



Munich Personal RePEc Archive

Analysis of Covid-19 wave distribution in Russia

Pavlov, Konstantin and Timiryanova, Venera and Yusupov, Kasim and Krasnoselskaya, Dina

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Ufa University of Science and Technology, Ufa State Petroleum Technological University

15 November 2022

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/114637/>
MPRA Paper No. 114637, posted 16 Nov 2022 00:57 UTC

ANALYSIS OF COVID-19 WAVE DISTRIBUTION IN RUSSIA

K. Pavlov¹, V. Timiryanova², K. Yusupov², D. Krasnoselskaya^{2,3}

*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk
Ufa University of Science and Technology
Ufa State Petroleum Technological University
E-mail: 79174073127@mail.ru*

The study focuses on the spatial autocorrelation of the number of infections and deaths from COVID-19 per capita across Russian regions from the beginning of the epidemic to November 10, 2022. The analysis showed a wave-like change in the regional spatial dependence in terms of the number of infections. The significance of spatial links decreases during the period of severe restrictions' introduction. Spatial autocorrelation of covid mortality is not significant. Regional variance on mortality in recent months has been increasing in contrast to the variance of regions on infection rates. The calculation made it possible to substantiate regional fragmentation in terms of mortality which determines the relevance of a deeper study of the healthcare systems' quality in the regions.

Keywords: COVID-19, spatial analysis, Global Moran's Index

АНАЛИЗ ВОЛН РАСПРОСТРАНЕНИЯ COVID-19 В РОССИИ

**К.В. Павлов¹, В.М. Тимирьянова²,
К.Н. Юсупов², Д.Х. Красносельская^{2,3}**

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Беларусь
Уфимский университет науки и технологий, Россия
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия
E-mail: 79174073127@mail.ru*

В материалах представлены результаты оценки пространственной автокорреляции числа заражений и смертей от COVID-19 в расчете на душу населения для регионов Российской Федерации в период с начала эпидемии по 10 ноября 2022г. Анализ показал волнообразное изменение в пространственной зависимости регионов по числу заражений. Значимость пространственных связей снижается в период введения жестких ограничений. Расчет позволил обосновать региональную фрагментарность по уровню смертности, которая определяет актуальность более глубокого изучения качества систем здравоохранения в регионах.

Ключевые слова: COVID-19, пространственный анализ, Глобальный индекс Морана

Введение

11 марта 2020г. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) объявлена пандемия COVID-19. Согласно исследованиям ВОЗ по состоянию на 6 ноября 2022 года во всем мире было зарегистрировано более 629 миллионов подтвержденных случаев заболевания Коронавирусной инфекцией и более 6,5 миллионов случаев смерти [1]. Все это время идут многочисленные дискуссии о ее распространении, в том числе о пространственных факторах этого процесса. Принимая во внимание то, что «все связано со всем остальным, а мобильность

1 Weekly epidemiological update on COVID-19 - 25 May 2022. World Health Organization. 2022. Edition 93. URL: <https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update-on-covid-19---9-november-2022> (дата обращения 11.11.2022)

сжимает пространство» [2], изучение территориальных факторов распространения COVID-19 имеет решающее значение для прогнозирования распространения вспышек и разработки решений по ее сдерживанию.

Скорость и масштабы пространственного распространения эпидемии определяются множеством факторов. Одни из первых исследований, связанные с распространением вируса в Китае, предусматривают не только анализ эпидемии на ранних стадиях в материковой части, но и условий их распространения [3, 4]. Результаты этих исследований показали на значительную пространственную автокорреляцию инфекции COVID-19 примерно с 22 января 2020 года. Xiong Y. и соавторами анализ проводился на двух уровнях географической агрегации данных: на уровне округа и префектуры. На обоих уровнях в провинции Хубэй была выявлена пространственная автокорреляция, имеющая высокую связь с социальными и экономическими факторами [5]. Последующие исследования показывают, что значение пространственной корреляции в Китае, начиная с февраля, снизилось [6], что стало следствием действенных мер по профилактике и контролю пандемии.

Интерес к пространственному распространению инфекции возник не только в Китае. Можно предположить, что в той или иной степени оно рассматривалось в каждой стране мира. Об этом свидетельствуют многочисленные обзоры, структурирующие и обобщающие получаемые в ходе различных исследований новые данные о территориальном распространении новой коронавирусной инфекции [7,8,9,10,11]. Исследования показывают, что меры, принимаемые каждой страной, определяют очень разнообразные пространственные и временные вариации распространения вируса, исследование которых расширяет представление о возможностях смягчения влияния пандемии на локальном уровне [12]. Даже внутри одной страны может проявляться различная динамика пространственной зависимости, особенно если каждая территориальная единица принимает свои законодательные акты. Так,

2 Kost G.J. Geospatial hotspots need point-of-care strategies to stop highly infectious outbreaks: Ebola and coronavirus. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*. Archives of Pathology & Laboratory Medicine. Vol. 2020. 144 (10) . Pp. 1166–1190. <https://doi.org/10.5858/arpa.2020-0172-RA> (In press).

