cases. The regularity found with the help of the model was tested on empirical data. It was found that the Student's statistic is 4.56, which allows us to reject the hypothesis of the absence of a correlation with a significance level of 0.01.

Keywords: public attention, COVID-19, infodemic, mathematical model, number of search requests

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 1131–1141 (Russian).

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-01-00229).

## Введение

Текущая пандемия COVID-19 привлекла широкое внимание исследователей и практиков не только как процесс распространения заболевания, но также как процесс распространения информации, включая ложную (см., например, [Zarocostas, 2020; Rovetta, Bhagavathula, 2020; Pennusook et al., 2020]). При этом скорость распространения информации зависит от уровня общественного внимания к данной тематике, что определяет актуальность изучения динамики общественного внимания к протяженным процессам, в частности к данной пандемии.

В качестве эмпирического численного показателя общественного внимания в данной работе принимается нормализованное количество поисковых запросов в Google, сделанных на данную тему в данный день пользователями из данной страны. Заметим, что использование поисковых запросов стало в последние годы распространенным инструментом анализа общественного мнения и общественного внимания [Boldyreva et al., 2016a; Boldyreva et al., 2016b]. В статьях рассматриваются как вопросы развития методики, так и конкретные социологические приложения. Математическому моделированию и эмпирическому исследованию динамики мнений и информационного влияния посвящена обширная литература — см., например, монографию [Chkhartishvili, Gubanov, Novikov, 2019] и статьи [Gubanov, Petrov, 2019; Chkhartishvili et al., 2019; Kozitsin et al., 2019]. В работах [Kozitsin et al., 2019; Akhtyamova, Alexandrov, Cardiff, 2020] методы интернет-социологии и анализа текстов применяются к исследованию проблем здравоохранения.

При наличии конкурирующих мнений по обсуждаемому вопросу в социуме возникает информационное противоборство. Соответствующие модели [Михайлов, Маревцева, 2011; Михайлов, Петров, Прончева, 2018], основанные на модели распространения информации в социуме [Самарский, Михайлов, 1997], учитывают, что противоборствующие стороны распространяют свою пропаганду через аффилированные СМИ, а сторонники проводят агитацию, передавая полученную информацию другим индивидам при межличностной коммуникации. Заметим, что наиболее употребительный контекст, в котором рассматривается динамика общественного внимания к различным темам, — это информационное противоборство в ходе предвыборной борьбы [Neuman et al., 2014].

Настоящая статья распространяет подход, предложенный в работе [Михайлов и др., 2018] для моделирования динамики спада общественного внимания к одноразовому событию, на протяженные во времени процессы. Данный подход опирается на нейробиологическую модель индивида как члена социума, в котором происходит информационное противоборство [Petrov, Proncheva, 2019; Петров, Прончева, 2019].

## Эмпирические данные и конкретизация проблемы

В качестве исходных эмпирических данных нами рассмотрены данные по количеству новых выявленных больных COVID-19<sup>1</sup> и количеству запросов, сделанных в Google по теме «Коронавирус» в ежедневном разрезе для 13 стран: Аргентина, Австралия, Бразилия, Франция, Германия, Россия, Испания, Швеция, Великобритания, Китай, США, Италия, Иран.

Дни нумеровались с начала 2020 года; например, 1 января имеет номер 1, а 1 марта — номер 61. Для каждого дня и каждой перечисленной страны рассматривались две переменные: объявленное количество новых зараженных и нормализованное количество запросов по теме «Коронавирус», сделанных в поисковой системе Google пользователями из данной страны. Нормализация проводится самой поисковой системой: а именно, максимальное количество запросов

<sup>1</sup> База данных Our World in Data: <https://ourworldindata.org/coronavirus>. Дата доступа 06.06.2020.

(сделанных из данной страны) принимается за 100. Это нормализованное количество запросов принято в качестве меры общественного внимания к теме коронавируса.

