

Моделирование динамики ключевых интегральных показателей распространения COVID-19 в Санкт-Петербурге

П. В. Герасименко

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 190031, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9

Аннотация

Проведено моделирование динамики интегральных ключевых показателей распространения эпидемии коронавируса COVID-19 в Санкт-Петербурге. Примененный методический аппарат позволил на основании мониторинговых данных координационного совета по борьбе с распространением коронавируса в Санкт-Петербурге выполнить анализ динамики заражения, выздоровления и смерти в регионе. Результаты анализа моделирования позволили прийти к выводу о возможности оперативно проводить краткосрочный прогноз развития пандемии на основании полиномиальных функций регрессии интегральных показателей. Прогноз позволяет разрабатывать и более обоснованно формировать административно-санитарным учреждениям управленческие решения по созданию нормальных условий сохранения здоровья населения.

Ключевые слова: пандемия, COVID-19, регрессионная модель, ключевые интегральные показатели, прогноз.

Для цитирования: Герасименко, П. В. Моделирование динамики ключевых интегральных показателей распространения COVID-19 в Санкт-Петербурге // Здоровье мегаполиса. – 2023. – Т. 4. – № 1. – С. 83-89. doi: 10.47619/2713-2617.zm.2023.v.4i1;83-89

Modeling the dynamics of key integrated indicators for the COVID-19 spread in St. Petersburg

P. V. Gerasimenko

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., 190031, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

The author carried out the modeling of the dynamics of key integrated indicators for the COVID-19 outbreak in St. Petersburg, Russia. The dynamics of infection, recovery and mortality in the region was analyzed based on the monitoring data of the Coordination Council to control the incidence of the novel coronavirus infection in St. Petersburg. The analysis showed that it was possible to quickly make a short-term forecast for the pandemic spread based on the polynomial regression of integral indicators. Through forecasting, administrative and sanitary institutions have the possibility to make suitable management decisions on the creation of normal conditions for maintaining the public health.

Keywords: pandemic, COVID-19, regression model, key integrated indicators, forecast.

For citation: Gerasimenko PV. Modeling the dynamics of key integrated indicators of the COVID-19 spread in St. Petersburg. City Healthcare. 2023;4(1): 83-89. doi: 10.47619/2713-2617.zm.2023.v.4i1;83-89

© Автор сохраняет за собой авторские права на эту статью.

© Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike («Атрибуция-СохранениеУсловий») 4.0 Всемирная.

© Author retains the copyright of this article.

© This article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.

Введение

Согласно официальным оперативным данным, первый случай заболевания коронавирусной инфекцией COVID-19 в Санкт-Петербурге был зарегистрирован 5 марта 2020 г. После шести волн коронавирусной инфекции COVID-19 в середине июля 2022 г. Минздрав РФ известил о том, что эпидемиологическая ситуация по коронавирусу в стране стабилизировалась. Благодаря этому медицинские организации смогли вернуться к обычному формату работы.

Однако в последнюю неделю июля 2022 г. был снова отмечен прирост случаев заражения, несмотря на все предупредительные меры. Следует отметить, что, по мнению специалистов, эпидемия коронавируса может возвращаться, продлеваться и длиться достаточные периоды, что и наблюдается в настоящее время. Одновременно с этим желание администраций восстанавливать и поддерживать экономику на требуемом уровне заставляет снимать ограничения в регионах, что ослабляет процесс борьбы с коронавирусом.

Следовательно, как снятие ограничений, так и сама природа вируса могут приводить к поддержанию эпидемии. Поэтому целесообразно постоянно оценивать характер изменения основных интегральных ключевых показателей COVID-19 за весь период его протекания, поскольку эти знания позволят администрациям регионов и специалистам в сфере здравоохранения обоснованно информировать население при принятии решений по борьбе с коронавирусом. Оперативная информация должна достигаться с помощью упрощенного методического аппарата моделирования и прогнозирования по статистическим данным развития пандемии, вариант проведения которого предложен в настоящей работе на примере выполненного исследования динамики интегральных показателей развития коронавируса в Санкт-Петербурге. Результаты исследования и прежде всего характер изменения развития эпидемии позволят продемонстрировать населению достижения санитарно-эпидемиологического режима.

