

ПРОФИЛАКТИКА ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2023

Зайцева Н.В., Клейн С.В., Алексеев В.Б., Кирьянов Д.А., Глухих М.В.

Вариативность параметров эпидемического процесса COVID-19, обусловленная влиянием региональных социально-гигиенических факторов

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия

Введение. В рамках теории о саморегуляции паразитарных систем природно-социальные факторы рассматриваются не только как необходимое условие взаимодействия популяций возбудителя инфекционного заболевания и восприимчивых организмов, но и как регуляторы фазовых преобразований эпидемического процесса. Эпидемический процесс COVID-19, соответствуя положениям данной теории, должен обуславливаться влиянием определенной комбинации факторов среды обитания.

Цель исследования — установить приоритетные социально-гигиенические факторы среды обитания, модифицирующие течение эпидемического процесса COVID-19 на территории России.

Материал и методы. Для установления причинно-следственных связей между факторами среды обитания и параметрами эпидемического процесса COVID-19 использованы корреляционно-регрессионный и факторный анализы. В качестве зависимых переменных выступали параметры эпидемического процесса COVID-19 на основе компартментной модели SIR+L. Общее количество исследуемых факторов составило 263 единицы, условно разделённых на 7 групп (противоэпидемические мероприятия, факторы среды обитания и др.).

Результаты. В результате исследования установлено, что одними из наиболее приоритетных статистически значимых факторов являются показатели противоэпидемических мероприятий («охват вакцинацией населения») особенно в старших возрастах; $r = -0,67$ – $(-0,69)$, показатели экономической развитости территорий (валовый региональный продукт; $r = -0,22$), показатели экономического благополучия населения (расходы домохозяйств на покупку продуктов питания; $r = 0,27$), показатели образа жизни населения (продажи алкогольной продукции по видам; $r = 0,21$ – $0,38$), показатели качества среды обитания, в том числе рабочей среды ($r = 0,11$ – $0,22$), показатели урбанизации территорий (плотность автомобильных дорог; $r = 0,18$), погодноклиматические показатели (среднемесячная температура воздуха; $r = 0,22$, среднемесячная инсоляция; $r = -0,25$) и др.

Ограничения исследования — набор исследуемых факторов и период их анализа.

Заключение. Полученные оценки влияния факторов среды обитания на условия течения эпидемического процесса COVID-19 могут быть использованы при разработке системных стратегических решений по сохранению здоровья населения, повышению уровня его безопасности в масштабе регионов и страны.

Ключевые слова: COVID-19; эпидемический процесс; параметры SIR(+L) модели; корреляционно-регрессионный анализ; приоритетные факторы; социально-гигиенические факторы; среда обитания; образ жизни; противоэпидемические мероприятия; экономические факторы; погодноклиматические факторы; социально-демографические факторы

Соблюдение этических стандартов. Для проведения данного исследования не требовалось заключения комитета по биомедицинской этике (исследование выполнено на общедоступных данных официальной статистики).

Для цитирования: Зайцева Н.В., Клейн С.В., Алексеев В.Б., Кирьянов Д.А., Глухих М.В. Вариативность параметров эпидемического процесса COVID-19, обусловленная влиянием региональных социально-гигиенических факторов. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2023; 67(6): 510–518. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2023-67-6-510-518> <https://elibrary.ru/zdaujj>

Для корреспонденции: Глухих Максим Владиславович, мл. науч. сотр. отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, 614045, Пермь. E-mail: gluhih@fcrisk.ru

Участие авторов: Зайцева Н.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Клейн С.В. — редактирование, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи; Алексеев В.Б. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Кирьянов Д.А. — редактирование, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи; Глухих М.В. — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 13.08.2023

Принята в печать 11.10.2023

Опубликована 23.12.2023

PREVENTION OF INFECTIOUS DISEASES

© AUTHORS, 2023

Nina V. Zaitseva, Svetlana V. Kleyn, Vadim B. Alekseev, Dmitry A. Kiryanov, Maxim V. Glukhikh

Variability of parameters of the COVID-19 epidemic process due to influence of regional social-hygienic factors

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

Introduction. Within the theory on self-regulation of parasitic systems, natural and social factors are considered not only the necessary condition for interaction between an infectious agent and susceptible organisms but they are also seen as regulators of phase transformations over the epidemic process. The COVID-19 epidemic process, if it conforms to postulates outlined in this theory, should be determined by influence of certain combination of environmental factors.

The purpose of the study. To establish priority social and hygienic environmental factors potent of modifying COVID-19 epidemic process on the RF territory.

Materials and methods. We applied correlation-regression and factor analysis to establish cause-effect relations between environmental factors and parameters of the COVID-19 epidemic process. Parameters of the COVID-19 epidemic process were identified based on the SIR+L compartment model and used as dependent variables. Overall, 263 factors were examined; they were conditionally divided into seven groups (anti-epidemic activities, environment, etc.).

Results. The study findings revealed several priority statistically significant factors. They include anti-epidemic activities ("population covered by vaccination" especially in older age groups ($r = -0.67$ – (-0.69)), levels of economic development on a given territory (gross regional product ($r = -0.22$)), socioeconomic wellbeing of population (households' expenditures on food ($r = 0.27$)), lifestyle indicators (retail alcohol sales as per specific products ($r = 0.21$ – 0.38)), quality of the environment, workplace included ($r = 0.11$ – 0.22), urbanization (motorway density ($r = 0.18$)), weather and climatic factors (average monthly temperatures ($r = 0.22$), average monthly insolation ($r = -0.25$)) and others.

Limitations. The set of the examined priority factors and a period of their analysis can be considered limitations of the present study.

Conclusion. The obtained estimates as regards the priority environmental factors determining the COVID-19 epidemic process can be used when developing systemic strategic decisions on public health protection and securing its safety both in specific regions and the country as a whole.

Keywords: COVID-19; epidemic process; SIR(+L) model parameters; correlation and regression analysis; priority factors; socio-hygienic factors; environment; lifestyle; anti-epidemic activities; economic factors; weather and climatic factors; sociodemographic factors

Compliance with ethical standards. The study does not require the approval of a biomedical ethics committee of other documents (the study was performed using publicly available official statistics).