На первом этапе анализа данных обнаружено, что максимальное количество запросов происходит раньше, чем максимальное количество заражений. Эта закономерность проиллюстрирована на рис. 1 для случаев России и Франции. Тонкая кривая соответствует уровню общественного внимания (для данных графиков ренормализованного так, что для каждой страны максимальное количество запросов за один день принимается за уровень, равный 10 тыс.). Толстая кривая — численность новых выявленных зараженных за день. По оси абсцисс на рис. 1 отложен номер дня в году: например, для России максимум общественного внимания приходится на  $t = 91$  (31 марта), а максимум новых выявленных зараженных — на  $t = 133$  (12 мая).

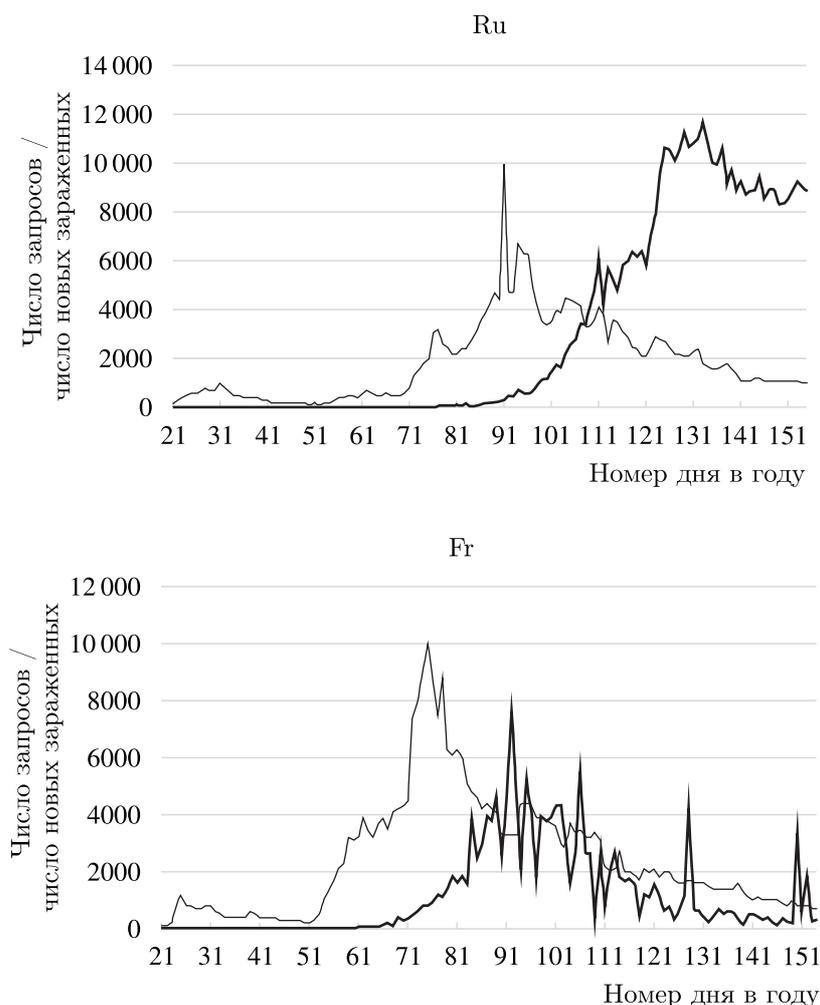


Рис. 1. Тонкая линия — общественное внимание, толстая линия — количество новых зараженных для России (слева) и Франции (справа). Пояснения — в тексте

Данные для других стран выборки также свидетельствуют, что максимум общественного внимания приходится на период, когда рост численности зараженных еще довольно мал. Тем самым спад общественного внимания к теме коронавируса начинается в тот период, когда численность новых зараженных продолжает возрастать. Именно этот период рассматривается в настоящей работе.