Координационными советами по борьбе с распространением COVID-19 в РФ проводится мониторинг числовых значений ключевых показателей как в целом по стране, так и по отдельным административно-территориальным регионам, которые отражаются на официальном сайте Правительства РФ (stopcoronavirus.rf). Публикуемые массивы статистических данных всех ключевых показателей по своей сути являются временными (динамическими) рядами. Именно эти статистические данные выступали исходными данными для моделирования теоретических показателей.

Теоретическими показателями состояния жизнедеятельности общества в период пандемии коронавируса COVID-19 являлись уровни заболеваемости, выздоровления и смерти в Санкт-Петербурге. Они в свою очередь зависели от предпринимаемых совместных мероприятий, проводимых медицинскими и административными органами, а также от принятия местным населением мер по борьбе с коронавирусной инфекцией. Их уровни оценивались с помощью ключевых интегральных (суммарных) величин.

Ключевые понятия и показатели распространения эпидемии, а также характер их изменения во времени устоялись в настоящее время в стране. Они понятны и известны любому жителю в регионах. За истекшее время развития пандемии COVID-19 в мире разработаны и применены новые модели, также ориентированные на другие инфекционные заболевания, которые дополнены и развиты применительно к эпидемии COVID-19 [3–8].

Материалы и методы

Как отмечалось, сегодня одной из актуальных задач, решение которой полезно для специалистов в сфере здравоохранения, администраций регионов и населения, является апробация методического аппарата для оперативного приближенного анализа процессов протекания заболевания и выздоровления населения в регионах по статистическим данным. Ранее автором работы был предложен такой аппарат [8], который позднее апробирован и описан применительно к моделированию и прогнозированию только показателей заражения числа жителей коронавирусом в городе Санкт-Петербурге [9]. В качестве математического аппарата использованы временные ряды (динамические ряды) и регрессионный анализ [10]. При этом принято допущение, что ряды являются стационарными, соответственно, их свойства не зависят от момента времени. Возможность такого допущения была подтверждена на основании анализа построенных по ним коррелограмм с аппарата [11].

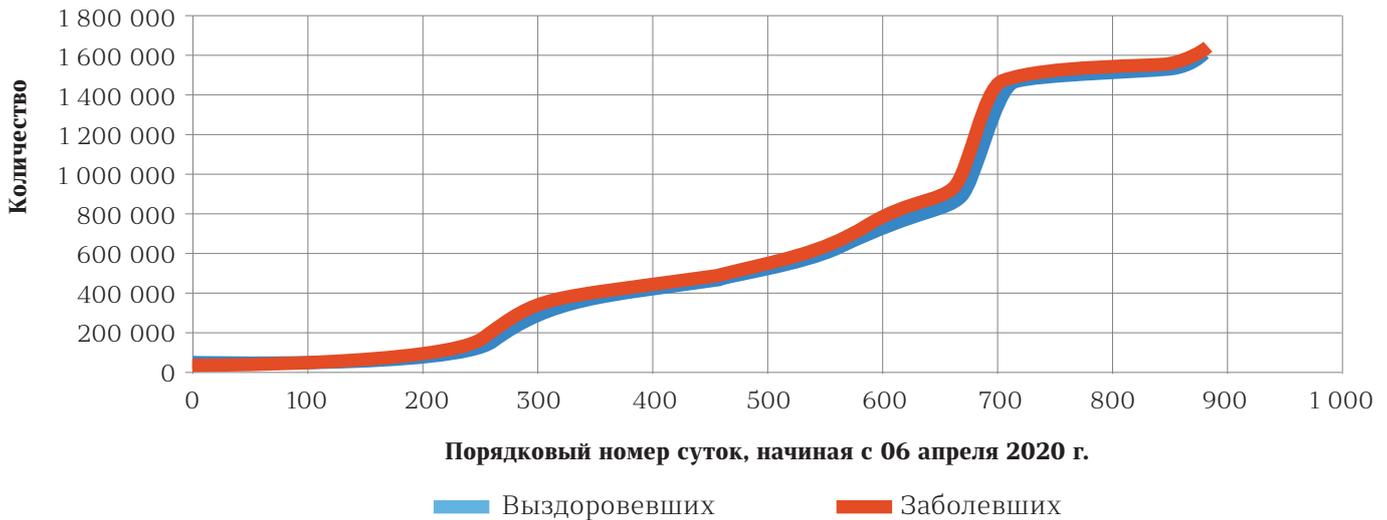
Временные ряды для всех исследований формировались по статистическим данным, приведенным на онлайн-сервисе «Статистика распространения коронавируса (COVID-19)» [12]. Реализация используемого алгоритма применительно к развивающейся эпидемии коронавируса в Санкт-Петербурге выполнена с помощью программы для работы с электронными таблицами Excel, в основе положен метод наименьших квадратов. В качестве математических моделей использованы полиномиальные функции регрессии.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены опытные суммарные значения заболевших и выздоровевших жителей Санкт-Петербурга за период распространения коронавируса с 06 апреля 2020 г. по 24 августа 2022 г., которые представлены по порядковым