For citation: Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Alekseev V.B., Kiryanov D.A., Glukhikh M.V. Variability of parameters of the COVID-19 epidemic process due to influence of regional social-hygienic factors. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation, Russian journal)*. 2023; 67(6): 510–518. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2023-67-6-510-518> <https://elibrary.ru/zdaujj> (in Russian)

For correspondence: Maxim V. Glukhikh, junior research fellow at the Department of sanitary and hygienic analysis and monitoring systemic methods, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: gluhih@crisk.ru

Information about the authors:

Zaitseva N.V., <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>

Kleyn S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>

Alekseev V.B., <https://orcid.org/0000-0001-5850-7232>

Kiryanov D.A., <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>

Glukhikh M.V., <https://orcid.org/0000-0002-4755-8306>

Contribution of the authors: Zaitseva N.V. — research concept and design, editing, approval of the final version of the article; Kleyn S.V. — editing, writing the text, approval of the final version of the article; Alekseev V.B. — research concept and design, editing, approval of the final version of the article; Kiryanov D.A. — editing, writing the text, approval of the final version of the article; Glukhikh M.V. — statistical data processing, collection and processing material, writing the text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: August 13, 2023

Accepted: October 11, 2023

Published: December 23, 2023

Введение

Действующие на начало распространения COVID-19 национальные и международные системы эпидемиологического надзора и контроля не смогли предотвратить глобальное распространение новой инфекции [1] до момента её трансформации до уровня пандемии. Согласно выводам Комитета по обзору функционирования Международных медико-санитарных правил (ММСП)¹ в отношении оценки качества реагирования данной системы на развитие эпидемического процесса COVID-19 выявлены слабые звенья (совместный провал): неадекватное соблюдение государствами своих обязательств по ММСП; слабые реакции национальных систем здравоохранения на ранние предупреждения с последующими ответами; недостаточное и непостоянное финансирование структур ММСП и систем здравоохранения [2]. В связи с этим можно предположить, что подобные масштабы развития эпидемического процесса могли в значительной степени определяться социально-экономическими факторами среды, выступающими сопутствующими условиями его развития.

Последствия от неготовности систем здравоохранения, а также принимаемые меры к реагированию на такие масштабные манифестации эпидемического процесса затронули все сферы деятельности населения и состояние общественного и индивидуального здоровья на всех уровнях, проявив многомерный социальный и экономический эффект [3]. При этом во время пандемии различные конфигурации факторов (профили) риска в разных группах населения оказали разную степень влияния (неравенство) на общественное здоровье в отношении заболеваемости и смертности населения [4], обуславливая двойное бремя болезней — синдемию COVID-19 и хронических неинфекционных заболеваний [5]. Дополнительным фактором, оказавшим негативное влияние на здоровье, являлась так называемая инфодемия [6, 7] — «состояние информационной среды с избытком информации, включая ложную», которая в том числе способствовала пролонгации эпидемического процесса из-за противоречивых сообщений о профилактике и лечении COVID-19. В данном аспекте всё большую актуальность приобретают работы в области социальной эпидемиологии, которая предусматривает исследование здоровья человека неотрывно от окружающих его социальных условий [8, 9].

В социально-экологической теории Б.Л. Черкасского высшим уровнем эпидемического процесса определён социосистемный как результат взаимодействия системы «паразит–хозяин» с системой, определяющей условия её существования, — социальными и природными факторами [10].

Таким образом, актуальность исследований по поиску приоритетных факторов среды обитания, модифицирующих эпидемический процесс COVID-19 на территории России, обусловлена современными представлениями о здоровье как о сложной системе, которая определяется комплексом взаимосвязанных факторов среды обитания, приобретающих новые формы и механизмы влияния на здоровье населения, а также необходимостью совершенствования профилактических систем и систем стратегического управления эпидемическими процессами уровня пандемий и синдемий.

Цель исследования — установить приоритетные социально-гигиенические факторы среды обитания, модифицирующие течение эпидемического процесса COVID-19 на территории России.

¹ Международные медико-санитарные правила от 2005 г.

Материал и методы

В рамках настоящего исследования выполнен поиск приоритетных социально-гигиенических факторов, оказывающих вариативное влияние на параметры эпидемического процесса COVID-19. Для установления искоемых причинно-следственных связей в системе «факторы среды обитания–параметры эпидемического процесса COVID-19» ранее проведено исследование данного эпидемического процесса, протекавшего на территории России в 2020–2023 гг., на основе формализации и параметризации эпидемиологических волн по регионам России. С этой целью использована модификация компартментной модели распространения эпидемии $SIR(+L)^2$, в результате чего получены параметризованные модели для каждой волны эпидемического процесса COVID-19 с региональными коэффициентами:

- α (скорость перехода в группу инфицированных) — в диапазоне 0,12–1,76;
- β (скорость перехода в группу выздоровевших) — в диапазоне 0,05–1,65;
- γ (скорость перехода в группу умерших) — в диапазоне от $< 0,001$ до 0,06;
- R_0 (индекс репродукции вируса; базовое репродуктивное число) — в диапазоне 0,59–4,29.

Подробно результаты параметризации данных моделей, а также модели и результаты исследования модифицирующих факторов на примере штамма Дельта описаны нами ранее [11–13]. Анализ взаимосвязей между исследуемыми факторами (независимыми переменными) и установленными региональными параметрами эпидемического процесса (зависимые переменные) осуществляли с использованием парного линейного корреляционно-регрессионного анализа. Полученные коэффициенты корреляции проверяли на достоверность с использованием критерия Стьюдента. Для установления дополнительных внутривидовых причинно-следственных связей между рассматриваемыми переменными выполнена процедура факторного анализа.

Исследование причинно-следственных связей между показателями, характеризующими эпидемический процесс (параметры $SIR(+L)$ -модели), и факторами среды обитания (263 показателя) выполняли с использованием данных ведомственной статистики Роспотребнадзора, статистических сборников, статистических форм за 2020–2022 гг. регионального и федерального уровней:

- данные с годовым периодом агрегации — погодноклиматические (73 ед.), экономические (14 ед.), социально-демографические (39 ед.) показатели, показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий (67 ед.), образа жизни населения (30 ед.), системы здравоохранения (9 ед.);
- данные с недельным периодом агрегации — показатели, характеризующие противоэпидемические мероприятия, в том числе охват вакцинацией, объём лабораторных исследований, место инфицирования, доля госпитализаций и др. (всего 31 показатель).

