

Что общего в динамике коронавирусной пандемии в странах «большой экономики»?

**Виктор Михайлович Четвериков^{а)},
Ольга Владимировна Пугачева^{б)},
Татьяна Дмитриевна Воронцова^{а)}**

^{а)} Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия;

^{б)} Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

Проанализирована динамика инфицированных и умерших от пандемии коронавируса за 148 недель в странах «большой экономики» (24 страны). По мнению авторов, страна «большой экономики» – это страна, производившая хотя бы один год за период с 1980 г. по 2019 г. не менее 1% общемирового ВВП. Несмотря на то, что организация системы здравоохранения в этих странах различна, только общие требования ВОЗ дали возможность получить сведения о распространении пандемии в сопоставимых форматах. Переход от ежедневных данных об инфицированных и умерших к еженедельной информации по этим показателям (в расчете на 1 млн человек населения страны) позволил, во-первых, исключить малозначимые ежедневные флуктуации этих показателей и, во-вторых, получить информацию в сопоставимых величинах для стран с сильно различаемой численностью населения.

Показано, что часто используемое сравнение стран по таким интегральным показателям, как число инфицированных и умерших в какой-то определенный момент времени, является не очень информативным. Это связано с тем, что со временем ситуации для многих стран изменяются очень существенно. Тем не менее именно введение в аналитических целях таких характеристик, как пики еженедельного приращения числа инфицированных и еженедельного приращения числа умерших, позволило выявить четыре особенности. Во-первых, число этих пиков оказывается для всех стран небольшим: от 5 до 9 за 148 недель. Во-вторых, эти пики покрывают примерно от 70 до 90 процентов итоговых показателей интегрального числа инфицированных и умерших в данной стране. В-третьих, большинство пиков инфицированных сопровождаются пиками умерших с некоторым запаздыванием: от нуля до шести недель, но в большинстве случаев на две недели, что вполне согласуется с наблюдениями врачей. В-четвертых, пики инфицированных во всех 24 странах проявляют статистическое свойство квазисинхронности (так названо свойство максимумов этих пиков попадать в заранее заданные интервалы недель с вероятностями, которые являются одинаковыми для всех стран). Этот факт доказывается с помощью математического критерия однородности χ^2 .

Ключевые слова: коронавирусная пандемия, международные сравнения, демографическая статистика, математико-статистические методы, темпы роста, интегральные показатели, критерий однородности, квазисинхронизация.

JEL: C22, C25, C82, E01, J10.

doi: <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2023-30-3-64-79>.

Для цитирования: Четвериков В.М., Пугачева О.В., Воронцова Т.Д. Что общего в динамике коронавирусной пандемии в странах «большой экономики»? Вопросы статистики. 2023;30(3):64–79.

What Do the Dynamics of the Coronavirus Pandemic in the «Large Economies» Have in Common?

**Victor M. Chetverikov^{а)},
Olga V. Pugacheva^{б)},
Tatyana D. Vorontsova^{а)}**

^{а)} National Research University Higher School of Economics (HSE University), Moscow, Russia;

^{б)} Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

The authors analyze the dynamics of infected and deceased from the coronavirus pandemic over 148 weeks in the «large economies» (24 countries). According to the authors, a large economy is a country that, at least within one year from 1980 to 2019, produced more than 1% of the global GDP. Although the organization of the health care system in these countries is different, only the general requirements of WHO could provide information on the spread of the pandemic in comparable formats. The change from daily data on the number of infected and

deceased to weekly data on these indicators (per 1 million persons of the country's population) made it possible, firstly, to exclude insignificant daily fluctuations of these indicators and, secondly, to obtain information in comparable values for countries with widely differing populations.

The paper demonstrates that the frequently used comparison of countries by such integral indicators as the number of infected and deceased at a particular time is not very informative. It is due to the fact that, over time, country-specific circumstances change dramatically. Nevertheless, it was precisely the introduction for analytical purposes of such characteristics as weekly increment peaks of infected people and weekly increment peaks of deceased that made it possible to identify the four features. First, the number of those peaks is small for all countries: from 5 to 9 over 148 weeks. Second, these peaks cover between 70 and 90 percent of the totals of the integral number of infected and deceased in a given country. Third, most peaks of the infected are accompanied by peaks of the deceased with some delay: from zero to six weeks, but in most cases by two weeks, which is consistent with clinical observations. Fourth, the peaks of infected people in all 24 countries exhibit the statistical property of being quasi-synchronous (the so-called property of the maximums of these peaks to fall within predetermined intervals of weeks with probabilities that are the same for all countries). This fact is proved using the mathematical homogeneity criterion χ^2 .

Keywords: coronavirus pandemic, international comparisons, demographic statistics, mathematical and statistical methods, growth rates, integral indicators, homogeneity criterion, quasi-synchronization.

JEL: C22, C25, C82, E01, J10.

doi: <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2023-30-3-64-79>.

For citation: Chetverikov V.M., Pugacheva O.V., Vorontsova T.D. What Do the Dynamics of the Coronavirus Pandemic in the «Large Economies» Have in Common? *Voprosy Statistiki*. 2023;30(3):64–79. (In Russ.)

Введение

С 1 марта 2020 г. по 31 декабря 2022 г. прошло ровно 148 недель, в течение которых в мире было зарегистрировано около 674 млн заражений различными штаммами коронавируса, и примерно 6,8 млн смертей были связаны с этим заболеванием. Таким образом, средняя летальность от вируса COVID-19 составила по миру около 10 человек на 1000 инфицированных. Если оценить общую численность населения Земли в 2022 г. как 8050 млн человек, то тогда на каждую тысячу жителей приходится примерно 84 инфицированных. Эта оценка несколько завышена, поскольку довольно у многих людей регистрировали ковид несколько раз, тем самым увеличивая число инфицированных.

Данная пандемия привнесла много нового в эпидемиологию. Были опубликованы новые математические модели описания развития эпидемии [1–4]. Внимание демографов было обращено на возникающие большие расхождения между статистикой избыточной смертности и статистикой смертности, исходящей от информационных центров [5 и 6]. Появились сообщения о научных исследованиях профессора «Сколтеха» Г. Базыкина¹ о том, что возбудитель COVID-19 выработал устойчивость к клеточному иммунитету в результате долгих взаимодействий с Т-клетками. Одна-

ко еще в мае 2020 г. доктор биологических наук, профессор Школы системной биологии ГМУ в США Анча Баранова утверждала², что «Сильный и продолжительный иммунитет формируется только у семи-восьми процентов переболевших COVID-19». Поэтому концепция получения коллективного иммунитета при 70–80% переболевших вряд ли применима к COVID-19.

В данной работе рассматриваются характеристики «ковидной» статистики для стран «большой экономики» за вышеупомянутые 148 недель. Напомним, что так были названы 24 страны, каждая из которых хотя бы один год с 1980 по 2019 г. производила более 1% мирового ВВП [7–9]. «Ковидные» статистические показатели этих стран, приведенные на 1 млн человек населения, имеют как довольно большие различия, так и некоторые общие характеристики. Сопоставление удобных для вычислений недель на протяжении пандемии с привычными календарными неделями приведено в Приложении 1.

В отличие от работ [7–9] в данной статье используются не ежедневные приращения статистических показателей распространения пандемии по странам с интернет-сайта³, а их суммы за неделю. Это позволяет получить более наглядную и компактную картину динамики показателей, лишенных ежедневных колебаний. Дело в том, что ежедневные флуктуации во мно-

¹ Выявлен ранее неизвестный путь появления опасных штаммов коронавируса. URL: https://nauka.tass.ru/nauka/17045099?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop.

² Биолог объяснила, у кого формируется иммунитет к COVID-19. URL: <https://ria.ru/20200512/1571297791.html>.

³ URL: <https://horosho-tam.ru/>.

гом связаны с проблемами информационных центров: регистрации и получения информации от большого количества источников в течение одного дня. Суммирование ежедневных данных за неделю позволяет исключить многие неточности. Со второй половины 2022 г. на указанном сайте используется представление информации за два последних дня, что позволяет как для предоставляющих, так и для получающих информацию легко корректировать возникающие ошибки. Например, ошибки в виде отрицательных приращений числа выздоровевших или умерших, которые довольно часто встречались в некоторых странах ранее. К уменьшению ошибок в сборе информации приводит также фиксация данных с опозданием на один день. Однако в дальнейшем сбор текущей информации по странам относительно COVID-19 может быть сильно затруднен тем обстоятельством, что

некоторые из рассматриваемых стран анонсируют переход на передачу только ежемесячной информации.

Сравнение стран по интегральным показателям

Для сравнения результатов протекания пандемии в разных странах естественными интегральными параметрами выступают четыре величины: численность населения (LP 2019), число инфицированных на 1 млн человек населения (wInf), число умерших на 1 млн человек населения (wD), летальность на 1000 инфицированных ($wD \times 10^3 / wInf$). Последние три показателя должны формироваться на определенную дату, одинаковую для всех стран. Для стран «большой экономики» эти данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение стран по отдельным показателям результатов протекания пандемии на конец декабря 2022 года⁴

№ п/п	Страна	LP 2019 млн человек	wInf	wD	$wD \times 10^3 / wInf$ на 1000 инфицированных	GHSI ранг
			на 1 млн человек населения			
1	Австралия	25,97	428,57	656,50	1,53	4
2	Аргентина	45,55	217,14	2856,67	13,16	25
3	Бельгия	11,53	404,91	2882,12	7,12	19
4	Бразилия	211,20	172,14	3285,70	19,09	22
5	Великобритания	67,26	358,86	2957,95	8,24	2
6	Германия	82,96	450,46	1946,30	4,32	14
7	Индия	1369,56	32,62	387,50	11,88	57
8	Индонезия	269,87	217,14	595,18	2,74	30
9	Иран	84,15	89,86	1719,43	19,14	97
10	Испания	46,87	291,99	2498,51	8,56	15
11	Италия	60,72	414,10	3040,93	7,34	31
12	Канада	37,82	118,33	1294,20	10,94	5
13	Китай	1404,44	310,07	3,74	0,01	51
14	Республика Корея	52,09	559,02	618,59	1,11	9
15	Мексика	127,09	56,92	2605,19	45,77	28
16	Нидерланды	17,29	495,62	1329,61	2,68	3
17	Россия	143,79	151,64	2738,51	18,06	63
18	Саудовская Аравия	34,55	23,94	275,58	11,51	47
19	США	331,81	309,42	3370,52	10,89	1
20	Турция	84,04	202,79	1207,66	5,96	40
21	Франция	65,32	602,14	2479,55	4,12	11
22	Швейцария	8,69	502,48	1654,12	3,29	13
23	Швеция	10,42	256,68	2091,45	8,15	7
24	Япония	125,75	233,00	457,36	1,96	21

⁴ URL: <https://horosho-tam.ru/>.