номерам суток (отсчет начинается с 06 апреля 2020 г.). Из представленного на рисунке характера изменения показателей видна общая картина, которая позволяет ее в целом моделировать полиномиальными функциями таких порядков, которые превышают возможности Excel.

Рисунок 1 – Графики интегральных опытных количеств случаев заболеваний коронавирусом в 2020, 2021 и в 2022 гг. в Санкт-Петербурге.
Figure 1 – Graphs of the integral experimental numbers of coronavirus cases in 2020, 2021 and 2022 in St. Petersburg

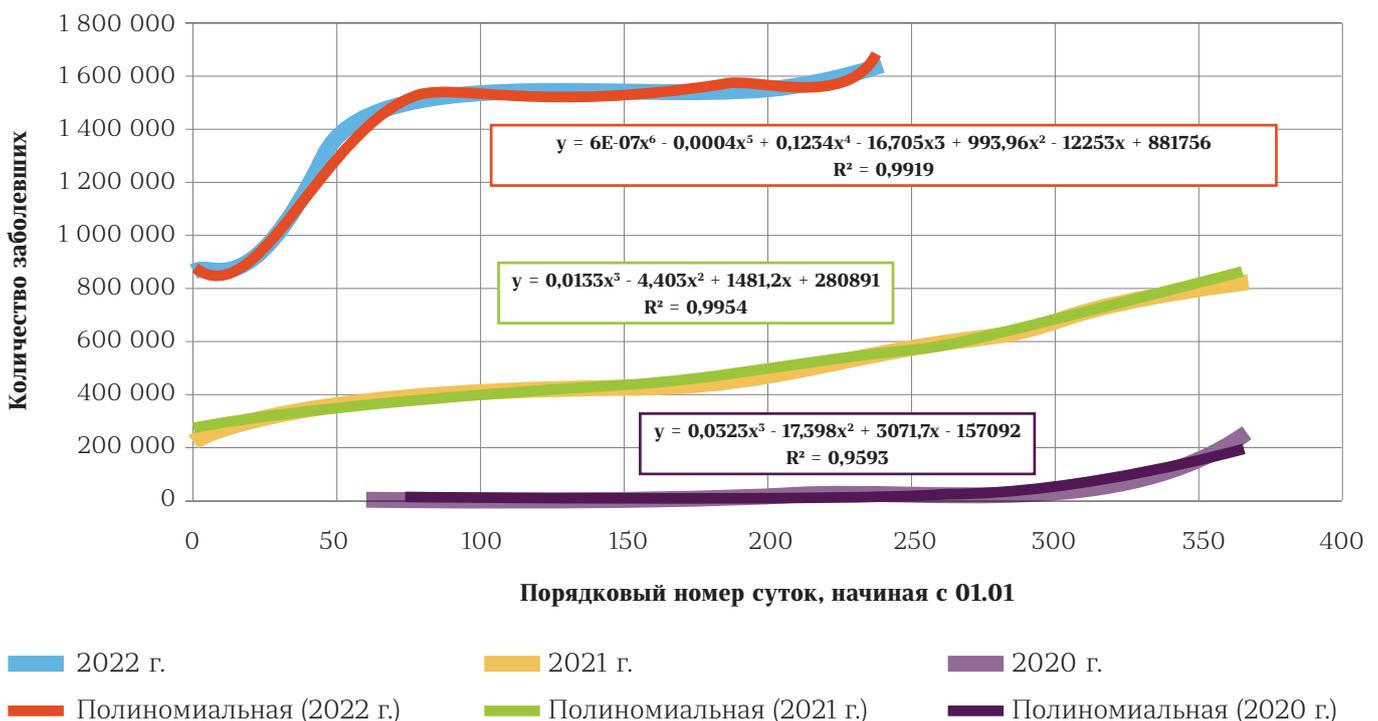


Поэтому для построения математических моделей целесообразно временные ряды формировать отдельно по годам: с 06 апреля по 31 декабря 2020 г., с 01 января по 31 декабря

2021 г., с 01 января по 24 августа 2022 г. Графики статистических данных и математических моделей заражения представлены на рис. 2.