В перечень факторов (независимых переменных) включали показатели, адекватно и наиболее полно отражающие количественные характеристики объектов/сфер среды обитания, условий и образа жизни населения субъектов РФ, отобранные на основе результатов отечествен-

² $SIR+L$ — аббревиатура, где: S — susceptible (восприимчивый); I — infections (инфицированный); R — recovered (вылеченный); L — lethal (умерший).

Буквенные коды субъектов РФ приведены согласно ГОСТ 7.67–2003 (ИСО 3166-1:1997). Коды Забайкальского края, Республики Крым, города федерального значения Севастополь даны согласно проекту ГОСТ 7.67–202 (ИСО 3166-1:2020).

The letter codes of the subjects of the Russian Federation are given in accordance with GOST 7.67–2003 (ISO 3166-1:1997). The codes of the Trans-Baikal Territory, the Republic of Crimea, and the federal city of Sevastopol are given according to the draft GOST 7.67–202 (ISO 3166-1:2020).

Результаты

- значения среднемесячных дневных температур воздуха в осенне-зимний период (сентябрь–декабрь) — $r = 0,2$ и в целом за год — $r = 0,22$ (рис. 1, 2, а);

- охват вакцинацией населения (61 год и старше — $r = 0,36$; 51–60 лет — $r = 0,34$; 41–50 лет — $r = 0,33$; 31–40 лет — $r = 0,31$; до 30 лет — $r = 0,30$; **рис. 3, а**);

³ МР 2.1.10.0269–21 «Определение социально-гигиенических детерминант и прогноз потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации с учётом региональной дифференциации». М., 2021. 101 с.

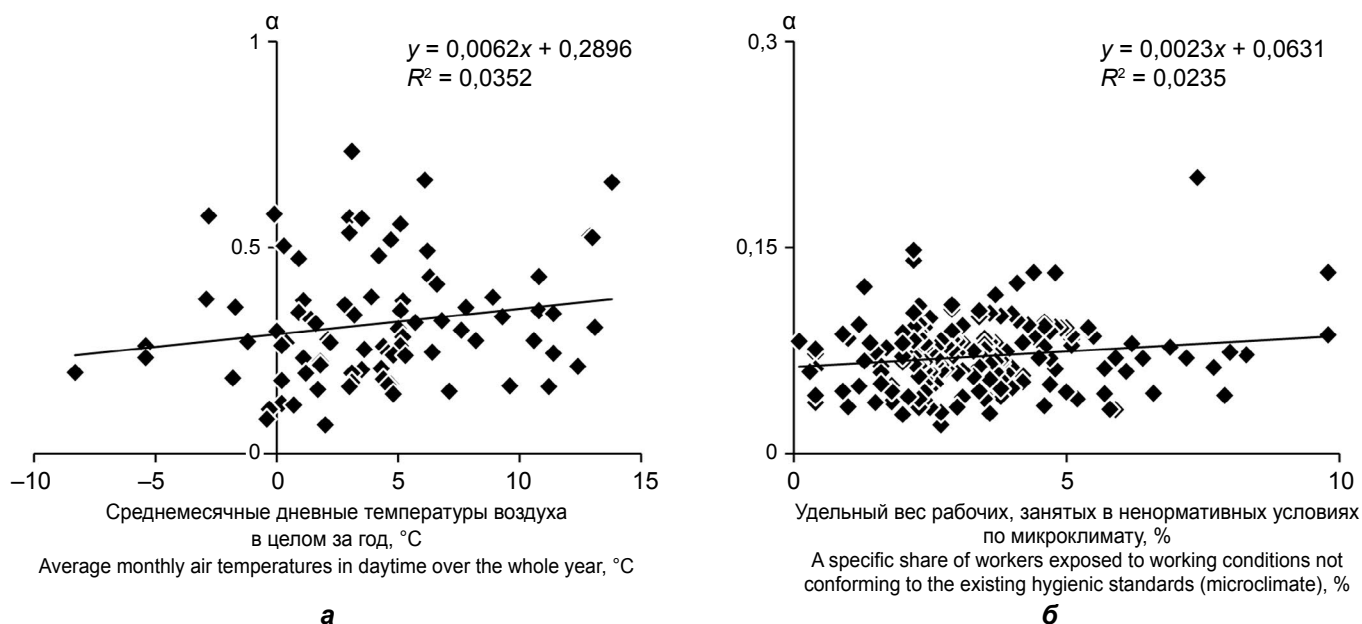


Рис. 2. Диаграмма рассеяния и уравнение зависимости коэффициента α от показателей «Среднемесячные дневные температуры воздуха в целом за год, $^{\circ}\text{C}$ » (а) и «Удельный вес рабочих, занятых в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам условий труда (микроклимат), $\%$ » (б).

Fig. 2. The scattering diagram and the equation for a relationship between the alpha coefficient (α) and an indicator: а — «Average monthly air temperatures during daytime over the whole year, $^{\circ}\text{C}$ »; б — «A specific share of workers exposed to working conditions not conforming to the existing hygienic standards (microclimate), $\%$ ».

- доля ($\%$) занятого населения с соответствующим уровнем образования (работающие со средним и основным общим уровнем образования — $r = 0,15$).
- Обратные статистически значимые связи коэффициента β установлены с показателями противоэпидемических мероприятий:
- доля ($\%$) положительных лабораторных исследований на COVID-19 ($r = -0,12$);

- доля ($\%$) госпитализаций от всех подтверждённых случаев COVID-19 ($r = -0,15$);
- всего госпитализированных с внебольничными пневмониями, случаев на 100 тыс. населения ($r = -0,22$; рис. 3, б);
- предполагаемое место инфицирования (медицинская организация — $r = -0,17$; прочие организации — $r = -0,19$);
- уровень зарегистрированной безработицы ($\%$) ($r = -0,15$).