Показатели, сведенные в таблицу 1, показывают, что в каждой из стран ежедневное количество поисковых запросов в течение продолжительного времени после максимума описывает-

ся экспоненциальной зависимостью. Начало временного интервала, для которого подтвержден экспоненциальный характер убывания, определялось как день максимума количества запросов в данной стране. Последний день интервала — 3 или 4 июня 2020 года: день, в который собирались данные. Таким образом, продолжительность подтвержденного экспоненциального периода является различной для разных стран; она указана в третьем столбце таблицы 1. В уравнениях вида  $y = -0,023t + 4,453$  (см. второй столбец):  $t$  — номер дня после максимума количества запросов;  $y = \ln N$ , где  $N$  — нормированное на 100 количество запросов. Уравнения получены методом парной регрессии. Высокие значения коэффициента детерминации свидетельствуют о том, что для всех стран, кроме Китая, представление об экспоненциальном характере убывания к процессу пандемии является обоснованным. Это положение иллюстрируется представленными на рис. 2 зависимостями  $\ln N$  от времени для России и Франции.

Таблица 1. Характеристики экспоненциального периода убывания общественного внимания (пояснения — в тексте)

Страна	Аппроксимация 2	Продолжительность	$R^2$
Аргентина	$y = -0,023t + 4,453$	80	0,887
Австралия	$y = -0,033t + 4,412$	73	0,966
Бразилия	$y = -0,024t + 4,280$	74	0,877
Франция	$y = -0,028t + 4,255$	80	0,958
Германия	$y = -0,030t + 3,894$	74	0,900
Россия	$y = -0,029t + 4,255$	64	0,927
Испания	$y = -0,025t + 4,286$	83	0,950
Швеция	$y = -0,033t + 4,254$	83	0,854
Великобритания	$y = -0,025t + 4,362$	79	0,954
Китай	$y = -0,017t + 3,847$	130	0,654
США	$y = -0,032t + 4,604$	83	0,976
Италия	$y = -0,021t + 4,372$	101	0,917
Иран	$y = -0,026t + 4,247$	104	0,947

Отметим содержательное отличие данного результата от изученного в работе [Михайлов и др., 2018] процесса спада общественного внимания к прошедшему одноразовому событию, который описывается не экспоненциальной, а двойной экспоненциальной зависимостью от времени (подробнее см. в § 5).

Данные о количестве запросов, сделанных из Китая, содержат аномалию: убывание общественного интереса содержит две выраженные волны (рис. 3). Оставляя за рамками настоящей работы причину этого явления, мы исключили Китай из дальнейшего анализа.

Также из дальнейшего анализа были исключены США, Италия и Иран, поскольку в этих странах имело место гораздо более интенсивное (по сравнению с другими странами, в том числе не вошедшими в выборку) развитие эпидемии. В этом нетрудно убедиться, если рассмотреть динамику численности новых выявленных за день случаев заражения. Рост этой переменной за 20 дней после максимума общественного внимания в странах, оставленных для последующего анализа (в табл. 1: до Великобритании включительно), варьировался от 5,5 (Германия) до 30,1 (Великобритания). Этот диапазон является в целом типичным для большинства стран мира. В то же время в США эта переменная выросла в 144 раза, в Италии — в 223, в Иране — в 4021.

Таким образом, дальнейший анализ проводится для выборки из 9 стран. Его цель состоит в построении математической модели, описывающей динамику общественного внимания в период, когда снижение этого внимания происходит параллельно с ростом численности новых выявленных за день случаев заражения. Для сопоставимости данных по различным странам принят единый период длиной в 20 дней.