3 Kang D., Choi H., Kim J.-H., Choi J. Spatial epidemic dynamics of the COVID-19 outbreak in China. *International Journal of Infectious Diseases*. 2020. Vol. 94. Pp. 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.076>

4 Xiong Y., Wang Y., Chen F., Zhu M. Spatial Statistics and Influencing Factors of the COVID-19 Epidemic at Both Prefecture and County Levels in Hubei Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17(11):3903. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113903>

5 Xiong Y., Wang Y., Chen F., Zhu M. Spatial Statistics and Influencing Factors of the COVID-19 Epidemic at Both Prefecture and County Levels in Hubei Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17(11):3903. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113903>

6 Wang Q., Dong W., Yang K., Rena Zh., Huang D., Zhang P., Wang J. Temporal and spatial analysis of COVID-19 transmission in China and its influencing factors. *International Journal of Infectious Diseases*. 2021. Vol. 105. Pp. 675–685 <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.03.014>

7 Franch-Pardo I., Napoletano B. M., Rosete-Verges F., Billa L. Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 739. 140033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140033>

8 Fatima M., O’Keefe K.J., Wei W., Arshad S., Gruebner O. Geospatial analysis of COVID-19: A Scoping Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021. Vol. 18. 2336. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052336>

9 Franch-Pardo I., Desjardins M. R., Barea-Navarro I., Cerdà A. A review of GIS methodologies to analyze the dynamics of COVID-19 in the second half of 2020. *Transactions in GIS*. 2021. Vol. 25. Pp. 2191–2239. <https://doi.org/10.1111/tgis.12792>

10 Nazia N., Butt Z.A., Bedard M.L., Tang W.-C., Sehar H., Law J. Methods Used in the Spatial and Spatiotemporal Analysis of COVID-19 Epidemiology: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022. Vol. 19, 8267. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148267>

11 Ahasan R, Alam MS, Chakraborty T, Hossain MM. Applications of GIS and geospatial analyses in COVID-19 research: A systematic review. *F1000Res*. 2022 Jan 28;9:1379. <https://doi.org/10.12688/f1000research.27544.2>

12 Franch-Pardo I., Desjardins M. R., Barea-Navarro I., Cerdà A. A review of GIS methodologies to analyze the dynamics of COVID-19 in the second half of 2020. *Transactions in GIS*. 2021. Vol. 25. Pp. 2191–2239. <https://doi.org/10.1111/tgis.12792>

исследование Liu L. и соавторов свидетельствует о том, что различная политика штатов в США по-разному повлияла на передачу COVID-19 между округами [13].

Исследования показывают, что различные ограничения оказывают влияние на распространение вируса с различным эффектом в разные периоды времени применительно к разным волнам эпидемии. В отношении полной изоляции и локдаунов, преимущественно подчеркивается их существенное влияние на распространение COVID-19 [14,15]. Не все страны ввели карантин, но в большей или меньшей степени все снизили мобильность своих граждан, активность хозяйственной и производственной деятельности. В частности, сравнение стран указывает на неоднородную зависимость между COVID-19 и мобильностью населения. Так исследование Habib Y. указывает на наличие значительной положительной связи между COVID-19 и транспортной мобильностью в США, Великобритании, Испании, Италии, Канаде, Франции, Германии и Бельгии, но в случае Бразилии и Мексики результаты контрастируют [16].

Исследование распространения COVID-19 в России также актуально. Однако в них достаточно усеченно рассматривается пространственный контекст, в связи с чем ни в одном из отмеченных обзоров исследования, выполненные в России не попали. В частности, можно отметить работы Земцова С.П. и Бабурина В.Л. [17,18], А.Н. Панина, Рьльского И.А., Тикунова В.С. [19], Кравченко Н.А., Ивановой А.И. [20], Наумова И. В., Отмаховой Ю. С., Красных С. С. [21], Таркова С.А. [22], Лифшиц М.Л., Неклюдовой Н.П. [23], Аристов В.В., Строганова А.В., Ястребова А.Д. [24], Котова Е.А., Гончарова Р.В., Кульчицкого Ю.В., Молодцовой В.А., Никитина Б.В.[25]. Большинство исследований концентрировало внимание на направлениях распространения вируса [26]. Отмечались межрегиональные различия по