Рисунок 2 – Графики и теоретические полиномиальные зависимости интегральных опытных количеств случаев заболеваний коронавирусом в 2020, 2021 и в 2022 гг. в Санкт-Петербурге.

Figure 2 – Graphs and theoretical polynomial dependencies of the integral experimental numbers of coronavirus cases in 2020, 2021 and 2022 in St. Petersburg.



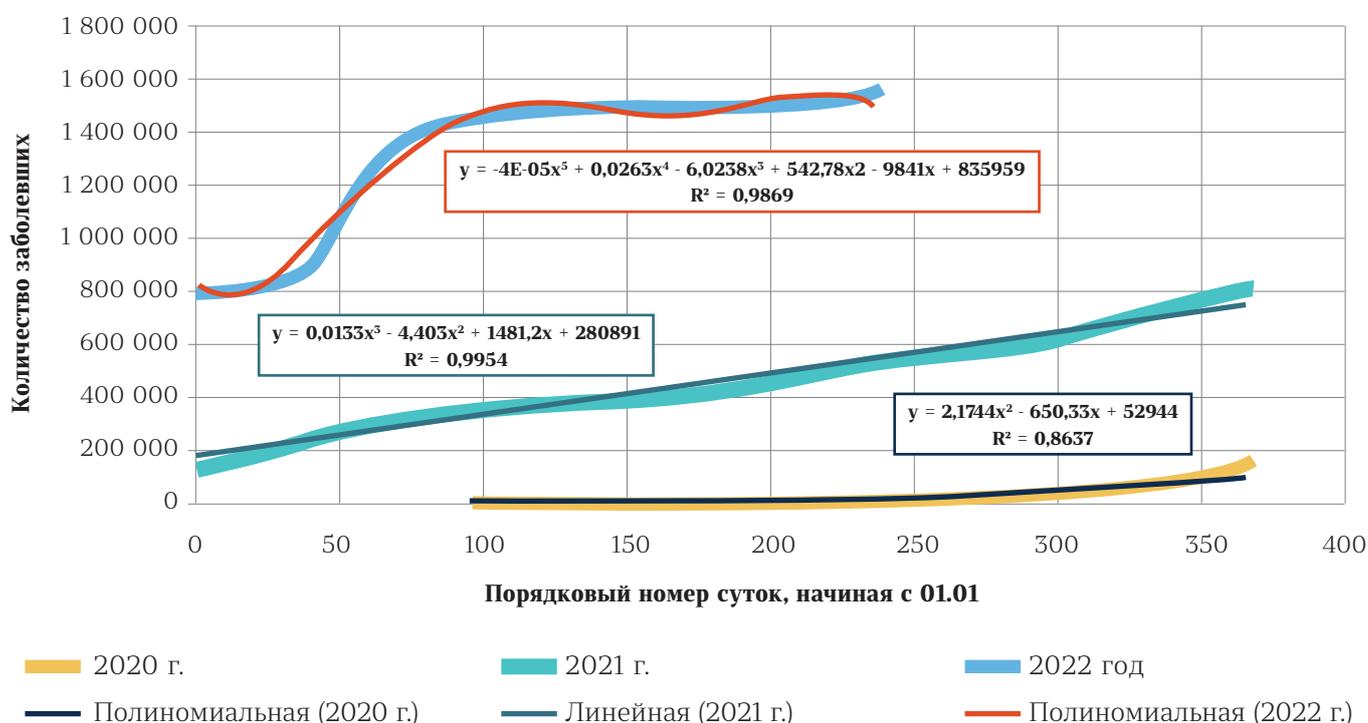
На рис. 2 приведены графики статистических данных заражения COVID-19 в городе Санкт-Петербурге, их математические модели в виде аналитических полиномиальных функций регрессии, с помощью которых продемонстрировано описание на трех периодах времени, и представлены коэффициенты детерминации [9]. Аппарат позволил построить достаточно адекватные модели краткосрочного прогнозирования распространения пандемии. Величины коэффициентов детерминации на всех трех временных промежутках превышают 0,99.