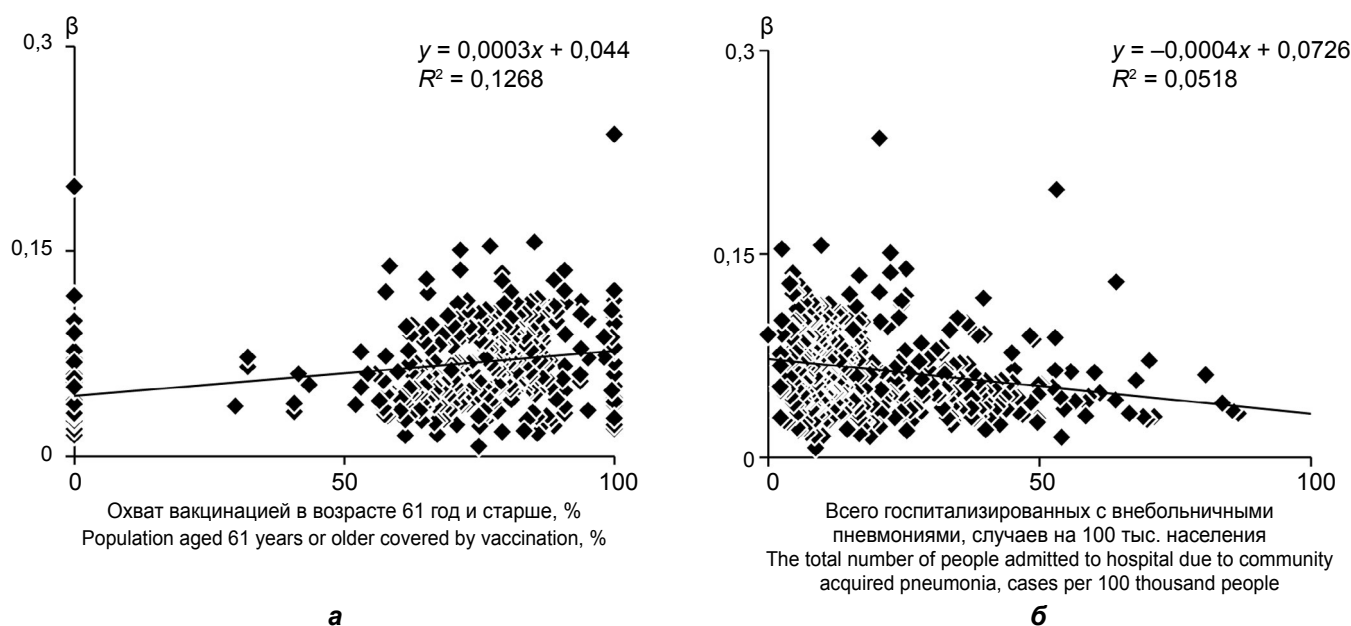


Рис. 3. Диаграмма рассеяния и уравнение зависимости коэффициента β от показателей «Охват вакцинацией населения в возрасте 61 год и старше, $\%$ » (а) и «Всего госпитализированных с внебольничными пневмониями, случаев на 100 тыс. населения» (б).

Fig. 3. The scattering diagram and the equation for the relationship between the beta coefficient (β) and an indicator: а — «Population over 60 years covered by vaccination, $\%$ »; б — «The total number of people admitted to hospital due to community acquired pneumonia, cases per 100 thousand people».

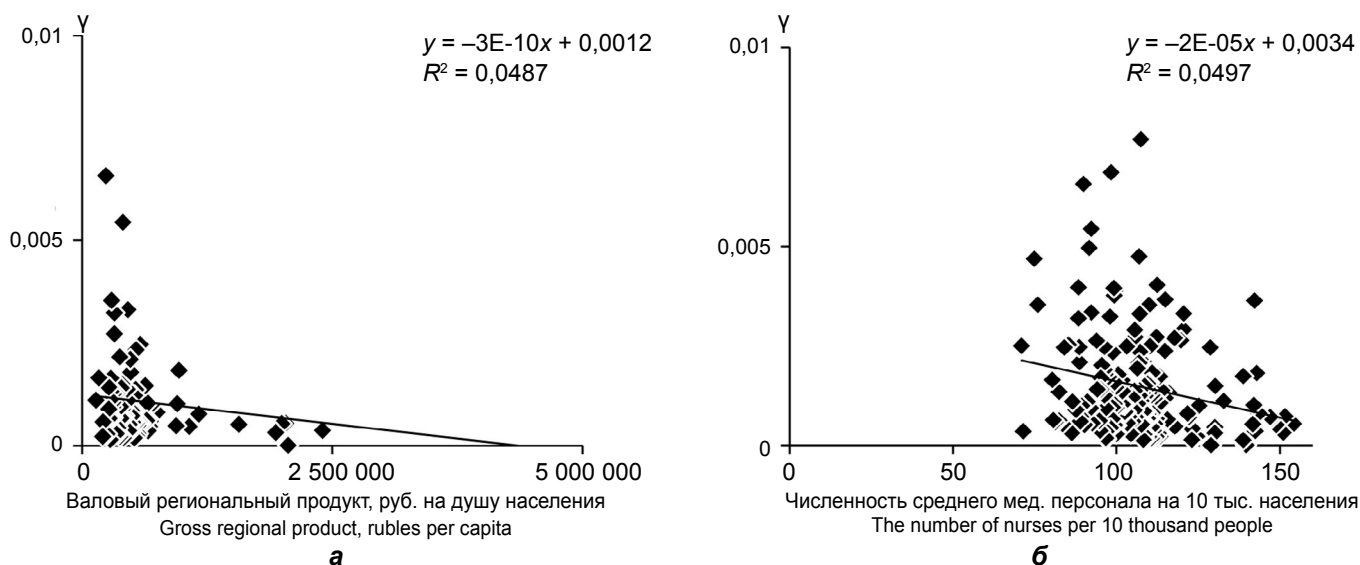


Рис. 4. Диаграмма рассеяния и уравнение зависимости коэффициента γ от показателей «ВРП, руб. на душу населения» (а) и «Численность среднего медицинского персонала на 10 тыс. человек населения» (б).

Fig. 4. The scattering diagram and the equation for a relationship between the gamma coefficient (γ) and an indicator: а — «Gross regional product, rubles per capita»; б — «The number of nurses per 10 thousand people»

С показателем, характеризующим скорость перехода из группы инфицированных в группу умерших (**коэффициент γ**), установлены прямые статистически значимые связи с показателями противоэпидемических мероприятий:

- доля (%) лабораторных исследований с положительным результатом на COVID-19 ($r = 0,12$);
- количество выявленных контактных лиц, случаев на 100 тыс. ($r = 0,1$);
- доля (%) расходов домашних хозяйств на покупку продуктов питания ($r = 0,27$);
- доля (%) населения со средним и основным общим образованием (занятого — $r = 0,24$, безработного — $r = 0,19$);
- доля (%) нецентрализованных ($r = 0,11$) и централизованных ($r = 0,11$) систем питьевого водоснабжения, не отвечающих санитарным нормам и правилам;
- доля (%) поверхностных и подземных источников питьевого водоснабжения ($r = 0,11$).