13 Liu L, Hu T, Bao S, Wu H, Peng Z, Wang R. The Spatiotemporal Interaction Effect of COVID-19 Transmission in the United States. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021. Vol. 10(6). 387. <https://doi.org/10.3390/ijgi10060387>

14 Bourdin S., Jeanne L., Nadou F., Noiret G. Does lockdown work? A spatial analysis of the spread and concentration of Covid-19 in Italy. *Regional Studies*. 2021. Vol. 55:7. Pp.1182-1193. <https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1887471>

15 Arashi, M., Bekker, A., Salehi, M. et al. Evaluating prediction of COVID-19 at provincial level of South Africa: a statistical perspective. *Environ Sci Pollut Res*. 2022. Vol. 29, 21289–21302. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17291-y>

16 Habib Y., Xia E., Hashmi Sh. H., Fareed Z. Non-linear spatial linkage between COVID-19 pandemic and mobility in ten countries: A lesson for future wave. *Journal of Infection and Public Health*. 2021. Vol.14(10). Pp. 1411-1426. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.08.008>

17 Земцов С.П., Бабури В.Л. COVID-19: Пространственная динамика и факторы распространения по регионам России. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2020. № 4. С. 485-505. <https://doi.org/10.31857/S2587556620040159>

18 Zemtsov S. P., Baburin V. L. COVID-19: Spatial Dynamics and Diffusion Factors across Russian Regions. *Regional Research of Russia*. 2020. Vol. 10, No. 3. Pp. 273–290. <https://doi.org/10.1134/S2079970520030156>

19 Панин А.Н., Рьльский И.А., Тикунов В.С. Пространственные закономерности распространения пандемии COVID-19 в России и мире: картографический анализ. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2021. Vol. 1. Pp. 62-77.

20 Кравченко Н.А., Иванова А.И. Распространение коронавируса в России: региональные особенности. *Регион: экономика и социология*. 2021. № 2. С. 78-99. <https://doi.org/10.15372/REG20210204>

21 Наумов И. В., Отмахова Ю. С., Красных С. С. Методологический подход к моделированию и прогнозированию воздействия пространственной неоднородности процессов распространения COVID-19 на экономическое развитие регионов России. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2021. Т. 13. Вып. 3. 629–648. <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2021-13-3-629-648>

22 Tarkhov S. A. Spatial Features of Covid-2019 Diffusion in Russian Regions: the View of the Transport Geographer. *Geography, Environment, Sustainability*. 2022. Vol.15, № 1. Pp. 87-101. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-107>

23 Lifshits M.L., Neklyudova N.P. COVID-19 mortality rate in Russian regions: forecasts and reality. *R-economy*. 2020. Vol. 6(3). Pp. 171–182. <https://doi.org/10.15826/recon.2020.6.3.015>

24 Aristov V.V., Stroganov A.V., Yastrebov A.D. Simulation of Spatial Spread of the COVID-19 Pandemic on the Basis of the Kinetic-Advection Model. *Physics*. 2021. Vol. 3. Pp. 85–102. <https://doi.org/10.3390/physics3010008>

25 Kotov E.A., Goncharov R.V., Kulchitsky Y.V., Molodsova V.A., Nikitin B.V. Spatial Modelling of Key Regional-Level Factors of Covid-19 Mortality In Russia. *Geography, Environment, Sustainability*. 2022. Vol. 2(15). Pp. 71-83. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-076>

26 Aristov V.V., Stroganov A.V., Yastrebov A.D. Simulation of Spatial Spread of the COVID-19 Pandemic on the Basis of the Kinetic-Advection Model. *Physics*. 2021. Vol. 3. Pp. 85–102. <https://doi.org/10.3390/physics3010008>

количеству случаев и уровню заболеваемости, а также роль разветвленной системы воздушного сообщения на первом этапе эпидемии [27]. Важным результатом таких исследований стало обоснование связи заболеваемости и различных социально-экономических характеристик регионов [28]. Однако непосредственно соседство регионов, пространственный лаг в расчетах учитывались только в двух работах [29,30]. При этом в обоих работах рассматривался период до февраля 2021г. в месячной детализации. Учитывая вышеизложенное, целью текущего исследования является выявление изменений в пространственной зависимости числа заражений и смертей от COVID-19 в Российской Федерации на протяжении всего периода с начала эпидемии в дневной детализации.

Методология

Анализ проводился на данных, размещенных в сервисе визуализации и анализа данных Yandex DataLens (<https://datalens.yandex.ru/>). Они включают в себя ежедневные сведения о числе заразившихся и числе смертельных случаев от COVID-19 в разрезе регионов Российской Федерации (рис. 1). Анализируемый период составил 976 дней (с 12 марта 2020г. по 11 ноября 2022 г.)