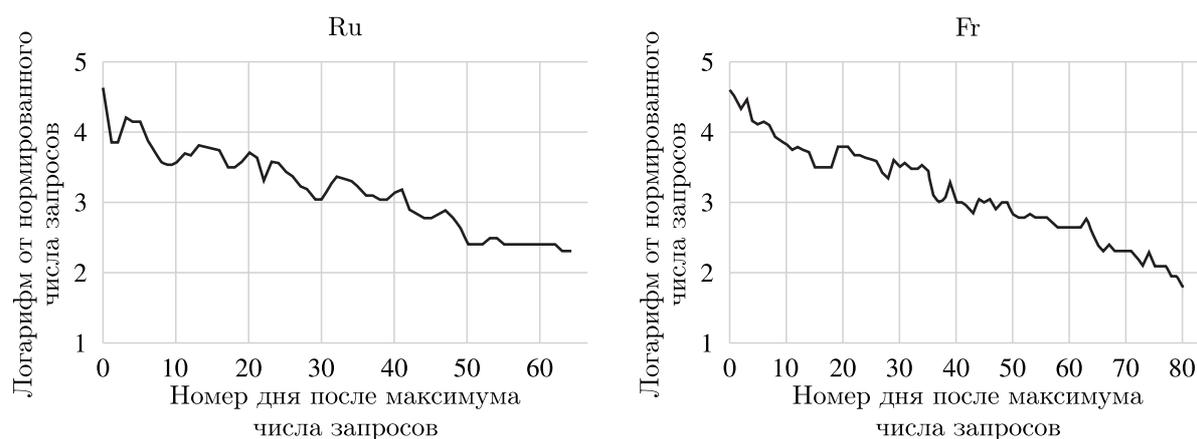


Рис. 2. Убывание общественного внимания в России (слева) и Франции (справа). Абсцисса: номер дня после максимума количества запросов; ордината — логарифм количества запросов, нормированного на 100

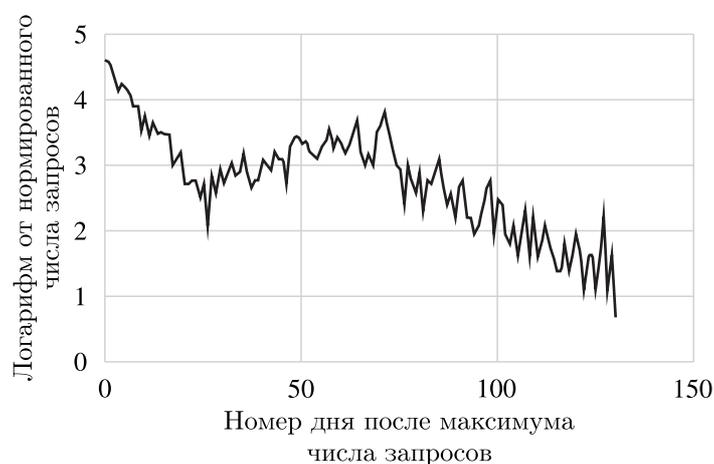


Рис. 3. Убывание общественного внимания в Китае. Абсцисса: номер дня после максимума количества запросов; ордината — логарифм количества запросов, нормированного на 100

## Модель

В работе [Михайлов и др., 2018] нами была предложена модель, описывающая спад общественного внимания после разового политического события (такого, как референдум или попытка государственного переворота).

Отличие настоящей работы состоит в том, что рассматривается процесс спада общественного внимания в течение протяженного во времени процесса (а не после совершившегося события, как в [Михайлов и др., 2018]). Таким образом, информационный поток порождает непрерывный и протяженный во времени стимул, поддерживающий интерес период спада общественного внимания.

Основные положения модели можно описать следующим образом. В соответствии с принятым подходом [Михайлов и др., 2018] реакция индивида (либо сделать, либо не сделать поисковый запрос на тему COVID в данный день) формируется на основании двух факторов. Один из них — это установка  $\varphi \geq 0$ , отражающая долгосрочную заинтересованность индивида в данной теме:  $\varphi = 0$  соответствует отсутствию интереса. Она аккумулирует предыдущий опыт индивида, его социальное и экономическое положение, культурные предпочтения и т. д. Второй — динамический фактор  $\psi(t)$  общественного внимания к данному процессу — изменяется в течение

рассматриваемого процесса под влиянием информационных стимулов (применительно к рассматриваемой тематике информационные стимулы связаны с эпидемической динамикой).

Поведенческая гипотеза имеет следующий вид: если в день  $t$  сумма установки и динамического фактора превышает некоторую пороговую величину  $h$ , т. е.  $\varphi + \psi(t) > h$ , то в этот день индивид делает поисковый запрос на данную тему.