Эти величины свидетельствуют о высокой степени тесноты связи между опытными и теоретическими значениями.

На рис. 3 приведены графики статистических данных выздоровевших, математические модели в виде линейной (2021 г.) и аналитических полиномиальных функций регрессии, с помощью которых продемонстрировано описание выздоровления от COVID-19 в городе Санкт-Петербурге на трех периодах времени, и представлены коэффициенты детерминации.

Рисунок 3 – Графики и теоретические полиномиальные зависимости интегральных опытных количеств случаев выздоровления от COVID-19 в 2020, 2021 и в 2022 г. в Санкт-Петербурге.

Figure 3 – Graphs and theoretical polynomial dependencies of the integral experimental numbers of recovery from COVID-19 in 2020, 2021 and 2022 in St. Petersburg.

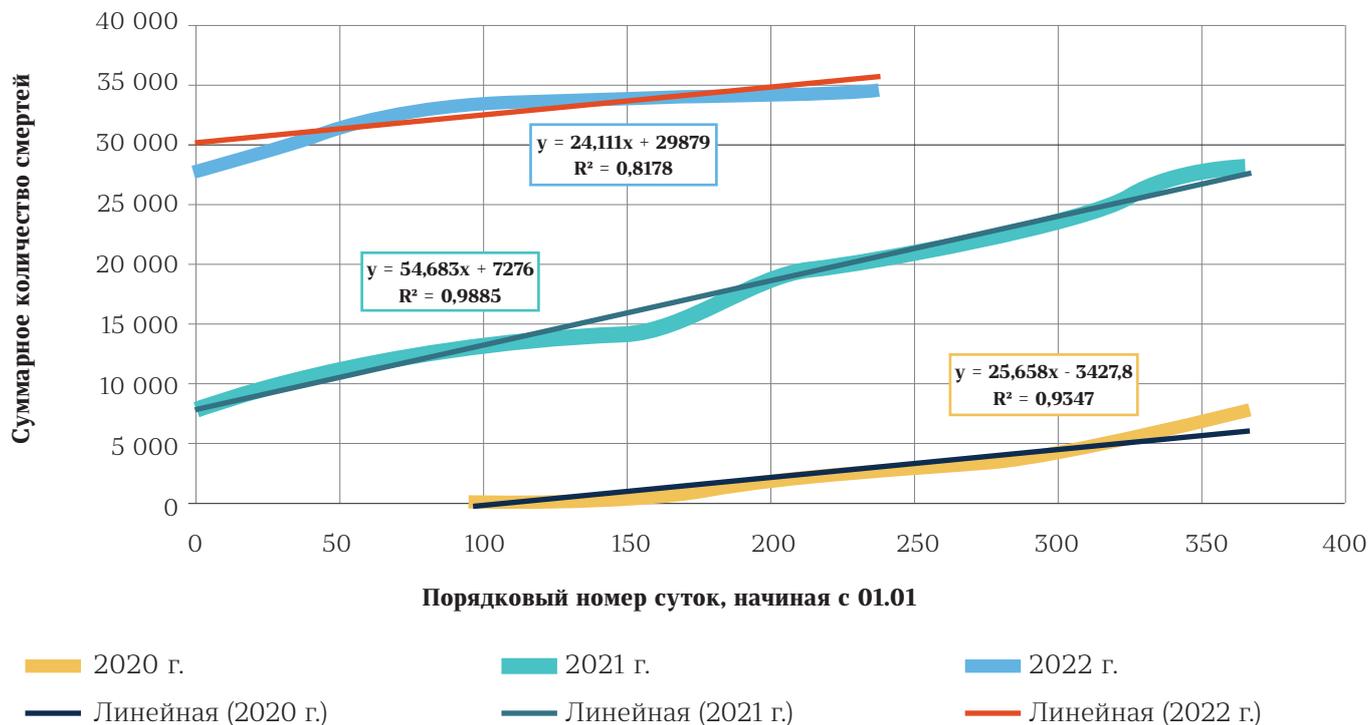


На основании представленных результатов моделирования виден процесс выздоровления, выполненный с помощью линейной и полиномиальных функции более низкого порядка, которые достигнуты при достаточно высоком качестве аппроксимации.