В англоязычной литературе вместо летальности на 1000 инфицированных (столбец 6 в таблице 1) часто используют показатель the case fatality rate (CFR). Эта величина определяется как выраженный в процентах отношение числа умерших по причине COVID-19 к числу инфицированных этим заболеванием. Как показано в работе [7], этот показатель уместно использовать лишь после завершения пандемии, а во время продолжения пандемии он может изменяться в 2–3 раза за первые полгода пандемии. Значения CFR создают преувеличенное впечатление риска от болезни в условиях, когда много случаев заболевания остаются незамеченными. С другой стороны, этот показатель может преуменьшать реальный риск, если не всегда регистрируются случаи смерти от заболевания.

Диапазон изменений приведенной в таблице 1 летальности ($wD \times 10^3 / wInf$ на 31.12.2022), если исключить два значения — предельно малое и предельно большое (в Китае и Мексике), заключен в интервале от 1 до 19. При этом средняя летальность по 24 странам практически не отличается от среднемировой летальности от вируса COVID-19. Вряд ли различия в показателе почти в 20 раз могут характеризовать выборку из 24 стран. При этом не наблюдается явной связи показателя летальности ни с политикой государств по отношению к пандемии, ни с малыми значениями инфицированных в странах Саудовской Аравии и Индии. Как видно из таблицы 1, Швеция с ее стремлением к коллективному иммунитету находится в середине таблицы с величиной летальности порядка 8 человек на 1000 инфицированных. При этом очень сложная ситуация в Испании в конце концов мало отличается от результатов в Швеции. Также как и данные лидера по максимальному числу умерших на 1 млн человек населения (США) ненамного отличаются по показателю летальности от Саудовской Аравии и Индии.

В последнем столбце (GHSI ранг) таблицы 1 приводятся ранги стран согласно Глобальному Индексу безопасности здравоохранения (Global Health Security Index)⁵.

Справка. Указанный индекс — это результат совместного проекта трех организаций: Центра безопасности здравоохранения Джонса Хопкинса,

Инициативы по сокращению ядерной угрозы (NTI) и аналитического отдела журнала «Экономист» (Economist Intelligence Unit, EIU). Индекс оценил безопасность здоровья в 195 странах по шести категориям, 34 показателям и 140 вопросам. Были использованы данные таких международных организаций, как Всемирная организация здравоохранения, Всемирная организация по охране здоровья животных, Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций и Всемирный банк.

Общий вывод приглашенной комиссии экспертов такой. Показатели свидетельствуют о серьезных недостатках в способности стран предотвращать, выявлять и реагировать на вспышки заболеваний. Индекс был опубликован в 2019 г. и события 2020 г. показали правильность общих выводов комиссии. Но ... поскольку всякий индекс предусматривает некоторое упорядочивание объектов исследования, то здесь уже вступают в силу не только аналитические исследования.

Согласно этому индексу высший ранг — 1 получили США с индексом 83,5 из 100 возможных. Далее с рангами 2 и 3 следуют Великобритания и Нидерланды. Сравнивая приведенные в таблице 1 показатели разных стран, нетрудно заметить, что оценки готовности стран согласно рейтингу 2019 г. Global Health Security Index существенно отличаются от реакции стран на распространение COVID-19 в реальности 2020 г. и последующих лет.

Второй и третий показатели (столбцы 4 и 5) в таблице 1 являются наиболее информативными. Однако надо заметить, что эти показатели быстро изменяются в течение пандемии. При этом скорости этих изменений в странах сильно различаются, что видно из таблиц 2 и 3, в которых приводятся данные на конец декабря 2020–2022 гг. И для того, чтобы было заметно различие показателей во всех странах, данные каждого года упорядочены по величине этих показателей отдельно по годам.

Как видно из таблицы 2, место страны в упорядоченном списке сильно меняется с течением времени: для пяти стран эти изменения весьма значительны (Республика Корея, Австралия, Китай, Германия, США), и лишь для шести стран (Великобритания, Индия, Канада, Мексика, Нидерланды, Швейцария) изменения в порядке следования составили не более трех пунктов.

⁵ URL: <https://www.ghsindex.org/about/>.

Упорядочение стран по показателю wInf на конец декабря 2020–2022 годов

№ п/п	Страна	wInf20	№ п/п	Страна	wInf21	№ п/п	Страна	wInf22
1	Австралия	1,1	1	Республика Корея	12,3	1	Саудовская Аравия	23,9
2	Республика Корея	1,2	2	Япония	13,8	2	Индия	32,6
3	Япония	1,9	3	Саудовская Аравия	16,2	3	Мексика	56,9
4	Индия	7,5	4	Австралия	17,8	4	Иран	89,9
5	Саудовская Аравия	10,5	5	Индия	25,5	5	Канада	118,3
6	Мексика	11,4	6	Мексика	31,4	6	Россия	151,6
7	Иран	14,8	7	Канада	59,6	7	Бразилия	172,1
8	Канада	15,9	8	Китай	73,0	8	Турция	202,8
9	Германия	21,5	9	Россия	73,3	9	Аргентина	217,1
10	Россия	22,5	10	Иран	73,6	10	Индонезия	217,1
11	Турция	26,7	11	Германия	86,8	11	Япония	233,0
12	Италия	35,5	12	Италия	104,2	12	Швеция	256,7
13	Аргентина	35,9	13	Бразилия	105,5	13	Испания	292,0
14	Индонезия	35,9	14	Турция	113,7	14	США	309,4
15	Бразилия	36,5	15	Аргентина	124,6	15	Китай	310,1
16	Великобритания	39,5	16	Индонезия	124,6	16	Великобритания	358,9
17	Франция	40,7	17	Швеция	126,2	17	Бельгия	404,9
18	Испания	41,3	18	Испания	134,3	18	Италия	414,1
19	Швеция	42,0	19	Швейцария	150,5	19	Австралия	428,6
20	Нидерланды	47,5	20	Франция	156,9	20	Германия	450,5
21	Швейцария	52,1	21	США	168,5	21	Нидерланды	495,6
22	Бельгия	56,3	22	Бельгия	182,6	22	Швейцария	502,5
23	Китай	62,0	23	Нидерланды	183,1	23	Республика Корея	559,0
24	США	63,2	24	Великобритания	196,8	24	Франция	602,1

Та же самая процедура упорядочения, проводимая по величине wD (см. таблицу 3), показывает меньшее изменение порядка в списке стран.

Упорядочение стран по показателю wD на конец декабря 2020–2022 годов

№ п/п	Страна	wD20	№ п/п	Страна	wD21	№ п/п	Страна	wD22
1	Китай	3,2995	1	Китай	3,301	1	Китай	3,7374
2	Республика Корея	18,47	2	Австралия	86,972	2	Саудовская Аравия	275,58
3	Япония	28,214	3	Республика Корея	109,32	3	Индия	387,5
4	Австралия	34,997	4	Япония	146,27	4	Япония	457,36
5	Индонезия	84,242	5	Саудовская Аравия	257,03	5	Индонезия	595,18
6	Индия	109,28	6	Индия	351,77	6	Республика Корея	618,59
7	Саудовская Аравия	180,81	7	Индонезия	533,96	7	Австралия	656,5
8	Турция	255,69	8	Канада	802,52	8	Турция	1207,7
9	Россия	406,89	9	Турция	983,28	9	Канада	1294,2
10	Канада	419,48	10	Нидерланды	1212,1	10	Нидерланды	1329,6
11	Германия	423,16	11	Германия	1360,4	11	Швейцария	1654,1
12	Иран	660,02	12	Швейцария	1413,9	12	Иран	1719,4
13	Нидерланды	671,6	13	Швеция	1465,4	13	Германия	1946,3
14	Швеция	837,44	14	Иран	1564,8	14	Швеция	2091,4
15	Швейцария	891,46	15	Франция	1897,5	15	Франция	2479,6
16	Бразилия	927,09	16	Испания	1907,7	16	Испания	2498,5
17	Аргентина	952,23	17	Россия	2159,6	17	Мексика	2605,2
18	Франция	995,68	18	Великобритания	2213,2	18	Россия	2738,5
19	Мексика	998,1	19	Италия	2266,9	19	Аргентина	2856,7
20	США	1083,3	20	Мексика	2356,8	20	Бельгия	2882,1
21	Испания	1084,7	21	Бельгия	2457,4	21	Великобритания	2958,0
22	Великобритания	1115,5	22	США	2553,5	22	Италия	3040,9
23	Италия	1240,7	23	Аргентина	2572,5	23	Бразилия	3285,7
24	Бельгия	1703,9	24	Бразилия	2931,5	24	США	3370,5

Согласно таблице 3 две страны (Бразилия и Россия) существенно изменяли свои позиции, Китай неподвижно стоял на первом месте, и семь стран (Германия, Индонезия, Иран, Канада, Турция, Швеция и Япония) меняли свой порядковый номер лишь на 1–2 единицы. И поэтому, если вышеупомянутые три показателя брать во внимание при оценке деятельности системы здравоохранения различных стран в период пандемии, то в первую очередь следовало бы обратить внимание на показатель смертности от эпидемии на 1 млн человек населения.