Распределение индивидов  $N(\varphi)$  по установке является убывающей функцией (количество сильно заинтересованных индивидов мало в сравнении с количеством слабо заинтересованных). Более конкретно: вслед за работой [Михайлов и др., 2018] примем

$$N(\varphi) = N_0 e^{-\varphi}. \tag{1}$$

Здесь через  $N_0$  обозначено общее количество индивидов, которые при определенном внешнем стимуле готовы сделать данный поисковый запрос.

Численность  $k(t)$  индивидов, делающих поисковый запрос в день  $t$ , в соответствии со сформулированной выше поведенческой гипотезой имеет вид

$$k(t) = \int_{h-\psi(t)}^{\infty} N(\varphi) d\varphi. \tag{2}$$

Подставляя (1) в (2), получаем

$$k(t) = N_0 \int_{h-\psi(t)}^{\infty} e^{-\varphi} d\varphi = -N_0 e^{-\varphi} \Big|_{h-\psi(t)}^{\infty} = N_0 e^{h-\psi(t)}. \tag{3}$$

Динамический фактор  $\psi(t)$  удовлетворяет уравнению вида

$$\frac{d\psi}{dt} = S(t) - \gamma\psi. \tag{4}$$

Здесь член  $S(t)$  описывает совокупность информационных стимулов, поступающих индивиду из внешней среды, а параметр  $\gamma$  описывает постепенное затухание фактора при их отсутствии (см. подробнее в [Petrov, Proncheva, 2019; Петров, Прончева, 2019; Rashevsky, 1949]).

При моделировании спада внимания после одноразового политического события в работе [Михайлов и др., 2018] положено  $S(t) = 0$  при  $t > 0$ , что отражает положение о том, что информационный поток после события имеет существенно меньшее значение, чем объявление основной информации. Например, публикации с обсуждением итогов Брексита имеют меньшее информационное значение, чем объявление итогов референдума.

В противоположность этому при протяженном процессе информационный поток является существенным даже после максимума общественного внимания, т. е.  $S(t) > 0$  при  $t > 0$ .

Чтобы определить функциональную форму функции  $S(t)$ , учтем выявленную в § 2 эмпирическую зависимость: убывание величины  $k(t)$  носит экспоненциальный характер, т. е.  $k(t) = e^{-\alpha t}$ , где параметр  $\alpha$  характеризует ту или иную страну. С учетом (3) имеем  $h - \psi(t) = \alpha t$ , откуда

$$\psi(t) = h - \alpha t.$$

Подставляя данное выражение в уравнение (4), получаем

$$S(t) = -\alpha\gamma t - \alpha + \gamma h.$$

Таким образом, положив, что после максимума общественного внимания информационный стимул линейно убывает с течением времени, получаем искомую эмпирическую зависимость, а именно: численность запросов экспоненциально убывает с течением времени.

Следующий раздел посвящен определению связи между скоростью этого убывания и таким эпидемическим показателем, как численность новых зараженных индивидов, выявленных за день.

## Скорость убывания общественного внимания

Для девяти стран, оставшихся в выборке после исключения Китая, США, Италии и Ирана, сопоставим скорость экспоненциального убывания  $\alpha$  (т. е. модуль коэффициента при  $t$  во втором столбце таблицы 1) и рост сглаженного суточного количества выявленных заражений, произошедший за 20 дней после даты максимума общественного внимания. Процедура сглаживания проводилась путем усреднения показателя за 5 дней. Например, для России максимум общественного внимания пришелся на 31 марта. Соответственно, рост определялся как отношение среднего арифметического от значений за период 18–22 апреля к среднему за период с 29 марта по 2 апреля. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 4 (для удобства величина  $|\alpha|$  умножена на 1000). Коэффициент корреляции имеет значение 0,865, статистика Стьюдента: 4,56, что позволяет отклонить гипотезу об отсутствии корреляционной связи с уровнем значимости 0,01.