Статистически значимая обратная связь коэффициента γ установлена с показателями, характеризующими:

- оснащённость территории спортивными сооружениями (спортивные залы, сооружений на 100 тыс. населения; $r = -0,22$);
- экономическое развитие региона (инвестиции в основной капитал, руб. на душу населения — $r = -0,18$; ВРП — $r = -0,22$; **рис. 4, а**);
- экономическое благосостояние населения (среднедушевые денежные доходы, руб. в месяц — $r = -0,16$);
- кадровый потенциал систем здравоохранения территории (численность среднего медицинского персонала на 10 тыс. населения — $r = -0,22$; **рис. 4, б**).

Установлена прямая статистически значимая зависимость **базового репродуктивного числа (R_0)** с такими модифицирующими показателями:

- частота госпитализации с внебольничной пневмонией (на 100 тыс. населения; $r = 0,39$);
- доля (%) госпитализаций от всех подтверждённых случаев COVID-19 ($r = 0,16$);

- доля (%) лабораторных исследований с положительным результатом на COVID-19 ($r = 0,28$);
- показатели розничных продаж алкогольной продукции (в литрах) населению по различным видам продукции ($r = 0,21-0,38$) и в целом этиловый спирт, приходящийся на душу взрослого населения ($r = 0,22$);
- уровень загрязнения атмосферного воздуха на территории (валовый выброс от передвижных источников, тыс. тонн ($r = 0,22$);
- уровень (%) зарегистрированной безработицы ($r = 0,3$);
- количество отработанных часов в среднем на одного занятого в неделю ($r = 0,26$);
- структура населения (коэффициент демографической нагрузки ($r = 0,23$);
- доля (%) населения старше трудоспособного возраста ($r = 0,22$);
- степень развитости транспортной инфраструктуры (плотность автомобильных дорог, км путей на 1 тыс. км² территории ($r = 0,18$);
- пассажирооборот автобусов общего пользования, пассажиро-км ($r = 0,16$).

Получены статистически значимые обратные связи R_0 с показателями:

- среднемесячная горизонтальная солнечная радиация (май–июль — $r = -0,19(-)0,25$; **рис. 5, а**);
- предполагаемое место инфицирования COVID-19 (медицинская организация — $r = -0,38$);
- меры административного воздействия по причине нарушения действующих санитарно-эпидемиологических правил — режим текущей дезинфекции ($r = -0,11$);
- запрет на проведение массовых мероприятий ($r = -0,13$);
- оснащённость территории спортивными сооружениями ($r = -0,17$);
- доля населения, занимающегося физической культурой и спортом ($r = -0,26$);
- расходы домашних хозяйств на образование ($r = -0,39$);
- количество выявленных контактных лиц ($r = -0,29$);
- охват вакцинацией в разных возрастных группах населения ($r = -0,67(-)0,69$); **рис. 5, б**.

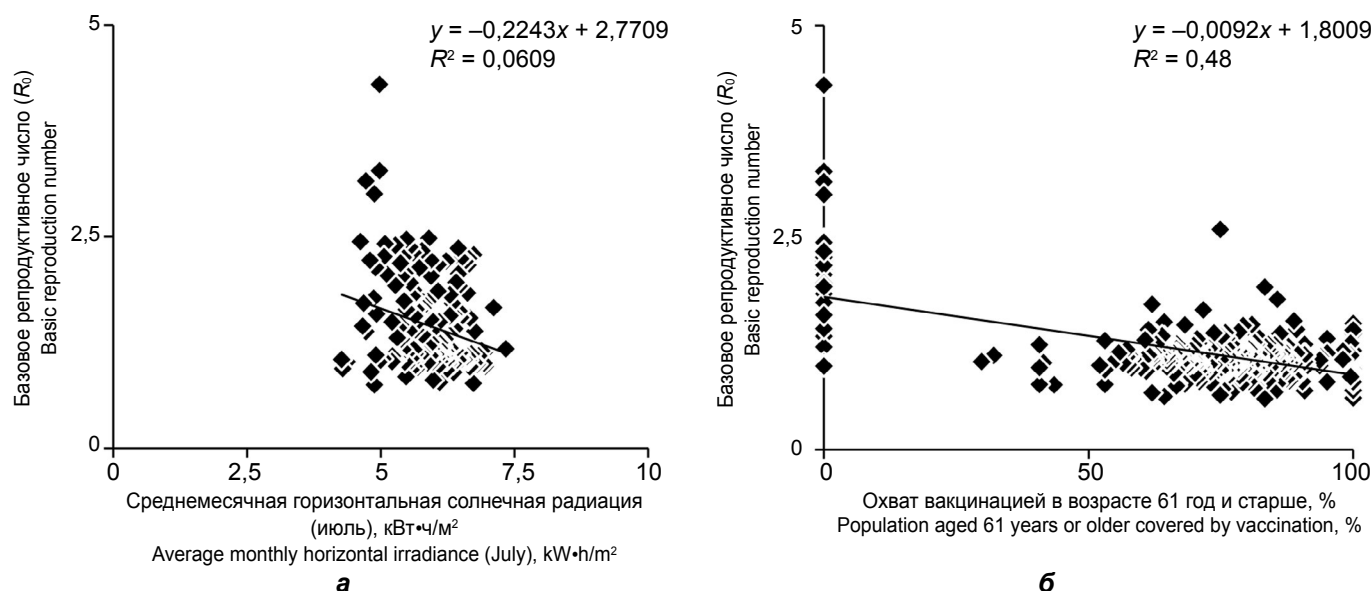


Рис. 5. Диаграмма рассеяния и уравнение зависимости базового репродуктивного числа (R_0) от показателей: «Среднемесячная горизонтальная солнечная радиация (июль), $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ » (а); «Охват вакцинацией населения в возрасте 61 год и старше, %» (б).