Система таблиц 2–3 дает возможность сравнить по годам темпы роста ежемесячного изменения числа инфицированных и умерших на 1 млн человек населения за месяц в среднем по 24 странам. За первый год эти цифры среднего ежемесячного роста составили: для инфицированных – 80,4, для умерших – 1681,0. За второй год, соответственно, 163,1 и 1848,0, а за третий год – 454,5 и 934,5. Как видно из этих цифр, темпы роста по обоим показателям ведут себя неодинаково. Если темпы роста инфицированных непрерывно увеличивались, то темпы роста умерших до конца 2021 г. возрастали, но в 2022 г. уже снижались.

Пики приращения недельной инфицированности и смертности

Рассматривая графики приращений недельной инфицированности и смертности $dwInf \times 10^{-3}$ и dwD для стран «большой экономики» (правая колонка Приложения 2), можно заметить, что среди множества локальных максимумов существуют выделяющиеся своей величиной или шириной. Как показывает более подробный анализ, для каждой из 24 стран можно выделить от 5 до 9 таких максимумов, которые мы будем называть *пиками*.

Обсудим сложный вопрос об определении ширины этих пиков, поскольку следует определить начало и конец пика, который не всегда имеет форму, похожую на уединенную симметричную гауссовскую экспоненту.

Для выявления пика среди локальных максимумов были выбраны два критерия: его ширина и высота относительно шума. Под шумом подразумевается флуктуация значений, обусловленная случайными факторами, не влекущими за собой значительных пиков, которые анализируются в данной статье.

При анализе высоты каждый локальный максимум сравнивался с минимальным существенным изменением следующим образом. Рассматривалась разница между величиной локального максимума и средней величиной фоновых значений (шума) перед началом пика и после него. Если эта разница превосходила тысячу на 1 млн человек населения страны, то пик выбирался для дальнейшего анализа, в противном случае – не учитывался.

За минимальную ширину пика принят условный месяц, то есть 4 недели. Если между двумя пиками прошло меньше времени, то считается, что они не различимы и за высоту пика выбирается наибольший локальный максимум. Если окончание рассматриваемого локального максимума обнаруживается меньше, чем через 4 недели после начала, то он приравнивается к статистическому выбросу и в дальнейшем анализе пиков не участвует.

Окончательное предпочтение отдается тем локальным максимумам, которые в первую очередь соответствуют критерию высоты относительно шума, а во вторую – существенной ширины.

Примечательны случаи изрезанных пиков, характерных для некоторых стран в последние недели сбора статистики, в течение которых исходные интернет-данные публиковались не каждую неделю, а с пропусками, поэтому наблюдалась картина чередования некоторых значений с нулями. Поскольку такое поведение продиктовано скорее самим процессом ведения отчетности, нежели реальными показателями, было принято решение не отличать такие пики по отдельности, а выбирать наибольший из них.

Для иллюстрации данного эффекта приведены графики показателей Турции последних 30 анализируемых недель. В качестве примера для рассмотрения выбраны локальные максимумы на 127-й и 141-й неделях на графике $dwInf$ (рис. 1) и локальные максимумы на графике dwD на 129-й и 141-й неделях (рис. 2). Эти графики являются фрагментами из правой колонки графиков Приложения 2.

Характеристики двух последних рассмотренных пиков Турции указаны в таблице 4. Под долей в общей картине динамики Inf подразумевается отношение площади под рассматриваемым пиком к общему числу зараженных за 148 недель наблюдения. Площадь вычисляется по приращению Inf между началом и концом пика по соответствующему графику из левой колонки графиков

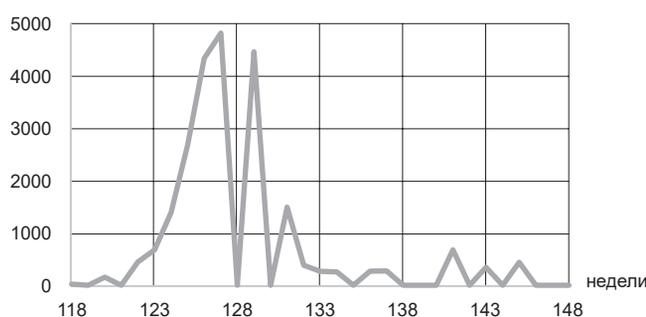


Рис. 1. Недельные приращения инфицированных на 1 млн человек населения ($dwInf$) в Турции (человек)

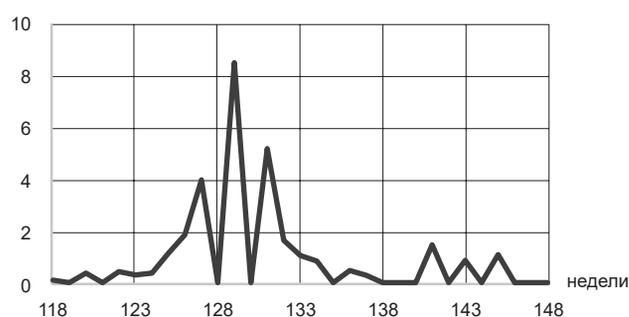


Рис. 2. Недельные приращения умерших на 1 млн человек населения (dwD) в Турции (человек)

Таблица 4

Пример оценки параметров пика на графиках $dwInf$ и dwD для Турции

Характеристика	7-й пик		8-й пик	
	$dwInf$	dwD	$dwInf$	dwD
Начало пика	121	121	140	140
Неделя достижения пика	127	129	141	141
Конец пика	135	135	146	146
<i>Высота относительно шума</i>	4 834 864,35	8,591	679 331,271	1,457
<i>Ширина</i>	14	14	6	6
<i>Доля в общей картине динамики, %</i>	10,27	2,02	0,72	0,28
Задержка пика dwD от $dwInf$	2		0	

Приложение 2. Аналогичная процедура реализуется и для пиков dwD . Сформированные таким образом пики приращения инфицированных по всем странам покрывают в среднем около 90% накопленных изменений. Наибольшее покрытие пиками по инфицированным произошло в Австралии (97,0%) и Франции (95,6%), наименьшее – в Японии (72,0%) и Китае (76,0%).

Если внимательно присмотреться к графикам правой колонки Приложения 2, то можно заметить, что большая часть пиков dwD запаздывает по отношению к ближайшему пику $dwInf$ на две недели. Именно этот факт отражается в последней строчке таблицы 4: для 7-го пика это запаздывание равно двум неделям, а для 8-го пика запаздывание не зафиксировано. Обоснование этого факта мы находим в работах, опубликованных в медицинских журналах.

Оценки интервалов времени от начальных проявлений симптомов COVID-19 до летального исхода приводятся в работах [10–12], исходя из медицинских наблюдений. Это время варьируется от 6 до 41 дня и в среднем соответствует 14 дням. Вариация этого интервала полностью зависит от таких факторов как, возраст пациента и состояние его иммунной системы. Было замечено, что этот промежуток времени был намного короче у пациентов старше 70 лет по сравнению с более молодыми.

Статистика времени появления пиков приращения инфицированных

В работе [7] было сформулировано предположение, что реализация пандемии происходит по нескольким сценариям. И каждый сценарий проявляется в некоторой группе стран со сходной динамикой наблюдаемого числа инфицированных. Внутри данного сценария можно говорить о синхронизации трендов. Однако накопленные данные позволяют высказать более сильное утверждение о статистической квазисинхронности пиков инфицирования в рассматриваемых 24 странах в течение 148 недель, начиная с 01.03.2020.

Поскольку речь не идет о точной синхронности пиков, а лишь о квазисинхронности, то разобьем весь интервал 148 недель на пятнадцать ячеек, где каждая из первых 14 ячеек состоит из десяти недель: 1–10, 11–20, и т. д. Последняя, пятнадцатая ячейка будет состоять из восьми недель. Пронумеруем эти ячейки индексом $i \in [1, 15]$, а страны – индексом $j \in [1, 24]$ согласно таблице 1. Теперь нашу задачу можно сформулировать следующим образом. Предположим, что осуществлено 24 серии (по числу стран) независимых наблюдений за появлением пиков инфицированности (пики недельного приращения инфицированных). При этом в каждом опыте число попаданий вер-

шины пика j -ой страны в i -ую ячейку обозначим как v_{ij} , общее число наблюдаемых пиков для j -ой страны – через n_j .

Предположим, что существует (неизвестная пока) вероятность P_{ij} того, что максимум пика для j -ой страны попал в i -ую ячейку. Требуется проверить основную гипотезу H_0 о том, что для всех вероятностей P_{ij} выполняется соотношение $P_{ij} = P_i$ или, что то же самое – вероятность P_{ij} не зависит от страны, а определяется лишь номером временной ячейки.

В математике такая постановка задачи называется проверка однородности различных статистических выборок. В таблице 5 приводятся результаты обнаружения вершин пиков инфицированных

(пиков dwInf) для всех 24 стран в течение 148 недель. Нумерация стран в верхней строчке таблицы 5 определяется нумерацией стран в таблице 1. Неотрицательные целые случайные числа v_{ij} образуют прямоугольную матрицу. Средняя часть таблицы опущена, но результирующие цифры в последних двух колонках соответствуют полной таблице. Элементами самой нижней строчки являются n_j для j -ой страны, а величины в столбце N_i означают сумму $\sum_{j=1}^{24} v_{ij}$, не зависящую от индекса j . Величина $\hat{P}_i = N_i / (\sum_{j=1}^{24} n_j)$ оказывается нормированной условием $\sum_{i=1}^{15} \hat{P}_i = 1$ и может претендовать на истинную вероятность, если будет выполняться критерий однородности χ^2 (хи-квадрат) [13].