Таблица 2. Характеристики экспоненциального периода убывания общественного внимания (пояснения — в тексте)

Страна	Рост (во сколько раз)	$1000 \alpha $
Аргентина	28,4	23,2
Австралия	5,0	32,9
Бразилия	19,0	23,8
Франция	13,8	28,1
Германия	5,4	30
Россия	21,7	27,8
Испания	23,6	25
Швеция	9,3	32,8
Великобритания	31,7	24,6

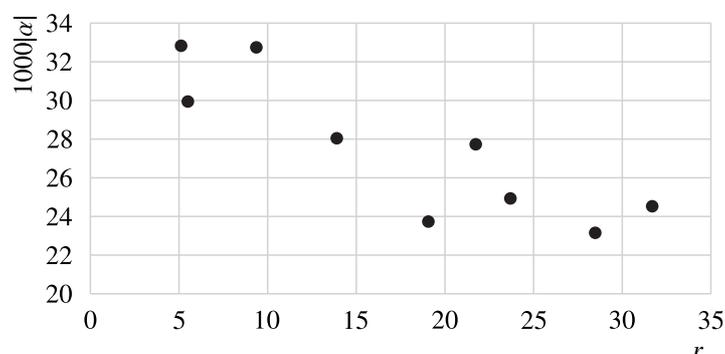


Рис. 4. Диаграмма по данным таблицы 2:  $r$  — отношение среднего арифметического от значений числа запросов за период 18–22 апреля к среднему за период с 29 марта по 2 апреля;  $\alpha$  — модуль коэффициента при  $t$  во втором столбце таблицы 1. Регрессионное уравнение имеет вид  $1000|\alpha| = 0,33r + 33,37$ ;  $R^2 = 0,75$

## Заключение

В связи с полученными результатами отметим три основных момента.

1. Максимум общественного внимания достигается раньше, чем максимальное количество новых заражений COVID-19 за день. Таким образом, в течение некоторого периода времени происходит спад общественно внимания при увеличении ежедневного количества новых зараженных.

2. Показано, что в течение этого периода скорость убывания общественного внимания коррелирует с таким эпидемическим показателем, как количество выявленных за день новых случаев заражения. Более конкретно: скорость экспоненциального убывания общественного внимания имеет отрицательную корреляцию с тем, во сколько раз выросло ежедневное количество новых зараженных. Чем быстрее разрастается эпидемия, тем медленнее падает общественное внимание к ней после своего максимума.
3. Спад общественного внимания после достижения максимума является в данном случае экспоненциальным. Это контрастирует с двойной экспоненциальной зависимостью вида  $k(t) = \exp[\alpha + \beta \exp(-\gamma t)]$ , выявленной для одноразовых политических событий в работе [Михайлов и др., 2018]. Например, было получено, что для спада российского общественного внимания к британскому референдуму о выходе из ЕС (Брекзиту) параметры имеют вид  $\alpha = 3,94$ ,  $\beta = 2,91$ ,  $\gamma = 0,19$ .

Различие в функциональной спецификации (двойная экспонента против простой экспоненты) возникает ввиду различия между рассматриваемыми процессами. Одноразовые события (референдумы, выборы, успешные либо неудачные попытки государственного переворота) характеризуются тем, что объявление решающей информации (например, итогов референдума) вместе с немедленными комментариями представляет собой существенно более высокий стимул для интереса, чем обсуждения и комментарии экспертов в последующие дни. Поэтому в день объявления результатов происходит резкий всплеск количества запросов на тему события, после чего наступает резкий спад, описываемый двойной экспонентой.

В противоположность этому при протяженном процессе максимум общественного внимания не увязан с объявлением особо важной информации, концентрирующей внимание. Поэтому спад после максимума происходит более постепенно и описывается экспоненциальной функцией времени.

В терминах модели при  $t > 0$  в случае одноразового политического события имеем  $S(t) = 0$ , в случае протяженного процесса —  $S(t) > 0$ .

При том что информационные процессы, связанные с пандемией, представляют самостоятельный интерес, представляется, что полученные результаты имеют более широкое значение. В частности, изучение общественного мнения и общественного внимания играет большую роль в политологических исследованиях.