Fig. 5. The diagram showing dispersion and the equation to show a relationship between the basic reproduction number (R_0) and an indicator: а — «Average monthly horizontal irradiance (July), $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ »; б — «Population aged 61 years or older covered by vaccination, %».

Обсуждение

Результаты исследования выявили, что вариативное модифицирующее влияние на течение разных звеньев эпидемического процесса COVID-19 оказывает комплекс факторов из всех исследуемых групп, однако наиболее тесные статистически значимые связи параметров эпидемического процесса установлены с **показателями противоэпидемических мероприятий**, характеризующих охват вакцинацией, частоту госпитализации, результаты лабораторных исследований и др. Так, увеличение охвата вакцинацией населения, особенно в старших возрастных группах (61 год и старше), оказывает значимое влияние на сокращение продолжительности болезни (параметр β) и снижение базового репродуктивного числа (параметр R_0), что дополнительно подтверждает уязвимость людей старших возрастов⁴ к данному заболеванию [13]. Полученные зависимости между объемом диагностических мероприятий, частотой госпитализаций с внебольничными пневмониями, COVID-19 и параметрами эпидемического процесса характеризуются обратной причинно-следственной связью, при которой высокая интенсивность эпидемического процесса обуславливает повышение уровня ответных мер со стороны системы общественного здравоохранения в виде увеличения уровней тестирования и госпитализации. Полученные статистически значимые отрицательные связи между количеством выявленных лиц и базовым репродуктивным числом подтверждаются результатами ряда других релевантных исследований [14, 15], описывающих высокую эффективность тест-систем при их сравнительно невысокой стоимости. Вместе с тем, несмотря на действенность противоэпидемических мероприятий в отношении снижения вероятности передачи вируса, их продолжительное действие может усиливать эффекты социальной изоляции, особенно среди лиц старших возрастных групп [16]. В некоторых работах отмечается, что наибольшей эффектив-

ностью в долгосрочной перспективе обладают периодические, кратковременные вмешательства, а не длительные запреты и ограничения [15, 17].

Кроме того, показано, что интенсивность проявлений эпидемического процесса (параметры α , β , R_0) может зависеть от установленного места инфицирования: семья (облегченная идентификация контактных лиц) или медицинская организация (наличие людей с ослабленным иммунитетом/сопутствующим заболеванием). Обратная статистически значимая связь установлена между скоростью летальности (параметр γ) и численностью среднего медицинского персонала — показателя системы здравоохранения. Немаловажную роль в данном вопросе играет и тот факт, что ограниченный кадровый потенциал медицинской помощи в определенные периоды пандемии создавал колоссальные «издержки» индивидуального, межличностного, институционального и общественного характера для медицинского персонала [18].

Умеренные статистически значимые связи с параметрами эпидемического процесса COVID-19 установлены с **показателями экономического развития территории и благополучия населения**. По данным ряда исследований, социально-экономическое неравенство приводит и к неравенству в уровнях заболеваемости и смертности населения по причине COVID-19 [19, 20]. Полученные в настоящем исследовании связи указывают на то, что худшие социально-экономические условия способствуют более быстрому процессу инфицирования, длительным срокам выздоровления, высокой вероятности смерти в случае заболевания COVID-19. При этом независимо от состояния занятости более низкий уровень образования населения напрямую связан с увеличением вероятности смерти в случае инфицирования (параметр γ), подтверждая значимость получения более доступной и непротиворечивой информации в части профилактики, вакцинации и лечения COVID-19 в краткосрочной перспективе и необходимость повышения общего уровня образования населения в долгосрочной перспективе [7].

⁴ Пункт 4.5 СП 3.1.3597–20 «Профилактика новой коронавирусной инфекции (COVID-19)».

Ненормативное качество среды обитания, как и условия труда, способны усилить влияние текущего эпидемического процесса COVID-19 на общественное здоровье, что также показано в ряде релевантных исследований [21–24]. В настоящем исследовании получено, что показатели состояния среды обитания (качество водоснабжения, атмосферного воздуха, условия труда работающего населения), не соответствующие санитарно-эпидемиологическим требованиям, статистически значимо связаны с увеличением скорости перехода к инфицированным, умершим, а также с базовым репродуктивным числом.

По данным ряда исследований показано, что **факторы образа жизни**, связанные с недостаточной двигательной активностью, несбалансированностью диеты, вредными привычками, способствуют воспалительным реакциям и дальнейшему риску госпитализации инфицированных COVID-19 [25, 26]. Более высокая доля населения, занимающегося физической культурой и спортом, большее количество спортивных сооружений, в том числе спортивных залов, может обуславливать снижение базового репродуктивного числа, а также смертельного исхода (параметр γ) в случае заболевания. Вместе с тем, имеются оценки по влиянию пандемии и сопутствовавших ей ограничительных мероприятий на снижение приверженности людей следованию принципам здорового образа жизни [27], что снижает потенциал общественного здоровья.

По данным ряда исследований [18, 23, 28], в ходе воздействия таких стрессогенных факторов, как потребление алкоголя и высокая рабочая нагрузка, организм человека подвержен проявлению иммуносупрессии, что находит отражение в установленных статистически значимых связях объёма продаж алкогольной продукции и количества отработанных в неделю часов с увеличением скорости репродукции вируса (R_0).

Среди группы **социально-демографических показателей** статистически значимые связи увеличения базового репродуктивного числа установлены с показателями, характеризующими долю населения старше трудоспособного возраста, подтверждая, что люди старшего возраста являются восприимчивой субпопуляцией и относятся к группе риска заболевания COVID-19 [13]. Соответственно, наибольший медико-демографический ущерб может быть проявлен на территориях с высокой долей лиц старших возрастов. Увеличению скорости распространения инфекции могут способствовать показатели, характеризующие мобильность населения и частоту контактов, — плотность автомобильных дорог общего пользования (км путей на 1 тыс. км² площади субъекта) и объём пассажирооборота автобусами общего пользования, что также находит отражение в некоторых работах [29, 30].

В группе **погодно-климатических показателей** получены прямые статистически значимые связи между среднемесячными дневными температурами воздуха, особенно в осенне-зимний период, и параметром скорости перехода лиц в группу инфицированных, что может объясняться повышением плотности и частоты контактов между группами восприимчивых и инфицированных людей, облегчая механизм передачи возбудителя инфекции (SARS-CoV-2) и его дальнейшей репликации [29, 30].