Таблица 5

Таблица фиксации максимумов пиков приращения инфицированных для 24 стран

Страны	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	21	22	23	24	N_i	\hat{P}_i
Ячейки																
1–10	1		1		1	1			1	...	1	1		1	17	0,10
11–20									1	...			1		3	0,02
21–30	1			1			1			...				8	0,05	
31–40		1	1		1			1	1	...	1	1		11	0,07	
41–50		1		1	1	1		1		...			1	16	0,10	
51–60			1	1		1		1	1	...	1		1	13	0,08	
61–70		1		1				1	1	...				5	0,03	
71–80							1		1	...	1	1	1	15	0,09	
81–90				1						...				3	0,02	
91–100	1	1	1	1	1	1	1	1		...	1	1	1	20	0,12	
101–110	1		1			1			1	...	1			12	0,07	
111–120	1									...				5	0,03	
121–130	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...	1	1		20	0,12	
131–140			1		1	1				...	1		1	10	0,06	
141–148	1			1						...	1	1		6	0,04	
n_j	7	5	7	8	6	7	5	6	7	...	9	6	6	6	164	1

Данные таблицы 5 позволяют вычислить случайную величину

$$X_n^2(\hat{P}) = \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{24} (v_{ij} - n_j \times \hat{P}_i)^2 \times (n_j \times \hat{P}_i)^{-1}, \quad (1)$$

распределение которой при $n = \sum_{j=1}^{24} n_j \rightarrow \infty$ стремится к распределению случайной величины $\chi^2(d.f.)$. Величина $d.f.$ означает число степеней свободы (degrees of freedom) случайной величины χ^2 . Для рассматриваемого случая

$$d.f. = (15 - 1) \times (24 - 1) = 322.$$

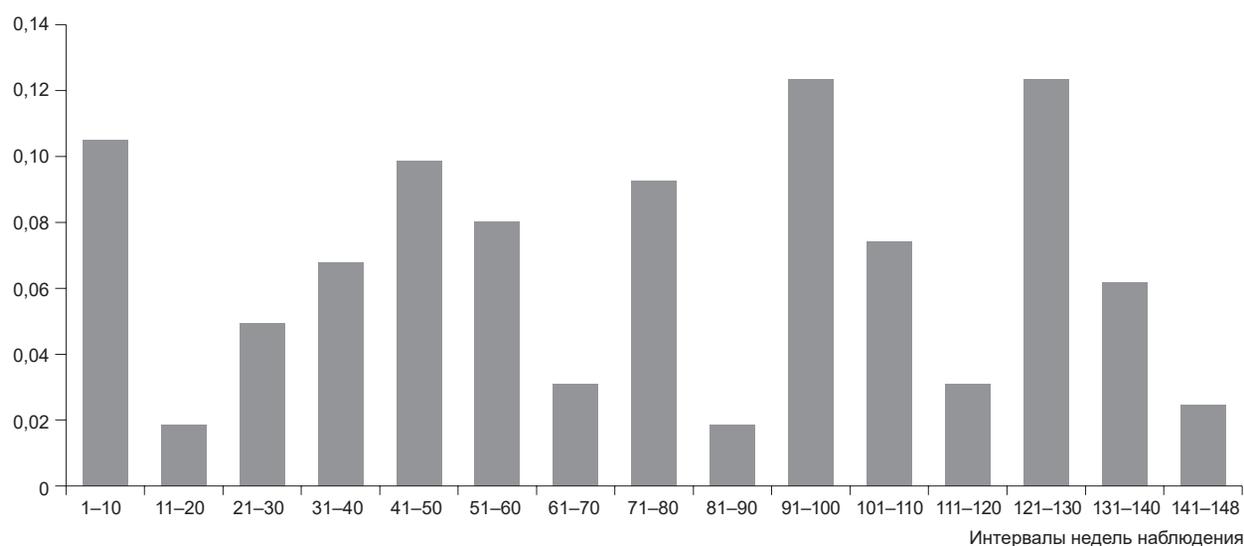
Вычислим число $\chi_{1-\alpha}^2(322)$, для которого вероятность того, что случайная величина χ^2 принимает значение меньше, чем $\chi_{1-\alpha}^2(322)$, отличается

от единицы на величину α , где α – значимость теста. Математическая формулировка этого утверждения имеет вид:

$$P\{\chi^2(322) < \chi_{1-\alpha}^2(322)\} = 1 - \alpha. \quad (2)$$

Данные таблицы 5 дают для нашей реализации (1) величину $X_n^2(\hat{P}) = 199,72$ и, если взять в формуле (2) для значимости теста $\alpha = 0,05$, то число $\chi_{0,95}^2(322) \approx 364,85$. Поскольку вычисленное значение $X_n^2(\hat{P}) = 199,72 \ll \chi_{0,95}^2(322)$, то мы не отвергаем нулевую гипотезу при уровне значимости 0,05.

Принятие нулевой гипотезы для данной задачи означает, что существует единое для всех рассмотренных стран распределение вероятности максимумов пиков инфицированности (рис. 3)



Примечание. Вероятности приведены в крайнем правом столбце таблицы 5.

Рис. 3. Вероятности расположения максимумов пиков инфицированных по недельным интервалам

по недельным ячейкам. Соответствие недельных ячеек общепринятому календарю приведено в Приложении 1.

Можно предположить, что максимум пика инфицированности в данной стране совпадает по времени с максимумом активности вируса на этой территории.

Тогда квазисинхронность пиков может свидетельствовать о наличии общего для стран распределения случайного времени максимума активности (контагиозности) вируса. Нечто подобное следует и из работ американских биологов [14]. Генетические исследования американских биологов показали, что последние всплески пандемии COVID-19 связаны с появлением новых вариантов коронавируса. При этом не была замечена явная связь между развитием всплеска и величинами плотности населения и местной температуры. Известно, что образование штаммов — это результат генных мутаций, когда образующиеся дочерние вирусы по генетическим характеристикам немного отличаются от материнских вирионов. Штаммы коронавируса различаются между собой по скорости распространения и клиническим проявлениям инфекционного заболевания. Благодаря генетической изменчивости у коронавируса формируется устойчивость к иммунной системе и медикаментозным средствам.

Возможно, что изменение активности вируса во времени действительно связано с мутацией.

Но тогда какие процессы заставляют почти одновременно и в одном направлении развиваться вирусам, разнесенным на большие расстояния и в различных климатических условиях?

Среди ученых были прогнозы о возможности COVID-19 стать сезонным вирусом, хотя пока врачи не видят сезонности⁶.

* *
*

Пандемия явилась очень тяжелым испытанием для многих людей, существенно нарушив привычный образ жизни. Однако во многом благодаря стараниям ВОЗ и развитию Интернета появились подробные данные о динамике развития пандемии в едином формате практически по всем странам в режиме реального времени. Поэтому стало возможным изучать динамику распространения эпидемии по земному шару. Удалось заметить квазисинхронизацию пиков (всплесков) в 24 странах «большой экономики». Остается открытым вопрос о том, можно ли считать эту квазисинхронизацию справедливой и для большего числа стран. Если этот факт подтвердится, то возникнет следующий вопрос о механизме, обеспечивающем такую связь между странами на различных континентах. И первое, что приходит в голову, это влияние солнечной активности (о чем писал А.Л. Чижевский [15 и 16]) или каких-то процессов, общих для всех стран на земном шаре.

⁶ URL: https://aif.ru/health/life/evolyuciya_v_deystvii_pravda_li_kovid_prevrashchaetsya_v_sezonnuyu_infekciyu?ysclid=led6hg857167767473.

Литература

1. Куркин А.А., Куркина О.Е., Пелиновский Е.Н. Логистические модели распространения эпидемий // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. Т. 2. № 129. С. 9–18.
2. Кокоулина М.В. и др. Анализ динамики распространения коронавируса с помощью обобщенной логистической модели // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. Т. 3. № 130. С. 28–41.
3. Pelinovsky E. et al. Logistic equation and COVID-19 // Chaos, Solitons and Fractals. 2020. Vol. 140. No. 1. Article. 110241.
4. Pelinovsky E. et al. Gompertz model in COVID-19 spreading simulation // Chaos, Solitons and Fractals. 2022. Vol. 154. No. 1. Article. 111699.
5. Данилова И.А. Заболеваемость и смертность от COVID-19. Проблема сопоставимости данных // Демографическое обозрение. 2020. Т. 7. № 1. С. 6–26. doi: <https://doi.org/10.17323/demreview.v7i1.10818>.
6. Колосницына М.Г., Чубаров М.Ю. Распространение COVID-19 в российских регионах в 2020 году: факторы избыточной смертности // Население и экономика. 2022. Т. 6. № 4. С. 1–20. doi: <https://doi.org/10.3897/porecon.6.e87739>.
7. Четвериков В.М. Связь между балансом счета текущих операций и темпами роста для стран большой экономики // Вопросы статистики. 2018. Т. 25. № 5. С. 62–69.
8. Четвериков В.М. Особенности и интенсивность распространения COVID-19 в странах большой экономики // Вопросы статистики. 2020. Т. 27. № 6. С. 86–104.
9. Четвериков В.М., Пугачева О.В., Воронцова Т.Д. Проблемы формирования достоверной «ковидной» статистики: отечественный и зарубежный опыт // Вопросы статистики. 2021. Т. 28. № 4. С. 45–66.
10. Rothan H., Siddappa N. The Epidemiology and Pathogenesis of Coronavirus Disease (COVID-19) Outbreak // Journal of Autoimmunity. 2020. Vol. 109. Article. 102433. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102433>. URL: https://www.researchgate.net/publication/339515532_The_epidemiology_and_pathogenesis_of_coronavirus_disease_COVID-19_outbreak.
11. Husain I., Bauddha Sh. The Outbreak, Epidemic and Pandemic of Coronavirus Disease (COVID-19) // International Journal of Advanced Research. 2021. Vol. 8. Iss. 8. P. 80–88. doi: <http://dx.doi.org/10.22192/ijarbs.2021.08.08.009>. URL: <https://www.researchgate.net/publication/354199825>.
12. Li Q. et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia // The New England Journal of Medicine. 2020. Vol. 382. No. 13. P. 1199–1207. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>.
13. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика: Учебник. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. 352 с.
14. Bandy D.J.D.R., Weimer B.C. Analysis of SARS-CoV-2 Genomic Epidemiology Reveals Disease Transmission Coupled to Variant Emergence and Allelic Variation // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. No. 1. Article. 7380.
15. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. Изд. 2-е. М.: «Мысль», 1976. 367 с.
16. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова Думка, 1973. 94 с.