В работе [Михайлов и др., 2018] изучался спад общественного внимания к прошедшему разовому событию, такому как референдум или попытка государственного переворота. Однако многие политические процессы носят протяженный характер. Трудность изучения общественного внимания к ним связана с тем, что, как правило, в одной и той же социально-политической системе (стране или регионе) общественное внимание распределено на несколько тем. Например, общественное внимание к экономической реформе определяется не только внутренней динамикой самого этого процесса, но также и тем, какое внимание привлекают конкурирующие процессы. Так, общество может временно «забыть» об экономике на время футбольного чемпионата мира или военной кампании. В этом плане пандемия коронавируса (особенно на ее раннем этапе) предоставила исследователям уникальную возможность рассмотреть ситуацию, в которой одна тема является подавляюще доминирующей в информационной повестке почти всех стран мира. Полученные результаты открывают перспективу изучения общественного внимания к протекающим параллельно нескольким социально-политическим процессам.

## Список литературы (References)

Михайлов А. П., Маревцева Н. А. Модели информационной борьбы // Математическое моделирование. — 2011. — Т. 23, № 10. — С. 19–32.

- Mikhailov A. P., Marevtseva N. A.* Models of information struggle // *Math. Models Comput. Simul.* — 2012. — Vol. 4, No. 3. — P. 251–259. (Original Russian paper: *Mikhailov A. P., Marevtseva N. A.* Modeli informatsionnoi bor'by // *Matematicheskoe modelirovanie.* — 2011. — Vol. 23, No. 10. — P. 19–32.)
- Михайлов А. П., Петров А. П., Прончева О. Г.* Модель информационного противоборства в социуме с кусочно-постоянной функцией дестабилизирующего воздействия // *Математическое моделирование.* — 2018. — Т. 30, № 7. — С. 47–60.
- Mikhailov A. P., Petrov A. P., Proncheva O. G.* A Model of Information Warfare in a Society with a Piecewise Constant Function of the Destabilizing Impact // *Mathematical Models and Computer Simulations.* — 2019. — Vol. 11, No. 2. — P. 190–197. (Original Russian paper: *Mikhailov A. P., Petrov A. P., Proncheva O. G.* Model' informatsionnogo protivoborstva v sotsiume s kusochno-postoyannoii funktsiei destabiliziruyushchego vozdeistviya // *Matematicheskoe modelirovanie.* — 2018. — Vol. 30, No. 7. — P. 47–60.)
- Михайлов А. П., Петров А. П., Прончев Г. Б., Прончева О. Г.* Моделирование спада общественно-го внимания к прошедшему разовому политическому событию // *Доклады Академии наук.* — 2018. — Т. 480, № 4. — С. 397–400.
- Mikhailov A. P., Petrov A. P., Pronchev G. B., Proncheva O. G.* Modeling a Decrease in Public Attention to a Past One-Time Political Event // *Doklady Mathematics.* — 2018. — Vol. 97, No. 3. — P. 247–249. (Original Russian paper: *Mikhailov A. P., Petrov A. P., Pronchev G. B., Proncheva O. G.* Modelirovanie spada obshchestvennogo vnimaniya k proshedsheму razovomu politicheskomu sobytiyu // *Doklady Akademii nauk.* — 2018. — Vol. 480, No. 4. — P. 397–400.)
- Петров А. П., Прончева О. Г.* Моделирование выбора позиций индивидами при информационном противоборстве с двухкомпонентной повесткой // *Математическое моделирование.* — 2019. — Т. 31, № 7. — С. 91–108.
- Petrov A. P., Proncheva O. G.* Modeling position selection by individuals during informational warfare with a two-component agenda // *Mathematical Models and Computer Simulations.* — 2020. — Vol. 12, No. 2. — P. 154–163. (Original Russian paper: *Petrov A. P., Proncheva O. G.* Modelirovanie vybora pozitsii individami pri informatsionnom protivoborstve s dvukhkomponentnoi povestkoi // *Matematicheskoe modelirovanie.* — 2019. — Vol. 31, No. 7. — P. 91–108.)
- Самарский А. А., Михайлов А. П.* Математическое моделирование (идеи, методы, примеры). — 1997 (2-е изд.: 2002).
- Samarskii A. A., Mikhailov A. P.* Principles of mathematical modelling: ideas, methods, examples. — Taylor and Francis Group, 2001. (Russ. ed.: *Samarskii A. A., Mikhailov A. P.* Matematicheskoe modelirovanie (idei, metody, primery). — 1997 (2-e izd.: 2002).)
- Akhtyamova L., Alexandrov M., Cardiff J., Koshulko O.* Opinion mining on small and noisy samples of health-related texts // *Advances in Intelligent Systems and Computing III (Proc. of CSIT-2018), Springer, AISC.* — 2019. — Vol. 871. — P. 1–12.
- Akhtyamova L., Alexandrov M., Cardiff J.* LM-based word embeddings improve biomedical named entity recognition: a detailed analysis // *Bioinformatics and Biomedical Engineering.* — IWBBIO 2020. *Lecture Notes in Computer Science.* — Vol. 12108. — Springer, Cham.
- Boldyreva A., Sobolevskiy O., Alexandrov M., Danilova V.* Creating collections of descriptors of events and processes based on Internet queries // *Proc. of 14-th Mexican Intern. Conf. on Artif. Intell. (MICA-2016), Springer Cham, LNAI.* — 2016a. — Vol. 10061. — Chapter 26. — P. 303–314.
- Boldyreva A., Alexandrov M., Koshulko O., Sobolevskiy O.* Queries to Internet as a tool for analysis of the regional police work and forecast of the crimes in regions // *Proc. of 14-th Mexican Intern. Conf. on Artif. Intell. (MICA-2016), Springer Cham, LNAI.* — 2016b. — Vol. 10061. — Chapter 25. — P. 290–302.
- Chkhartishvili A. G., Gubanov D. A., Novikov D. A.* Social networks: models of information influence, control and confrontation. — Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019. — 158 p.
- Chartishvili A. G., Kozitsin I. V., Goiko V. L., Saifulin E. R.* On an approach to measure the level of polarization of individuals' opinions // *2019 Twelfth International Conference «Management of large-scale system development» (MLSD), Moscow, Russia.* — 2019. — P. 1–5.
- Gubanov D., Petrov I.* Multidimensional model of opinion polarization in social networks // *2019 Twelfth International Conference «Management of large-scale system development» (MLSD), Moscow, Russia: IEEE.* — 2019. — P. 1–4.