На рис. 4 представлены графики статистических данных количества смертей от заболевания COVID-19, их математические модели в виде линейных функций регрессии на трех периодах времени и приведены коэффициенты детерминации.

Рисунок 4 – Графики и теоретические полиномиальные зависимости интегральных опытных количеств случаев смертей от COVID-19 в 2020, 2021 и в 2022 гг. в Санкт-Петербурге.

Figure 4 – Graphs and theoretical polynomial dependencies of the integral experimental numbers of death in 2020, 2021 and 2022 in St. Petersburg.



На основании приведенных величин коэффициентов детерминации, значения которых находятся в диапазоне от 0,817 до 0,988, можно заключить о хорошей и высокой степени тесноты связи опытных и моделируемых показателей смерти населения от коронавируса.

Заключение

На основании проведенного исследования можно заключить, что административно-санитарные учреждения и их мероприятия продолжают играть важную роль в борьбе за здоровье населения, но, учитывая важность решаемых ими задач, деятельность включенных в борьбу с пандемией организаций требует дальнейшего совершенствования. Задачи, которые вытекают из этих требований, следует разделить на задачи сегодняшнего дня и перспективные.

В настоящее время при низкой смертности и наличии условий и средств лечения необходимо продолжать регулярное тестирование основных показателей распространения коронавируса COVID-19 и по ним проводить моделирование и прогнозирование динамики ключевых показателей эпидемической ситуации.

В перспективе целесообразно направить усилия на создание электронных информационных региональных центров, которые должны проводить

опытно-теоретические исследования и регулярно доводить до населения квалифицированные методы борьбы с пандемией через средства массовой информации. Достойное место в таких центрах должны занимать специалисты по моделированию и прогнозированию ключевых показателей развития пандемий и эпидемий в стране, поскольку надежд на их прекращения в современном мире ожидать не следует.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Funding: the author received no financial support for the research.

Список литературы

1. Матвеев А. В. Математическое моделирование оценки эффективности мер против распространения эпидемии COVID-19 // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2020. – № 1 (29). – С. 23–39.
2. Linka K., Peirlinck M., Kuhl E. The reproduction number of COVID-19 and its correlation with public health interventions // Computation Mathematics. – 2020. – Vol. 7. – P. 1035–1050. DOI: 10.1101/2020.05.01.20088047
3. Assessing the impact of non-pharmaceutical interventions (NPI) on the dynamics of COVID-19:

A mathematical modelling study in the case of Ethiopia / B.A. Ejigu, M.D. Asfaw, L. Cavalerie, T. Abebaw, M. Nanyingi, M. Baylis // medRxiv. – 2020. – P. 30. DOI: 10.1101/2020.11.16.20231746

4. Spatio-temporal propagation of COVID-19 pandemics / B. Gross, Z. Zheng, S. Liu, X. Chen, A. Sela, J. Li, D. Li, S. Havlin // medRxiv. – 2020. – Vol. 9. – P. 6. DOI: 10.1101/2020.03.23.20041517

5. Yesilkanat C.M. Spatio-temporal estimation of the daily cases of COVID-19 in worldwide using random forest machine learning algorithm // Chaos, Solitons and Fractals. – 2020. – Vol. 140. – P. 110210. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110210

6. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China / J.S. Jia, X. Lu, Y. Yuan, G. Xu, J. Jia, N.A. Christakis // Nature. – 2020. – Vol. 582. – P. 389–394.

7. Пространственно-временное моделирование эпидемии COVID-19 / В. Л. Соколовский, Г. Б. Фурман, Д. А. Полянская, Е. Г. Фурман // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 23–37. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03

8. Герасименко П. В. Моделирование и прогнозирование показателей динамики заболевания жителей регионов коронавирусом COVID-19 / П. В. Герасименко // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 88–97. doi: 10.17816/transsyst20206488-97

9. Герасименко, П. В. Моделирование количества случаев заболевания коронавирусом COVID-19 в Санкт-Петербурге в период 2020–2022 гг. // Здоровье мегаполиса. – 2022. – Т. 3. – № 3. – С. 30–38. doi:10.47619/2713-2617.zm.2022.v.3i3;30-38

10. Вертешев С. М., Герасименко П. В., Лехин С. Н. Роль математики и информатики в подготовке инженеров для инновационной деятельности // Перспективы развития высшей школы: материалы X Международной научно-методической конференции. – Гродно: ГГАУ, 2017 г. – С. 223–226.