Приложение 1

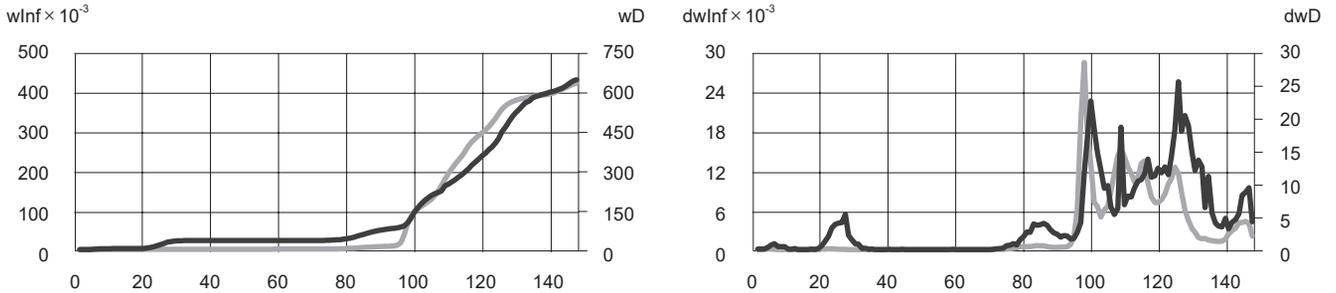
Сопоставление удобных для вычислений недель календарным неделям

2020					
		Март	Апрель	Май	Июнь
		1–4	5–9	10–13	14–17
Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
18–22	23–26	27–31	32–35	36–39	40–44
2021					
Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
45–48	49–52	53–56	57–61	62–65	66–69
Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
70–74	75–78	79–83	84–87	88–91	92–96
2022					
Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
97–100	101–104	105–109	110–113	114–117	118–122
Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
123–126	127–131	132–135	136–139	140–143	144–148

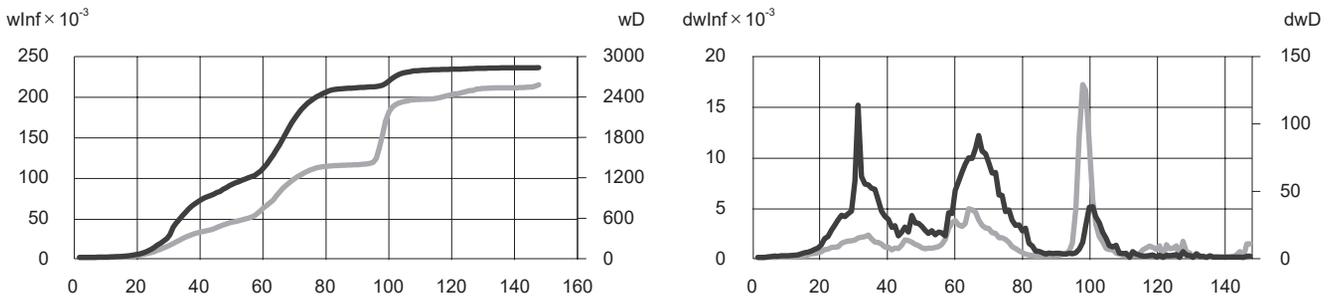
Динамика распространения пандемии в странах «большой экономики»

(по горизонтальной оси указаны недели; в левой колонке графиков показана динамика величин $wInf \times 10^{-3}$ и wD ; в правой – динамика величин $dwInf \times 10^{-3}$ и dwD)