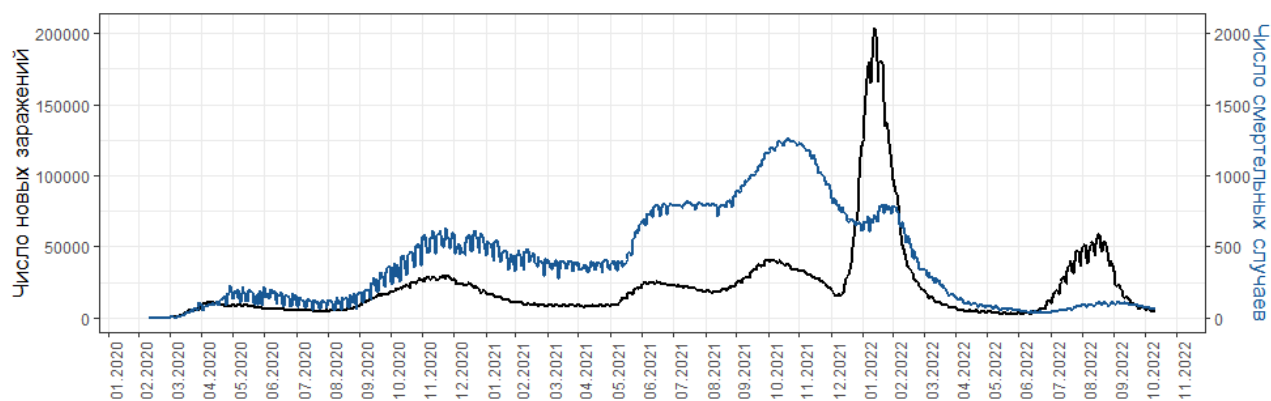


Рис. 1. Дневные значения числа новых заражений и смертельных случаев от COVID-19 в целом по Российской Федерации в период с начала эпидемии по ноябрь 2022г.*

*Рассчитано авторами по данным Коронавирус: дашборд (<https://datalens.yandex.ru/>)

Значения показателей для целей анализа были приведены в сопоставимый вид путем пересчета на душу населения.

Пространственная зависимость в работе рассматривалась с помощью двух наиболее часто используемых показателей. На первом этапе была оценена вариация регионов по числу заражений и смертей от COVID-19:

$$CV_t = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_{it} - \bar{x}_t)^2}}{\bar{x}_t},$$

где x_{it} – значение показателя в регионе i (1..83) в день t (1..976)

\bar{x}_t – среднее значение показателя в день t (1..976).

27 Tarkhov S. A. Spatial Features of Covid-2019 Diffusion in Russian Regions: the View of the Transport Geographer. *Geography, Environment, Sustainability*. 2022. Vol.15, № 1. Pp. 87-101. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-107>

28 Земцов С.П., Бабуринов В.Л. COVID-19: Пространственная динамика и факторы распространения по регионам России. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2020. № 4. С. 485-505. <https://doi.org/10.31857/S2587556620040159>

29 Наумов И. В., Отмахова Ю. С., Красных С. С. Методологический подход к моделированию и прогнозированию воздействия пространственной неоднородности процессов распространения COVID-19 на экономическое развитие регионов России. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2021. Т. 13. Вып. 3. 629–648. <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2021-13-3-629-648>

30 Kotov E.A., Goncharov R.V., Kulchitsky Y.V., Molodsova V.A., Nikitin B.V. Spatial Modelling of Key Regional-Level Factors of Covid-19 Mortality In Russia. *Geography, Environment, Sustainability*. 2022. Vol. 2(15). Pp. 71-83. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-076>

На втором этапе с целью анализа пространственной зависимости коронавирусной инфекции в Российской Федерации и ее изменения в динамике нами был рассчитан глобальный индекс Морана. Проводимые обзоры методов пространственного анализа Коронавирусной инфекции показывают, что глобальный одномерный индекс Морана является наиболее широко используемым показателем для проверки наличия пространственной автокорреляции данных [31 , 32]. Он позволяет оценить, являются ли данные сгруппированными, рассредоточенными или пространственно случайными:

$$MoranI_t = \frac{N}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_{it} - \bar{x}_t)(x_{jt} - \bar{x}_t)}{\sum_i (x_{it} - \bar{x}_t)^2},$$

где N - число исследуемых территориальных единиц, ед.;

\bar{x} - среднее значение показателя;

w_{ij} - элементы пространственной матрицы.

Значение индекса Морана сравнивается с ожидаемым значением: $E(I) = -1/(n - 1)$.

