



Корреляция частоты заражений и смертности от COVID-19 с аномально высоким содержанием озона в приземной атмосфере Москвы летом 2021 года

Е.В. Степанов^{1,*}, В.В. Андреев², Д.В. Чупров², В.Т. Ивашкин³

¹ ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова» Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный университет им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет) Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

Цель: провести сопоставление статистических данных о частоте заражений и смертности от COVID-19 с содержанием озона в приземной атмосфере Москвы летом 2021 года.

Материалы и методы. Использованы официальные данные по частоте ежедневной заражаемости и смертности от COVID-19 в Москве в 2020–2021 годах, публикуемые Роспотребнадзором. Данные по содержанию озона в приземном слое атмосферы получены автоматической станцией мониторинга с помощью хемолуминесцентного анализатора.

Результаты. Проведено сопоставление волн высокой частоты заражений SARS-CoV-2 и смертности от COVID-19 в Москве летом 2021 года с аномально высокими концентрациями озона в приземной атмосфере мегаполиса. Вариации этих параметров оказались заметно коррелированными. Коэффициенты корреляции частоты заражений и смертности с концентрацией приземного озона составили 0,59 ($p < 0,01$) и 0,60 ($p < 0,01$) соответственно. Выводы: наблюдаемая взаимосвязь может быть обусловлена сочетанным патологическим действием высоких концентраций озона и вируса SARS-CoV-2 на органы дыхания и кровообращения, что может приводить как к более легкой передаче инфекции (заражаемости), так и к более тяжелому течению заболевания и повышению смертности.

Ключевые слова: приземный озон, пандемия COVID-19, SARS-CoV-2, частота заражений, смертность

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Степанов Е.В., Андреев В.В., Чупров Д.В., Ивашкин В.Т. Корреляция частоты заражений и смертности от COVID-19 с аномально высоким содержанием озона в приземной атмосфере Москвы летом 2021 года. Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2022;32(3):18–22. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2022-32-3-18-22>

The Association of High COVID-19 Cases and Mortality with Anomalous High Surface Ozone Concentration in Moscow City in Summer 2021

Evgeny V. Stepanov^{1,*}, Viktor V. Andreev², Denis V. Chuprov², Vladimir T. Ivashkin³

¹ Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

Aim: to compare statistical data on the frequency of COVID-19 and deaths from it with the ozone content in the surface atmosphere of Moscow in the summer of 2021.

Materials and methods. We used data on the frequency of daily COVID-19 cases and mortality from COVID-19 in Moscow in 2020–2021 published by Rospotrebnadzor. Data on the ozone content in the surface layer of the atmosphere were obtained by an automatic monitoring station using a chemiluminescent analyzer.

Results. The waves of high frequency of COVID-19 cases and mortality from COVID-19 in Moscow in the summer of 2021 were compared with abnormally high concentrations of ozone in the surface atmosphere of the megalopolis. Variations of these parameters were found to be markedly correlated. The coefficients of correlation of the COVID-19 cases and mortality with the concentration of ground-level ozone were 0,59 ($p < 0.01$) and 0.60 ($p < 0.01$), respectively.

Conclusion. The observed noticeable relationship may be due to the combined pathological effect of high concentrations of ozone and the SARS-CoV-2 on the respiratory and circulatory organs, which can lead to both easier transmission of infection and a more severe course of the disease with increased mortality.