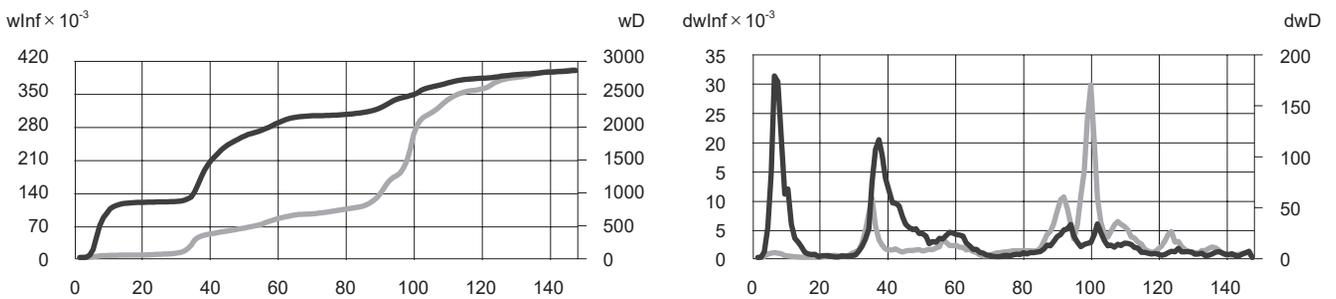
Австралия



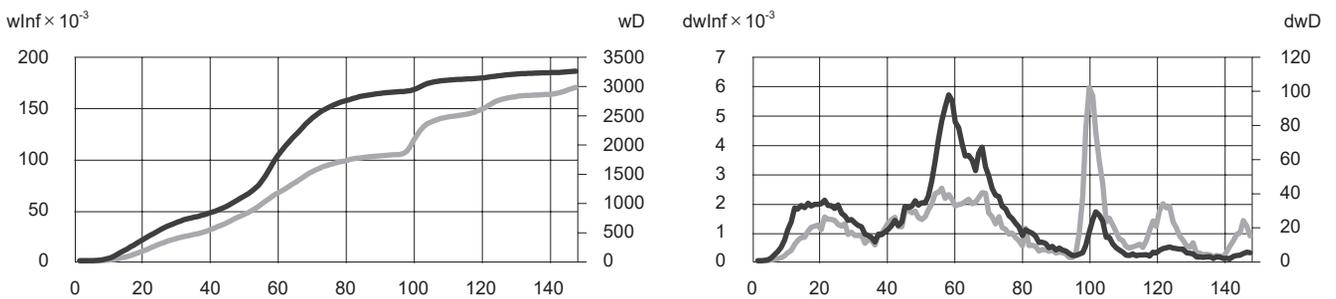
Аргентина



Бельгия



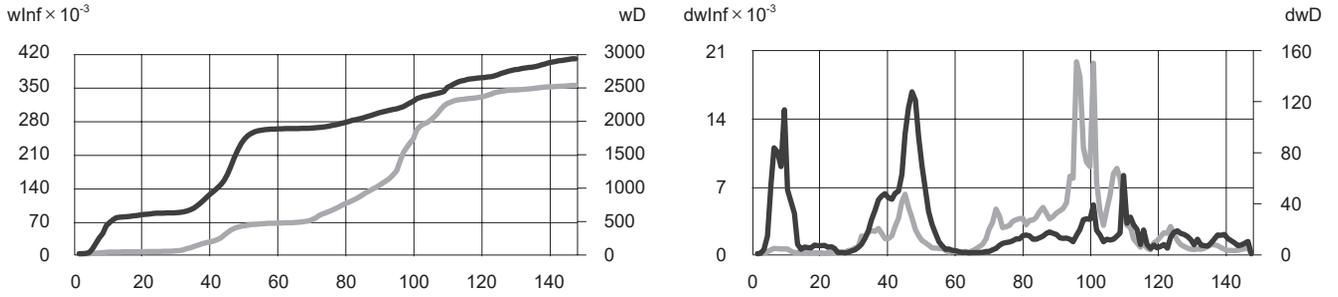
Бразилия



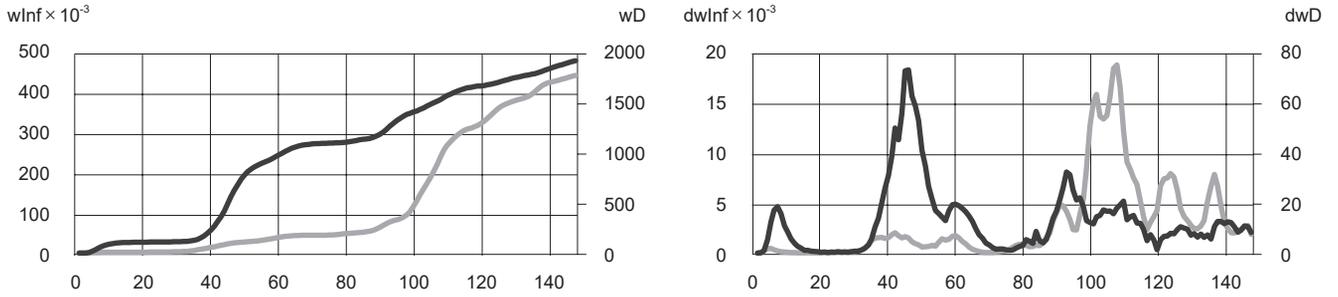
— $wInf$ — wD

— $dwInf$ — dwD

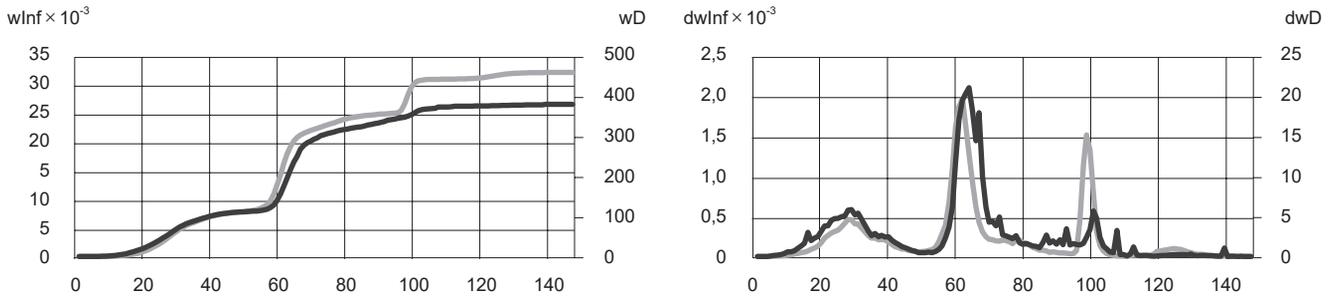
Великобритания



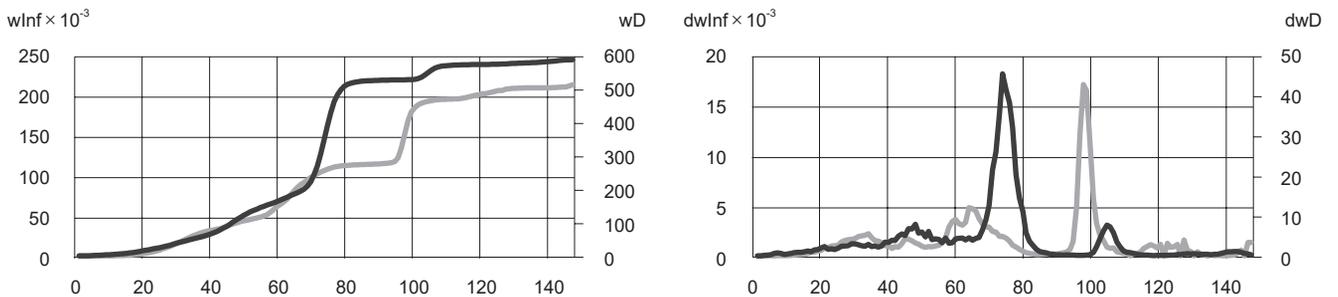
Германия



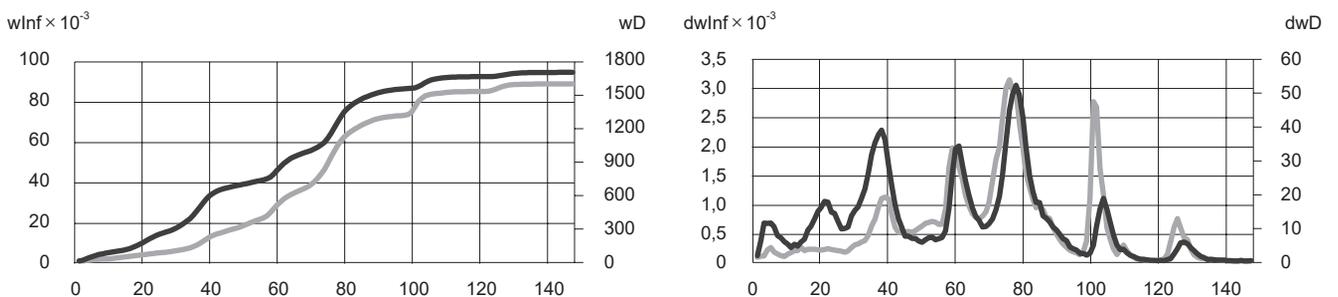
Индия



Индонезия



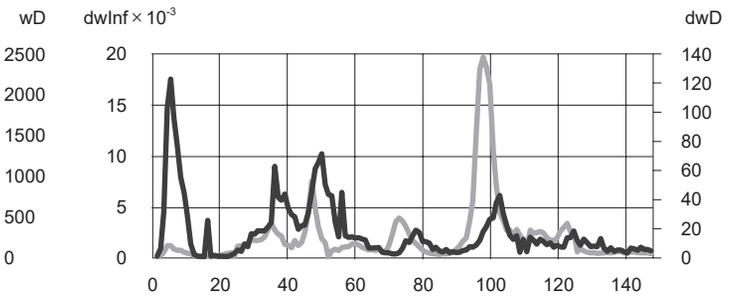
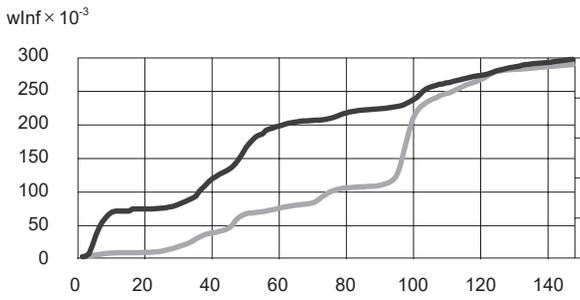
Иран



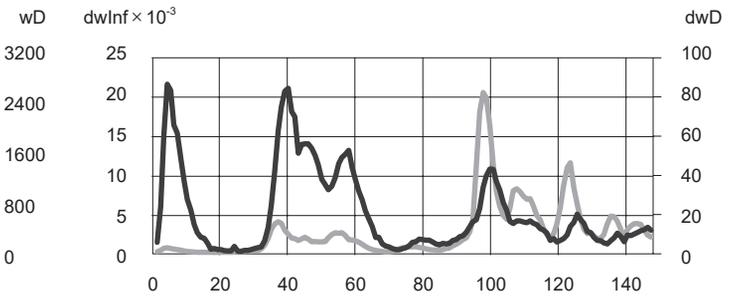
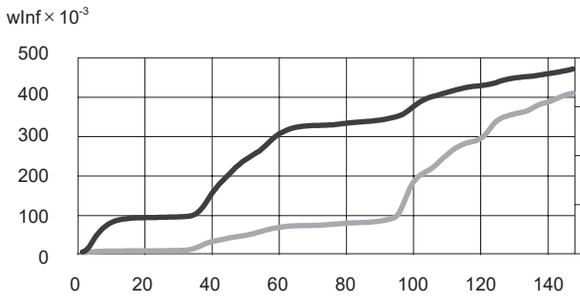
wInf wD

dwInf dwD

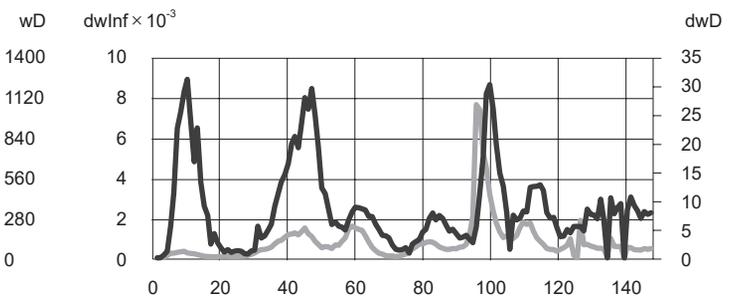
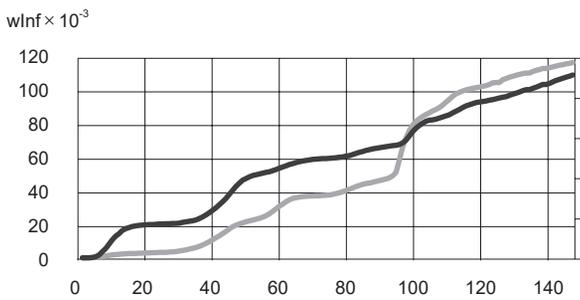
Испания



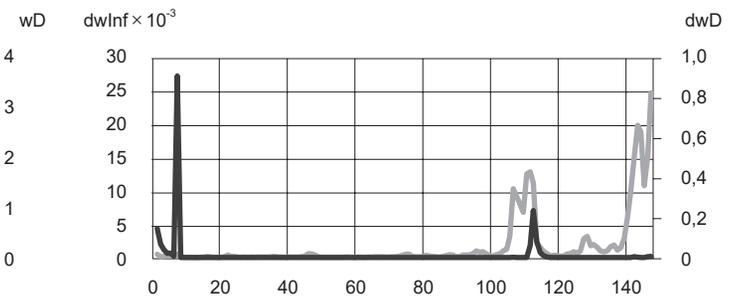
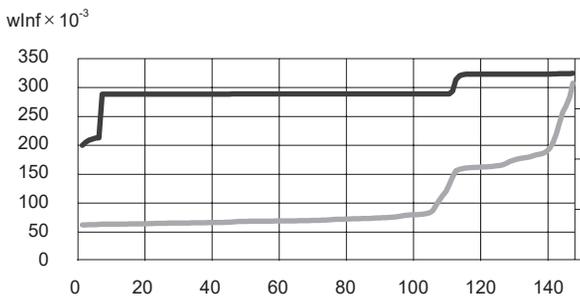
Италия