При $I_m > E(I)$ имеется положительная пространственная автокорреляция, т. е. в целом значения наблюдений в соседних территориях являются подобными. При $I_m < E(I)$ – отрицательная автокорреляция, т. е. в целом значения наблюдений в соседних территориях отличаются. При $I_m = E(I)$ значения наблюдений в соседних территориях расположены случайным образом. То есть распространение коронавирусной инфекции происходит не просто разнонаправленно, а не связано, и, следовательно, непредсказуемо ее появление на одной территории при вспышках у их соседей.

Для определения пространственных связей задается матрица пространственных весов, формализующая допущение, что рассматриваемая территория имеет связь с соседними территориями. В данном материале представлены результаты для матрицы смежности.

Оценка проводилась в среде R с использованием библиотек ‘sf’, ‘spdep’, ‘ape’.

Результаты

Значения коэффициента вариации числа новых заражений и смертельных случаев от COVID-19, пересчитанных на душу населения для регионов Российской Федерации, представлены на рисунке 2. Как видно, в первые месяцы начала эпидемии в России наблюдалась значительная вариация регионов по рассматриваемым показателям. Также нетрудно заметить, что в период всплесков заражений (май-июнь 2021г., декабрь-январь 2022г., июль 2022г.) отмечается всплеск значений вариации. Это в целом может быть следствием различного начала по времени волн в регионах, что соотносится с выводами, получаемыми о направлениях распространения инфекции в других работах отечественных ученых [33,34].

31 Nazia N., Butt Z.A., Bedard M.L., Tang W.-C., Sehar H., Law J. Methods Used in the Spatial and Spatiotemporal Analysis of COVID-19 Epidemiology: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022. Vol. 19, 8267. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148267>

32 Franch-Pardo I., Desjardins M. R., Barea-Navarro I., Cerdà A. A review of GIS methodologies to analyze the dynamics of COVID-19 in the second half of 2020. *Transactions in GIS*. 2021. Vol. 25. Pp. 2191–2239. <https://doi.org/10.1111/tgis.12792>

33 Tarkhov S. A. Spatial Features of Covid-2019 Diffusion in Russian Regions: the View of the Transport Geographer. *Geography, Environment, Sustainability*. 2022. Vol.15, № 1. Pp. 87-101. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-107>

34 Aristov V.V., Stroganov A.V., Yastrebov A.D. Simulation of Spatial Spread of the COVID-19 Pandemic on the Basis of the Kinetic-Advection Model. *Physics*. 2021. Vol. 3. Pp. 85–102. <https://doi.org/10.3390/physics3010008>

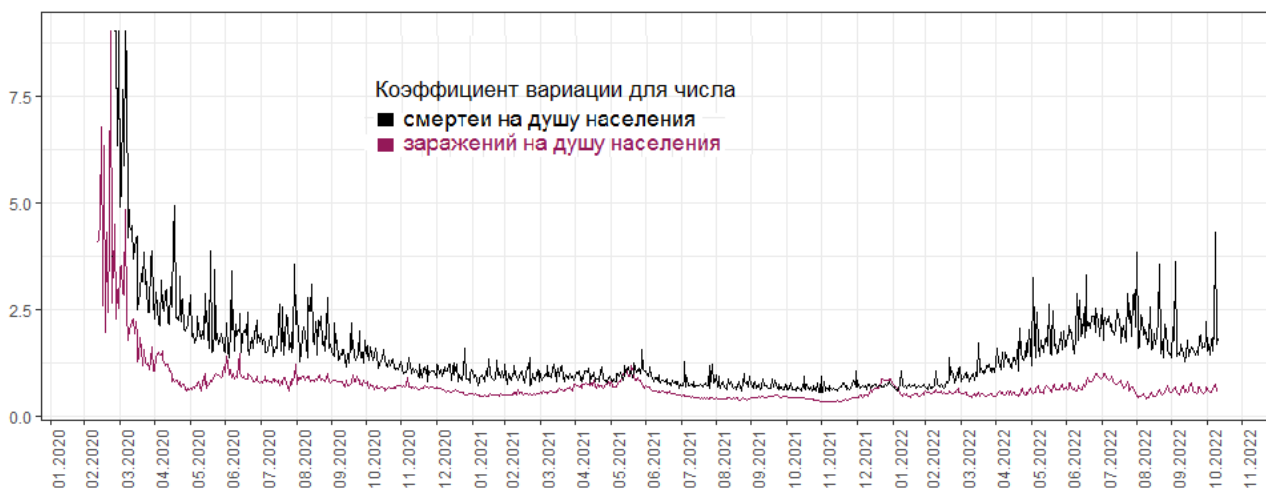


Рис. 2. Значения коэффициента вариации числа новых заражений и смертельных случаев от COVID-19, пересчитанных на душу населения, для регионов Российской Федерации в период с начала эпидемии по ноябрь 2022г.*

*Рассчитано авторами по данным Коронавирус: дашборд (<https://datalens.yandex.ru/>)

Обращает на себя внимание то, что в условиях снижения общего числа смертельных случаев по причине COVID-19 наблюдается рост вариации регионов по этому показателю. Это еще более заметно при сравнении с динамикой значений коэффициента вариации числа новых заражений, которые находились в диапазоне 0,42-0,79.