- Kozitsin I. V., Marchenko A. M., Goiko V. L., Palkin R. V.* Symmetric convex mechanism of opinion formation predicts directions of users' opinions trajectories // 2019 Twelfth International Conference «Management of large-scale system development» (MLSD), Moscow, Russia. — 2019. — P. 1–5.
- Neuman W. R., Guggenheim L., Jang S. M., Bae S. Y.* The dynamics of public attention: Agenda-setting theory meets big data // *Journal of Communication*. — 2014. — Vol. 64, No. 2. — P. 193–214.
- Pennycook G., McPhetres J., Zhang Y., Lu J. G., Rand D. G.* Fighting COVID-19 misinformation on social media: Experimental evidence for a scalable accuracy-nudge intervention // *Psychological science*. — 2020. — Vol. 31, No 7. — P. 770–780.
- Petrov A., Proncheva O.* Propaganda battle with two-component agenda // *Proc. of the MACSPro Workshop 2019*. Vienna, Austria, March 21–23. CEUR Workshop Proceedings. — 2019. — Vol. 478. — P. 28–38.
- Rashevsky N.* Mathematical biology of social behavior: III // *Bulletin of Mathematical Biophysics*. — 1949. — Vol. 11. — P. 255–271.
- Rovetta A., Bhagavathula A. S.* COVID-19-related web search behaviors and infodemic attitudes in Italy: Infodemiological study // *JMIR public health and surveillance*. — 2020. — Vol. 6, No. 2. — P. e19374.
- Zarocostas J.* How to fight an infodemic // *The Lancet*. — 2020. — Vol. 395. — P. 676.