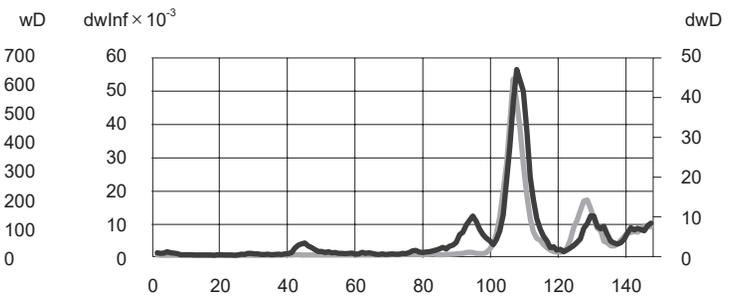
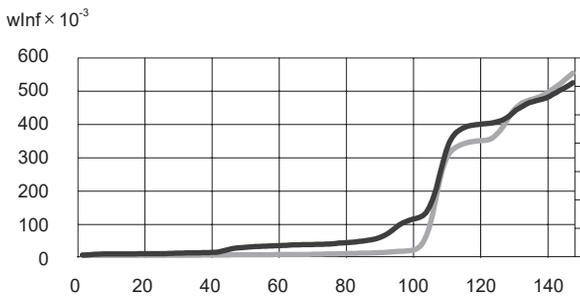
Канада



Китай



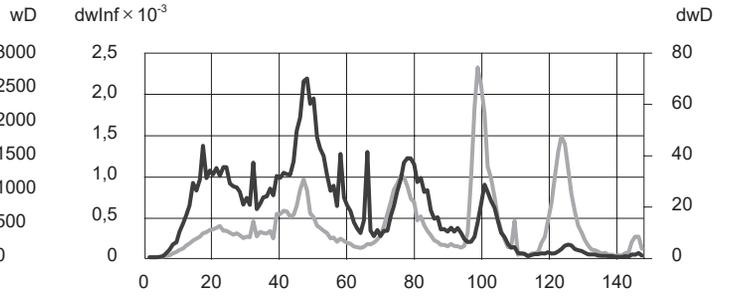
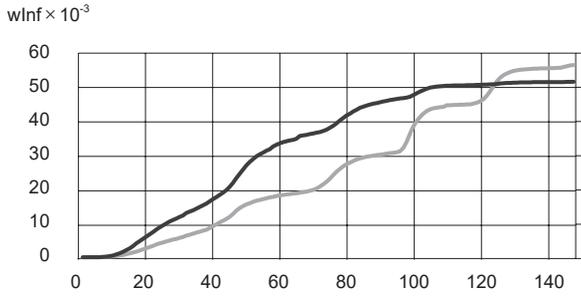
Республика Корея



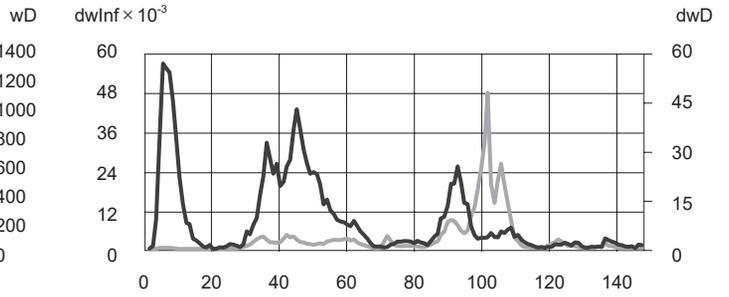
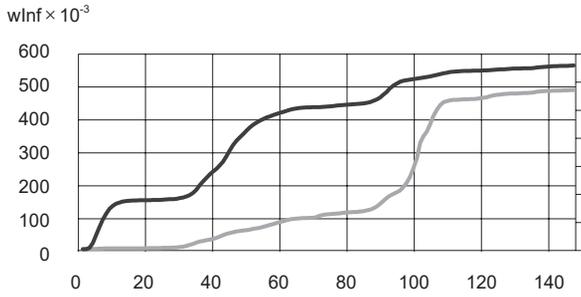
— wInf — wD

— dwInf — dwD

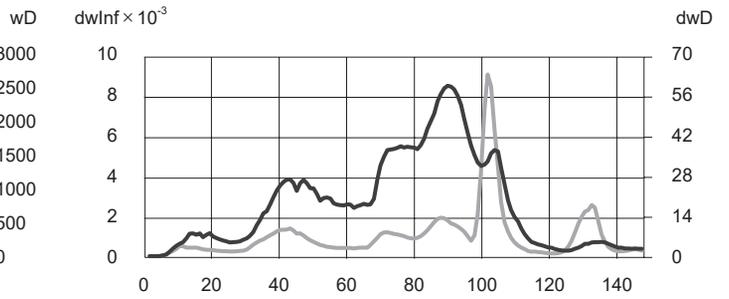
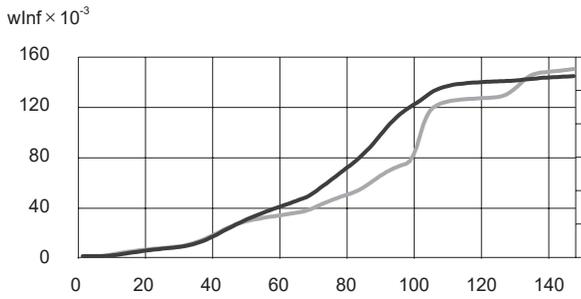
Мексика



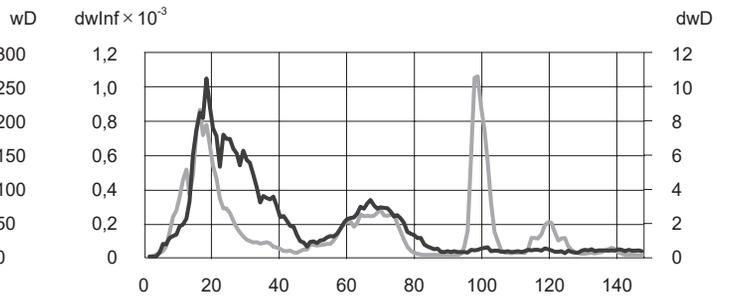
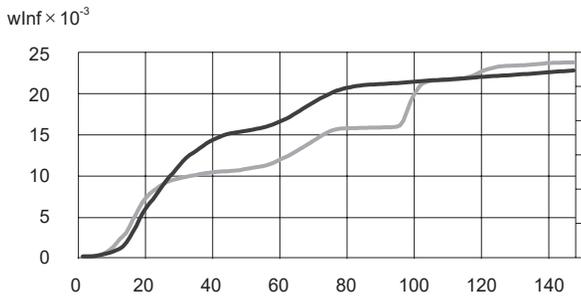
Нидерланды



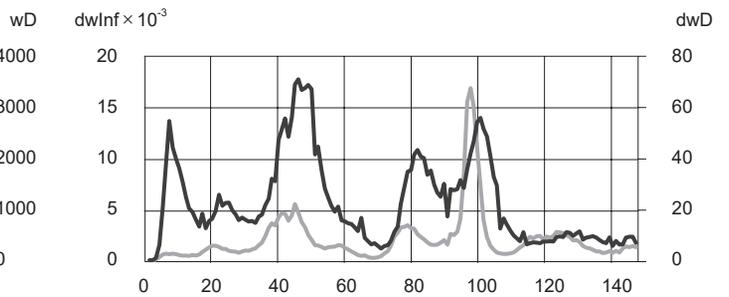
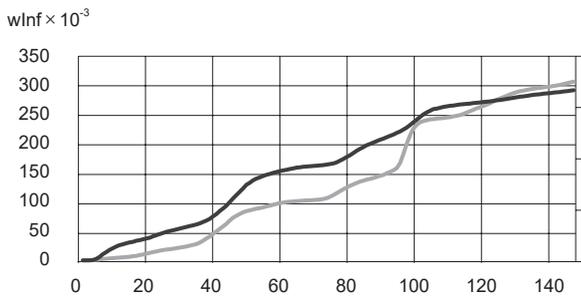
Россия



Саудовская Аравия



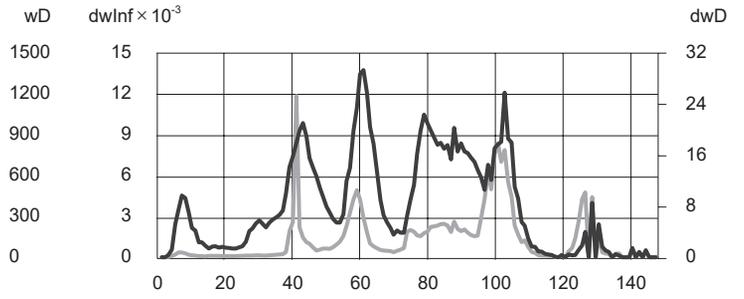
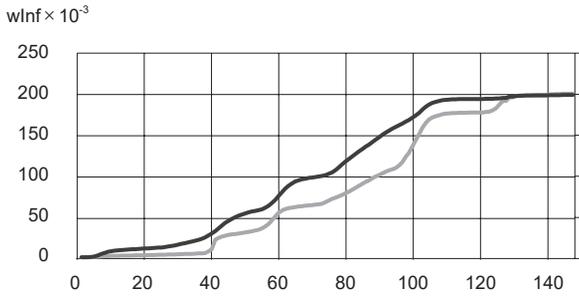
США