Результаты расчета глобального индекса Морана для показателя числа заразившихся COVID в расчете на душу населения для регионов Российской Федерации в период с начала эпидемии по ноябрь 2022г. представлены на рисунке 3.

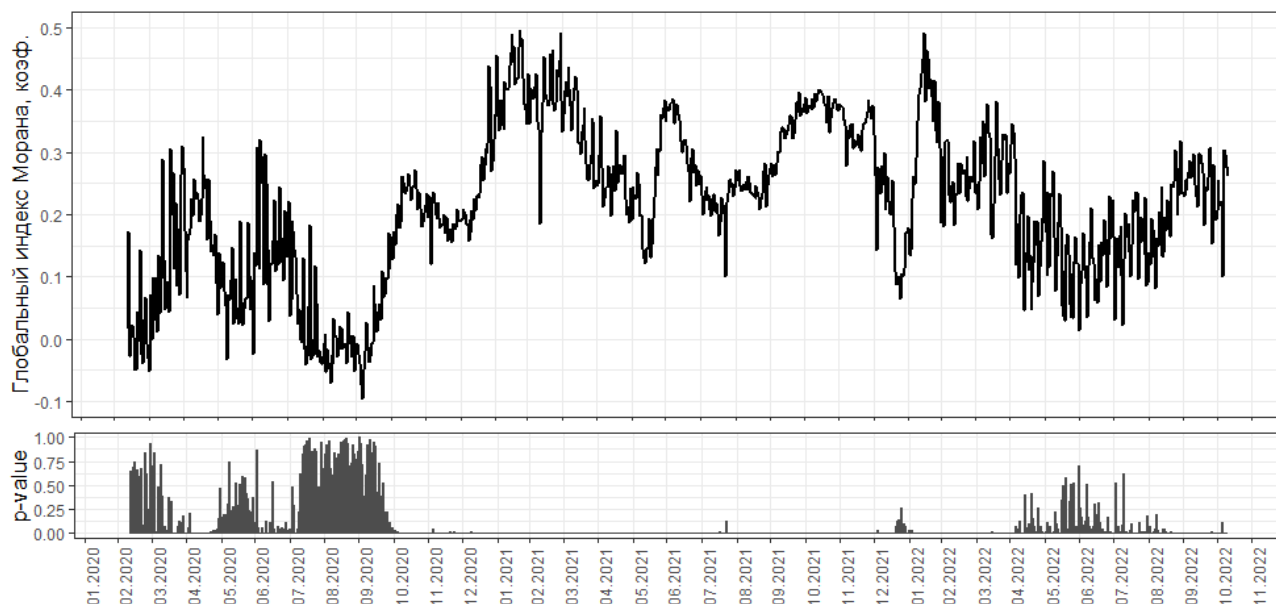


Рис. 3. Значения глобального индекса Морана для числа заразившихся COVID в расчете на душу населения для регионов Российской Федерации в период с начала эпидемии по ноябрь 2022г.*

*Рассчитано авторами по данным Коронавирус: дашборд (<https://datalens.yandex.ru/>)

Как видно на рисунке, значения глобального индекса Морана по большей части статистически не значимы в период с начала эпидемии до 5 мая 2020г. и с 30 мая по 29 октября 2020г. На наш взгляд, это в значительной мере связано с введением ограничительных мер, сокращавших перемещение населения в пространстве, а, следовательно, снижавших

пространственные эффекты. Анализ аналогичного периода проведенный Наумовым И. В., Отмаховой Ю. С. и Красных С. С. [35], в целом согласуется с полученными в текущей работе результатами. Значимость оценок могла быть более высокой в силу агрегации данных до месячных, в то же время очевидно, что как и в нашем исследовании, значения Индекса Морана в марте и сентябре ниже значений июня и ноября. Незначимость оценок также наблюдалась в конце 2021г. и начале 2022г., когда вводились рекомендации по максимальному дистанцированию в новогодние праздники. Несмотря на отсутствие жестких ограничений на перемещение летом 2022г., в этот период также отмечается падение пространственной связанности.

Несколько иная картина представляется по значениям глобального индекса Морана для показателя число смертельных случаев от COVID-19 в расчете на душу населения (рис. 4).