Полученные в исследовании обратные статистически значимые связи между среднемесячной горизонтальной солнечной радиацией в весенне-летний период и базовым репродуктивным числом могут обуславливаться увеличением общего уровня инсоляции, который достаточно низок на большей части территории России, ассоцииру-

ясь, по данным ряда исследований, с повышением общей неспецифической резистентности организма, адекватной выработкой витамина D [31–33].

Ограничения исследования. К ограничениям исследования можно отнести набор исследуемых приоритетных факторов и период их анализа, а также результаты предварительной параметризации течения эпидемического процесса COVID-19 с использованием SIR(+L) модели.

Заключение

По результатам исследования установлено, что на течение эпидемического процесса COVID-19 статистически значимое вариативное модифицирующее влияние оказывает комплекс исследованных факторов среды обитания, в том числе показатели противоэпидемических мероприятий, факторы среды обитания, образа жизни, социально-демографические и экономические условия, погодно-климатический фон. Данный факт подтверждает, что наблюдаемые региональные особенности течения эпидемического процесса COVID-19 могут обуславливаться не только свойствами различных штаммов вируса, но и различиями, в том числе по исследуемым группам факторов.

Из 263 исследованных показателей статистически значимые связи (диапазон значений корреляций (r) от $-0,69$ до $0,39$) с параметрами интенсивности эпидемического процесса COVID-19 установлены по 42 показателям, рассматриваемым как приоритетные факторы. В частности, достоверные связи выявлены с факторами образа жизни населения; условиями труда работающих; состоянием среды обитания в части обеспечения населения качественной питьевой водой и нормативным качеством атмосферного воздуха; объёмами проведения противоэпидемических мероприятий; показателями урбанизированности территорий, облегчающих передачу инфекционного агента; показателями экономического развития и благосостояния населения, а также погодно-климатическими факторами.

Исследование совокупности модифицирующих процесс показателей среды обитания различной природы и их связи с установленными региональными параметрами эпидемического процесса COVID-19 позволило выявить приоритетные факторы риска и получить подпадающие интерпретации направления воздействия на эпидемический процесс, на основе которых можно разрабатывать системные стратегические решения по сохранению здоровья населения, повышению уровня его безопасности в масштабе регионов и страны в целом.

Перспективным направлением данного исследования является реализация системного подхода, ориентированного на принципы множественности и нелинейности причинно-следственных связей между всей совокупностью показателей эпидемического процесса COVID-19 и модифицирующими их факторами среды обитания. Актуальной также является критериальная оценка безопасности воздействия идентифицированных факторов риска на течение эпидемического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

(п.п. 1–6, 8, 9, 14–24, 26–32 см. References)

- Борхсениус А.В. Инфодемия: понятие, социальные и политические последствия, методы борьбы. *Вестник Российской государственной дружбы народов. Серия: Государственное и муниципальное управление*. 2021; 8(1): 52–8. <https://doi.org/10.22363/2312-8313-2021-8-1-52-58> <https://elibrary.ru/loftxo>
- Черкасский Б.Л. *Глобальная эпидемиология*. М.: Практическая медицина; 2008.

11. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Алексеев В.Б., Летюшев А.Н., Кирьянов Д.А., Клейн С.В. и др. Неоднородность параметров модифицированной SIR-модели волн эпидемического процесса COVID-19 в Российской Федерации. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(8): 740–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-740-749> <https://elibrary.ru/rdotzd>
12. Зайцева Н.В., Попова А.Ю., Клейн С.В., Летюшев А.Н., Кирьянов Д.А., Чигвинцев В.М. и др. Модифицирующее влияние факторов среды обитания на течение эпидемического процесса COVID-19. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(11): 1274–82. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1274-1282> <https://elibrary.ru/zcwfvh>
13. Зайцева Н.В., Попова А.Ю., Алексеев В.Б., Кирьянов Д.А., Чигвинцев В.М. Региональные особенности эпидпроцесса, вызванного вирусом SARS-CoV-2 (COVID-19), и меры компенсации влияния модифицирующих факторов неинфекционного генеза. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(6): 701–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-701-708> <https://elibrary.ru/yoysnr>
25. Клейн С.В., Вековшинина С.А. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного питьевого водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения. *Анализ риска здоровью*. 2020; (3): 49–60. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.06> <https://elibrary.ru/tkvfdn>
33. Коробицына Р.Д., Сорокина Т.Ю. Статус витамина D населения России репродуктивного возраста за последние 10 лет: систематический обзор. *Российская Арктика*. 2022; (3): 44–55. <https://doi.org/10.24412/2658-42552022-3-44-55> <https://elibrary.ru/iqqxoo>
- 701–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-701-708> <https://elibrary.ru/yoysnr> (in Russian)
14. CDC. National Center for Health Statistics. Deaths by Select Demographic and Geographic Characteristics. Available at: https://www.cdc.gov/nchs/nvss/vsrr/covid_weekly/index.htm
15. Aldila D., Shahzad M., Khoshnaw S.H.A., Ali M., Sultan F., Islamilova A., et al. Optimal control problem arising from COVID-19 transmission model with rapid-test. *Results Phys.* 2022; 37: 105501. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2022.105501>
16. Rodriguez J., Patón M., Uratani J.M., Acuña J.M. Modelling the impact of interventions on the progress of the COVID-19 outbreak including age segregation. *PLoS One*. 2021; 16(3): e0248243. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248243>
17. Tong F., Yu C., Wang L., Chi L., Fu F. Systematic review of efficacy of interventions for social isolation of older adults. *Front. Psychol.* 2021; 12: 554145. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.554145>
18. Vardavas R., de Lima P.N., Baker L. Modeling COVID-19 nonpharmaceutical interventions: Exploring periodic NPI strategies. *medRxiv*. 2021. Preprint. <https://doi.org/10.1101/2021.02.28.21252642>
19. Chermali S., Mari-Sáez A., El Bcheraoui C., Weishaar H. Health care workers' experiences during the COVID-19 pandemic: a scoping review. *Hum. Resour. Health*. 2022; 20(1): 27. <https://doi.org/10.1186/s12960-022-00724-1>
20. Khanijahani A., Iezadi S., Gholipour K., Azami-Aghdash S., Naghibi D. A systematic review of racial/ethnic and socioeconomic disparities in COVID-19. *Int. J. Equity. Health*. 2021; 20(1): 248. <https://doi.org/10.1186/s12939-021-01582-4>
21. Banerjee T., Paul A., Srikanth V., Strümke I. Causal connections between socioeconomic disparities and COVID-19 in the USA. *Sci. Rep.* 2022; 12(1): 15827. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18725-4>
22. Hernandez Carballo I., Bakola M., Stuckler D. The impact of air pollution on COVID-19 incidence, severity, and mortality: A systematic review of studies in Europe and North America. *Environ. Res.* 2022; 215(1): 114155. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114155>
23. Quinete N., Hauser-Davis R.A. Drinking water pollutants may affect the immune system: concerns regarding COVID-19 health effects. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2021; 28(1): 1235–46. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11487-4>
24. Nyberg A., Rajaleid K., Demmelmaier I. The work environment during coronavirus epidemics and pandemics: a systematic review of studies using quantitative, qualitative, and mixed-methods designs. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19(11): 6783. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116783>
25. Kleyn S.V., Vekovshina S.A. Priority risk factors related to drinking water from centralized water supply system that create negative trends in population health. *Анализ риска здоровью*. 2020; (3): 48–59. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.06> <https://elibrary.ru/sqzgcl> (in Russian)
26. Tavakol Z., Ghannadi S., Tabesh M.R., Halabchi F., Noormohammadpour P., Akbarpour S., et al. Relationship between physical activity, healthy lifestyle and COVID-19 disease severity: a cross-sectional study. *Z. Gesundh. Wiss.* 2023; 31(2): 267–75. <https://doi.org/10.1007/s10389-020-01468-9>
27. Hamer M., Kivimäki M., Gale C.R., Batty G.D. Lifestyle risk factors, inflammatory mechanisms, and COVID-19 hospitalization: A community-based cohort study of 387,109 adults in UK. *Brain Behav. Immun.* 2020; 87: 184–7. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.05.059>
28. Azzouzi S., Stratton C., Muñoz-Velasco L.P., Wang K., Fourtassi M., Hong B.Y., et al. The impact of the COVID-19 pandemic on healthy lifestyle behaviors and perceived mental and physical health of people living with non-communicable diseases: an international cross-sectional survey. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19(13): 8023. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138023>
29. Szabo G., Saha B. Alcohol's effect on host defense. *Alcohol Res.* 2015; 37(2): 159–70.
30. Carozzi F., Provenzano S., Roth S. CEP Discussion Paper No. 1711. Urban density and COVID-19; 2020. Available at: <https://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1711.pdf>
31. Pascoal R., Rocha H. Population density impact on COVID-19 mortality rate: A multifractal analysis using French data. *Physica A*. 2022; 593: 126979. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.126979>
32. Hadizadeh F. Supplementation with vitamin D in the COVID-19 pandemic? *Nutr. Rev.* 2021; 79(2): 200–8. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa081>
33. Korobitsyna R.D., Sorokina T.Yu. Vitamin D status of the Russian reproductive population over the past 10 years: a systematic review. *Rossiyskaya Arktika*. 2022; (3): 44–55. <https://doi.org/10.24412/2658-42552022-3-44-55> <https://elibrary.ru/iqqxoo> (in Russian)

REFERENCES

1. McArthur D.B. Emerging infectious diseases. *Nurs. Clin. North Am.* 2019; 54(2): 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.cnur.2019.02.006>
2. Aavitsland P., Aguilera X., Al-Abri S.S., Amani V., Aramburu C.C., Attia T.A., et al. Functioning of the International Health Regulations during the COVID-19 pandemic. *Lancet*. 2021; 398(10308): 1283–7. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01911-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01911-5)
3. Tabari P., Amini M., Khoshnood K., Arya N. Multi-dimensional effects of the COVID-19 pandemic considering the WHO's ecological approach. *Glob. Public Health*. 2021; 16(1): 136–48. <https://doi.org/10.1080/17441692.2020.1839934>
4. Mishra V., Seyedzenouzi G., Almohtadi A. Health inequalities during COVID-19 and their effects on morbidity and mortality. *J. Healthc. Leadersh.* 2021; 13: 19–26. <https://doi.org/10.2147/JHL.S270175>
5. McGowan V.J., Bambra C. COVID-19 mortality and deprivation: pandemic, syndemic, and endemic health inequalities. *Lancet Public Health*. 2022; 7(11): e966–75. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(22\)00223-7](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00223-7)
6. WHO. Infodemic. Available at: https://www.who.int/health-topics/infodemic#tab=tab_1
7. Borkhsenius A.V. Infodemia: concept, social and political consequences, methods of managing. *Seriya: Gosudarstvennoe i munitsipal'noe upravlenie*. 2021; 8(1): 52–8. <https://doi.org/10.22363/2312-8313-2021-8-1-52-58> <https://elibrary.ru/loftxo> (in Russian)
8. Ahrens W., Pigeot I., eds. *Handbook of Epidemiology*. Heidelberg: Springer Berlin; 2005. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-26577-1>
9. Oakes J.M., Kaufman J.S., eds. *Methods in Social Epidemiology*. San Francisco: Jossey-Bass; 2017.
10. Cherkasskiy B.L. *Global Epidemiology [Global'naya epidemiologiya]*. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2008. (in Russian)
11. Popova A.Yu., Zaytseva N.V., Alekseev V.B., Letyushev A.N., Kir'yanov D.A., Kleyn S.V., et al. Heterogeneity of the modified sir-model parameters of waves of COVID-19 epidemic process in the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(8): 740–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-740-749> <https://elibrary.ru/rdotzd> (in Russian)
12. Zaytseva N.V., Popova A.Yu., Kleyn S.V., Letyushev A.N., Kir'yanov D.A., Chigvintsev V.M., et al. Modifying impact of environmental factors on the course of an epidemic process. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(11): 1274–82. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1274-1282> <https://elibrary.ru/zcwfvh> (in Russian)
13. Zaytseva N.V., Popova A.Yu., Alekseev V.B., Kir'yanov D.A., Chigvintsev V.M. Regional peculiarities of the epidemiological process caused by SARS-CoV-2 (COVID-19), compensation for the impact of modifying factors of non-infectious genesis. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(6):