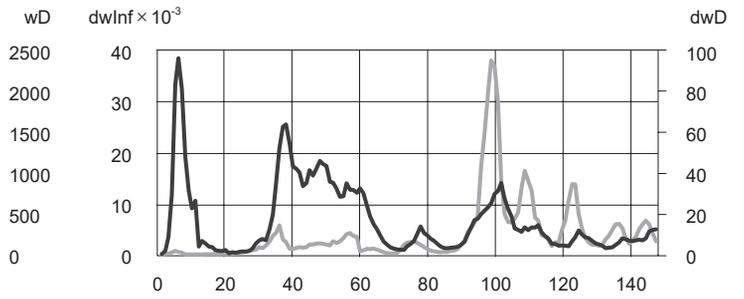
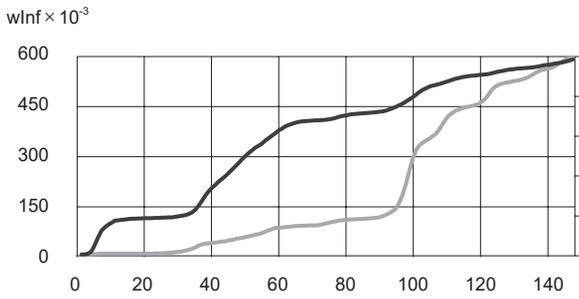
— wlnf — wD

— dwlnf — dwD

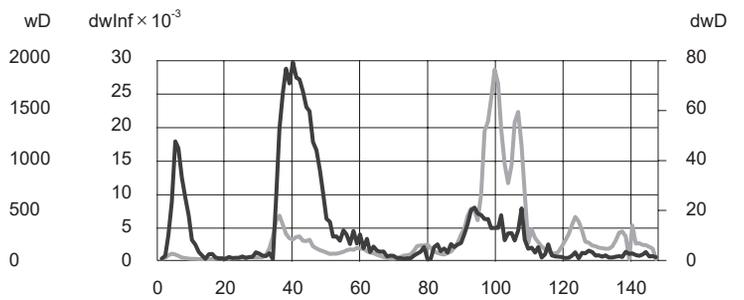
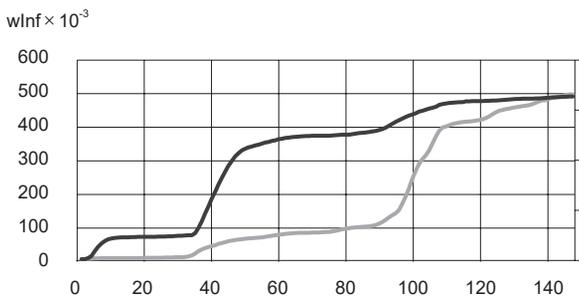
Турция



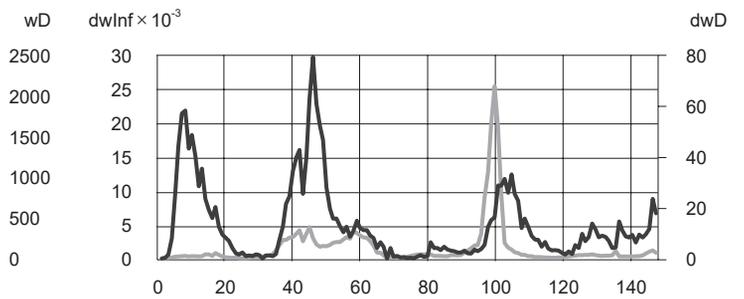
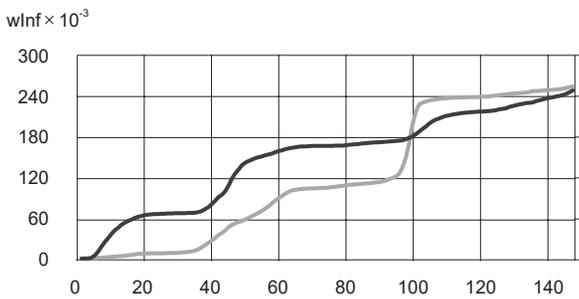
Франция



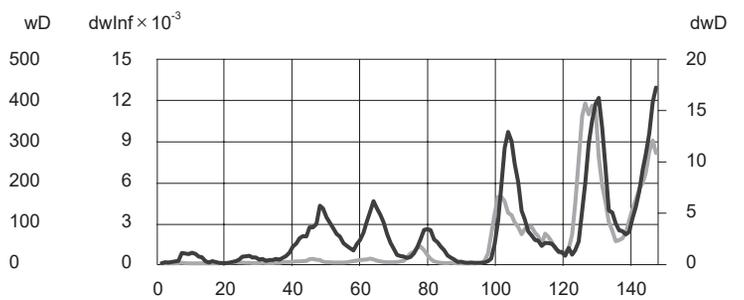
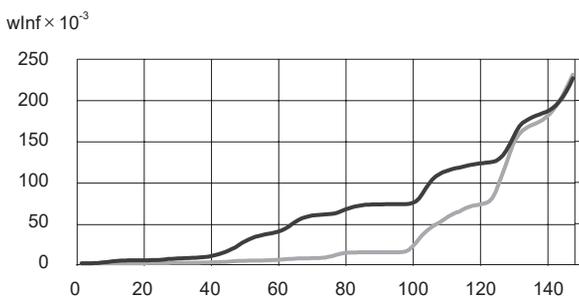
Швейцария



Швеция



Япония



— wlnf — wD

— dwlnf — dwD

Информация об авторах

Четвериков Виктор Михайлович – д-р физ.-мат. наук, профессор департамента прикладной математики, Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). 123458, г. Москва, Таллинская ул., д. 34, каб. 422. E-mail: chet_vic@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3592-4441>.

Пугачева Ольга Владимировна – канд. экон. наук, доцент кафедры экономической информатики, учета и коммерции, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины. 246019, Республика Беларусь, г. Гомель, Советская ул., д. 104. E-mail: OPugacheva@gsu.by. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4554-0038>.

Воронцова Татьяна Дмитриевна – преподаватель департамента прикладной математики, Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). 123458, г. Москва, Таллинская ул., д. 34, каб. 901. E-mail: tdvorontsova@hse.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7658-2911>.

References

1. Kurkin A.A., Kurkina O.E., Pelinovsky E.N. Logistic Models of Epidemic Growth. *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*. 2020;2(129):9–18. (In Russ.)
2. Kokoulina M.V. et al. Analysis of Coronavirus Dynamics Using the Generalized Logistic. *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*. 2020;3(130):28–41. (In Russ.)
3. Pelinovsky E. et al. Logistic Equation and COVID-19. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020;140(1). Article 110241.
4. Pelinovsky E. et al. Gompertz Model in COVID-19 Spreading Simulation. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2022;154(1). Article 111699.
5. Danilova I.A. Morbidity and Mortality from COVID-19. The Problem of Data Comparability. *Demographic Review*. 2020;7(1):6–26. (In Russ.) Available from: <https://doi.org/10.17323/demreview.v7i1.10818>.
6. Kolosnitsyna M.G., Chubarov M.Yu. Spread of COVID-19 in the Russian Regions in 2020: Factors of Excess Mortality. *Population and Economics*. 2022;6(4):1–20. (In Russ.) Available from: <https://doi.org/10.3897/popcon.6.e87739>.
7. Chetverikov V.M. The Relationship Between the Current Account Balance and Growth Rates for Large Economies. *Voprosy Statistiki*. 2018;25(5):62–69. (In Russ.)
8. Chetverikov V.M. Unique Features and Intensity of Covid-19 Spread in Large Economies. *Voprosy Statistiki*. 2020;27(6):86–104. (In Russ.)
9. Chetverikov V.M., Pugacheva O.V., Vorontsova T.D. Challenges to Generating Reliable COVID Statistics: Domestic and International Experience. *Voprosy Statistiki*. 2021;28(4): 45–66. (In Russ.)
10. Rothan H., Siddappa N. The Epidemiology and Pathogenesis of Coronavirus Disease (COVID-19) Outbreak. *Journal of Autoimmunity*. 2020;109:102433. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102433>; https://www.researchgate.net/publication/339515532_The_epidemiology_and_pathogenesis_of_coronavirus_disease_COVID-19_outbreak.
11. Husain I., Baudha Sh. The Outbreak, Epidemic and Pandemic of Coronavirus Disease (COVID-19). *International Journal of Advanced Research*. 2021;8(8):80–88. Available from: <http://dx.doi.org/10.22192/ijarbs.2021.08.08.009>; <https://www.researchgate.net/publication/354199825>.
12. Li Q. et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. *The New England Journal of Medicine*. 2020;382(13):1199–1207. Available from: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>.
13. Ivchenko G.I., Medvedev Ju.I. *Mathematical Statistics: Textbook*. Moscow: «Librokom» Publ.; 2014. 352 p. (In Russ.)
14. Bandoy D.J.D.R., Weimer B.C. Analysis of SARS-CoV-2 Genomic Epidemiology Reveals Disease Transmission Coupled to Variant Emergence and Allelic Variation. *Scientific Reports*. 2021;11(1). Article number: 7380.
15. Chizhevsky A.L. *Earth Echo of Solar Storms*. Ed. 2nd. Moscow: Mysl' Publ.; 1976. 367 p. (In Russ.)
16. Chizhevsky A.L. *Electrical and Magnetic Properties of Erythrocytes*. Kiev: Naukova Dumka; 1973. 94 p. (In Russ.)

About the authors

Victor M. Chetverikov – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, School of Applied Mathematics, HSE Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, National Research University Higher School of Economics (HSE University). 34, Tallinskaya Str., Room 422, Moscow, 123458, Russia. E-mail: chet_vic@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3592-4441>.

Olga V. Pugacheva – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of Economic Informatics, Accounting and Commerce, Francisk Skorina Gomel State University. 104, Sovetskaya Str., Gomel, 246019, Belarus. E-mail: OPugacheva@gsu.by. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4554-0038>.

Tatyana D. Vorontsova – Lecturer, School of Applied Mathematics, HSE Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, National Research University Higher School of Economics (HSE University). 34, Tallinskaya Str., Room 901, Moscow, 123458, Russia. E-mail: tdvorontsova@hse.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7658-2911>.