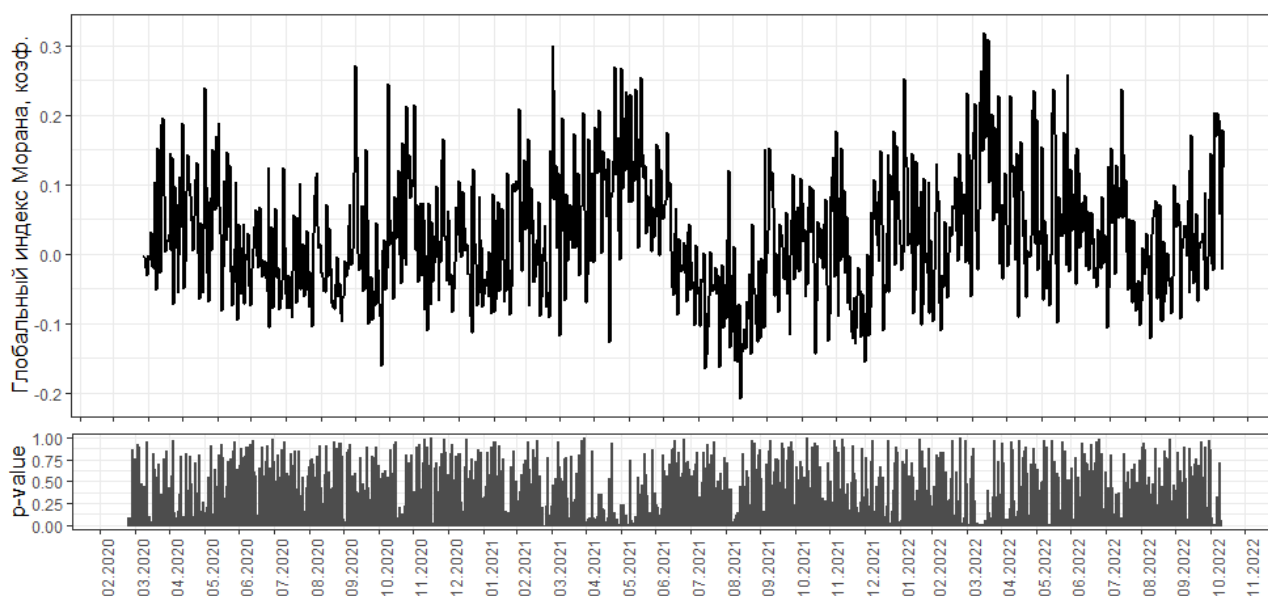


Рис. 4. Значения глобального индекса Морана для смертности от COVID для регионов Российской Федерации в период с начала эпидемии по ноябрь 2022г.*

*Рассчитано авторами по данным Коронавируса: дашборд (<https://datalens.yandex.ru/>)

Фактически, весь период наблюдается низкая значимость пространственной автокорреляции смертности, что свидетельствует о том, что нет каких-то географически определяемых факторов смертности. Аналогичный расчет на скользящей трехдневной средней и пятидневной средней в целом картину не изменил. Мы не поднимаем вопрос в данной работе о том, насколько адекватны были эти данные, как они собирались и что фактически в них отражено. Эти вопросы поднимаются научным сообществом и здесь мы согласимся с мнением о том, что «за неимением более достоверной статистики можно считать, что моделируются только наиболее тяжелые формы распространения заболевания, которые привели человека к необходимости сдать анализы и обратиться к специалистам, то есть не учитываются латентные формы» [36]. В то же время анализ смертности Котов Е.А. и соавторы

35 Наумов И. В., Отмахова Ю. С., Красных С. С. Методологический подход к моделированию и прогнозированию воздействия пространственной неоднородности процессов распространения COVID-19 на экономическое развитие регионов России. Компьютерные исследования и моделирование. 2021. Т. 13. Вып. 3. 629–648. <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2021-13-3-629-648>

36 Земцов С.П., Бабуринов В.Л. COVID-19: Пространственная динамика и факторы распространения по регионам России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 4. С. 485-505. <https://doi.org/10.31857/S2587556620040159>

выполнили на данных об избыточной смертности, а не официальных данных о смертности по причине COVID-19, что не лишено основания [37].