11. Герасименко П. В., Ходаковский В. А. Введение в эконометрику. Учебное пособие. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2005. – 60 с.

12. Статистика распространения коронавируса (COVID-19). Онлайн-сервис <https://coronavirustracking.ru/> (дата обращения: 20.08.2022).

References

1. Matveev A.V. Mathematical modeling of evaluating the effectiveness of measures against the spread of the COVID-19 epidemic // National Security and Strategic Planning. – 2020. – No. 1 (29). – P. 23–39.

2. Linka K., Peirlinck M., Kuhl E. The reproduction number of COVID-19 and its correlation with public health interventions // Computation Mathematics. – 2020. – Vol. 7. – P. 1035–1050. DOI: 10.1101/2020.05.01.20088047

3. Assessing the impact of non-pharmaceutical interventions (NPI) on the dynamics of COVID-19: A mathematical modeling study in the case of Ethiopia / B. A. Ejigu, M.D. Asfaw, L. Cavalerie, T. Abebaw, M. Nanyingi, M. Baylis // medRxiv. – 2020. – P. 30. DOI: 10.1101/2020.11.16.20231746

4. Spatio-temporal propagation of COVID-19 pandemics / B. Gross, Z. Zheng, S. Liu, X. Chen, A. Sela, J. Li, D. Li, S. Havlin // medRxiv. – 2020. – Vol. 9. – P. 6. DOI: 10.1101/2020.03.23.20041517

5. Yesilkanat C. M. Spatio-temporal estimation of the daily cases of COVID-19 in worldwide using random forest machine learning algorithm // Chaos, Solitons and Fractals. – 2020. – Vol. 140. – P. 110210. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110210

6. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China / J.S. Jia, X. Lu, Y. Yuan, G. Xu, J. Jia, N.A. Christakis // Nature. – 2020. – Vol. 582. – P. 389–394.

7. Spatio-temporal modeling of the COVID-19 epidemic / V.L. Sokolovsky, G. B. Furman, D. A. Polyanskaya, E.G. Furman // Health risk analysis. – 2021. – No. 1. – P. 23–37. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03

8. Gerasimenko P.V. Modeling and forecasting indicators of the dynamics of the disease of residents of the regions with coronavirus COVID-19 / P. V. Gerasimenko // Transport systems and technologies. – 2020. – V. 6. – No. 4. – P. 88–97. doi:10.17816/transsyst20206488-97

9. Gerasimenko P.V., Modeling the number of cases of COVID-19 coronavirus in St. Petersburg in the period 2020–2022. // City Healthcare. 2022; 3(3):30–38 doi:10.47619/2713-2617.zm.2022.v.3i3;30-38

10. Verteshev S. M., Gerasimenko P. V., Lekhin S. N. The role of mathematics and informatics in the training of engineers for innovation // Prospects for the development of higher education: materials of the X International scientific and methodological conference. – Grodno: GSAU, 2017 – S. 223–226.

11. Gerasimenko P.V., Khodakovsky V.A. Introduction to econometrics. Tutorial. – St. Petersburg: PGUPS, 2005. – P. 60.

12. Coronavirus (COVID-19) spread statistics. Online service <https://coronavirus-tracking.ru/>. (date of access: 20.08.2022)

Информация об авторе:

Герасименко Петр Васильевич – д. т. н., профессор, профессор кафедры «Экономика и менеджмент в строительстве», ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», <https://orcid.org/0000-0002-7546-661X>.

Сфера научных интересов охватывает математику, механику упругих систем,

применение математических методов в экономике, эконометрику, учебный процесс в школе и вузе.

Information about the author:

Petr V. Gerasimenko – Dr. Sci. in Technical Sciences, Professor, Professor of the Economics and Management in Construction Academic Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, <https://orcid.org/0000-0002-7546-661X>.

His scientific interests cover mathematics, mechanics of elastic systems, econometrics, application of mathematical methods in economics and academic activity in schools and institutions of higher education.

Для корреспонденции:

Герасименко Петр Васильевич

Correspondence to:

Petr V. Gerasimenko

pv39@mail.ru