Таким образом, с точки зрения пространственных закономерностей видно, что сам вирус имеет ярко выраженный пространственный характер распространения. На данных о числе заражений четко видны периоды роста и спада пространственных эффектов. Немаловажным фактором в сокращении пространственных эффектов являлись ограничительные меры вводимые государством. Это наблюдалось и в исследованиях, проводимых на данных других стран. Так, Arashi M. совместно с соавторами на данных Южной Африки показал, как периоды значимых оценок пространственной автокорреляции сменяются незначимыми [38]. При этом в значительной мере это проявилось в период первого наиболее строгого локдауна. В работе Cahyadi M.N. и соавторов показано, что значения Индекса Морана снизились в период локдауна, но остались статистически значимыми³⁹. В то же время в период между волнами они демонстрировали низкую значимость, что авторы связывали со случайностью в возникновении заболеваний. Liu L. совместно с соавторами на данных США показано, что в разрезе штатов оценки пространственной автокорреляции были различны. Наиболее высокие значения достигались в Пенсильвании, Мичигане, Нью-Джерси, а самые низкие в Неваде, а также в Аляске и на Гавайях, фактически наиболее удаленных территориях [40]. При этом графики для многих штатов США демонстрируют волнообразное изменение индекса Морана в динамике. В свою очередь Saffary T. и соавторы обратили внимание на существенные географические различия как в распределении случаев COVID-19, так и смертей по округам США, увязав их с распределением ресурсов здравоохранения, уровнем здоровья и социально-экономическим благополучием населения [41]. Наши результаты показали, что смертность от COVID-19 в стране хаотично распределена, усиливается вариация регионов по уровню смертности от COVID-19. Вызывает вопросы снижение пространственной зависимости в период снятия ограничений. Все это, на наш взгляд, указывает на то, что развитие инфраструктуры в регионах разная, что определяет такую вариацию. При этом после снятия ограничений, т.е. какого-то единого требования к дистанцированию, в регионах скорее всего по-разному принимались решения, определяющие распространение вируса, в том числе на индивидуальном уровне с учетом менталитета местного населения. Это согласуется с выводами о том, что внутренние социально-экономические факторы территорий определяют развитие COVID-19 в регионах [42].

Заключение

Проведенный пространственный анализ расширил представления о процессе распространения инфекционных заболеваний в РФ. Выявлено, что пространственная

37 Kotov E.A., Goncharov R.V., Kulchitsky Y.V., Molodsova V.A., Nikitin B.V. (2022). Spatial Modelling of Key Regional-

Level Factors of Covid-19 Mortality In Russia. *Geography, Environment, Sustainability*, 2(15), p. 71-83 <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-076>

38 Arashi M., Bekker A., Salehi M. et al. Evaluating prediction of COVID-19 at provincial level of South Africa: a statistical perspective. *Environ Sci Pollut Res*. 2022. Vol. 29. 21289–21302. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17291-y>

39 Cahyadi M.N., Handayani H.H., Warmadewanthi I., Rokhmana C.A., Sulistiawan S.S., Waloedjo C.S., Raharjo A.B. E., Atok M., Navisa S.C. et al. Spatiotemporal Analysis for COVID-19 Delta Variant Using GIS-Based Air Parameter and Spatial Modeling. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022. Vol. 19. 1614. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031614>

40 Liu L., Hu T., Bao S., Wu H., Peng Z., Wang R. The Spatiotemporal Interaction Effect of COVID-19 Transmission in the United States. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021. Vol. 10(6). 387. <https://doi.org/10.3390/ijgi10060387>

41 Saffary T., Adegbeye O.A., Gayawan E., Elfaki F., Kuddus M.A., Saffary R. Analysis of COVID-19 Cases' Spatial Dependence in US Counties Reveals Health Inequalities. *Front. Public Health*. 2020. 8:579190. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.579190>

42 Fatima M., O'Keefe K.J., Wei W., Arshad S., Gruebner O. Geospatial analysis of COVID-19: A Scoping Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021. 18. 2336. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052336>

зависимость изменяется во времени и слабо проявляется для показателей смертности населения по причине от COVID. Полученные результаты могут использоваться для обоснования мер региональной политики для потенциального снижения как заражений COVID-19, так и смертности по его причине. Они актуализируют необходимость более глубокого изучения динамики заболеваемости и смертности от COVID-19 в увязке со сложившейся организацией систем здравоохранения, в том числе инфраструктурным состоянием и обеспеченностью медицинским персоналом регионов. Кроме того, целесообразно переходить на более низкую, с географической точки зрения, агрегацию данных. Как отмечается в исследованиях, агрегированные пространственные данные на уровне округа или муниципалитета полезны в политическом масштабе региона или страны, но их полезность для сдерживания пандемии с местной точки зрения является спорной [43]. Однако в данном направлении существует значительное препятствие, связанное с отсутствием открытых источников данных в необходимой детализации для России. Поэтому для целей принятия решений необходимо собирать информацию с высоким пространственным и временным разрешением.

Благодарность: Статья подготовлена в соответствии с государственным заданием Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код научной темы FZWU-2020-0027). Авторы выражают благодарность Яндекс за создание Коронавирус: дашборд.