Keywords: surface ozone, pandemic COVID-19, SARS-CoV-2, mortality

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Stepanov E.V., Andreev V.V., Chuprov D.V., Ivashkin V.T. The Association of High COVID-19 Cases and Mortality with Anomalous High Surface Ozone Concentration in Moscow City in Summer 2021. Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology. 2022;32(3):18–22. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2022-32-3-18-22>

Введение

Проблеме влияния качества атмосферного воздуха на развитие пандемии COVID-19, распространение вируса, частоту заражений, тяжесть заболевания и риск смертельного исхода уделено достаточно много внимания в последних научных публикациях [1–7]. При этом в качестве основных факторов, загрязняющих атмосферный воздух, которые могли бы повлиять на распространение инфекции и тяжесть заболевания COVID-19, рассматриваются окислы азота, NO₂, NO, озон O₃, CO, аэрозоли и частицы пыли различного размера PM_{2.5} и PM₁₀ [1, 3, 6]. Они считаются наиболее вредными и опасными для человека и появляются в городском воздухе в основном из-за автотранспорта. Результаты этих исследований не дали однозначного ответа на вопрос о возможных опасных взаимосвязях чистоты окружающего воздуха и заболеваемости COVID-19 [5], поскольку рассматриваемые явления зависят от очень многих разносторонних и трудно учитываемых факторов (глобальных, локальных, персональных, внешних и внутренних). Поэтому данная проблема требует дальнейшего изучения.

Этим сообщением мы хотим еще раз привлечь внимание к возможному влиянию высоких концентраций озона в приземной атмосфере мегаполиса на распространение инфекции SARS-CoV-2, частоту заражений и смертность, связанные с COVID-19. Известно, что озон является сильным окислителем и высокие его концентрации во вдыхаемом воздухе повышают риск заболеваний органов дыхания, сердечно-сосудистой и нервной системы [8, 9]. Установлена сильная взаимосвязь случаев пневмонии, инсульта и общей смертности с уровнем озона в окружающей среде [10–17].

В самом начале пандемии, когда еще не были точно известны все особенности патологического действия вируса SARS-CoV-2 на организм, нами было высказано предположение, что возможно сочетанное патологическое действие вируса и высоких концентраций озона во вдыхаемом воздухе [18]. Эта гипотеза была основана на самых общих соображениях, принимающих во внимание тот факт, что и SARS-CoV-2, и озон похожим образом пагубно действуют на органы дыхания, сосуды и систему крови. В этой статье были перечислены основные патогенетические свойства озона. Более того, было предсказано

увеличение частоты тяжелого течения пневмонии, обусловленной SARS-CoV-2, и смертности в Москве в летний период в случае значительного роста температуры окружающего воздуха и солнечной активности. Именно эти факторы вызывают увеличение содержания озона в приземной атмосфере.

Очевидно, что лабораторное изучение сочетанного действия вируса SARS-CoV-2 и молекул озона на испытуемых не представляется возможным по этическим соображениям. Однако возможно провести сопоставление статистических данных по динамике частоты заражений и смертности от COVID-19, накопленных за годы течения пандемии, с данными мониторинга качества атмосферного воздуха. Этот подход был использован нами для изучения поставленной проблемы для условий Москвы.

Цель исследования: провести сопоставление статистических данных о частоте заражений и смертности от COVID-19 с содержанием озона в приземной атмосфере Москвы летом 2021 года.

Материалы и методы

Для анализа нами были использованы официальные данные по частоте ежедневной заражаемости и смертности от COVID-19 в Москве в 2020–2021 годах, публикуемые Роспотребнадзором [19]. Данные по содержанию озона в приземном слое атмосферы Москвы были получены нами в результате измерений, проводимых в нашей лаборатории мониторинга качества атмосферы Российского университета дружбы народов [20, 21]. Автоматическая станция мониторинга расположена в центре Москвы, в пределах третьего транспортного кольца, по адресу: ул. Орджоникидзе, 3. Измерение концентрации озона в приземной атмосфере проводится на станции с помощью коммерчески доступного хемолуминесцентного анализатора 3.02П-А производства приборостроительной компании ООО «ОПТЭК», С.-Петербург, Россия. Чувствительность анализа составляет 1 мкг/м³, частота вывода данных — 1 раз в минуту. Этот анализатор сертифицирован в Российской Федерации в качестве средства измерений.

Для сопоставления используются временные ряды суточных данных по заражаемости, смертности и концентрации озона, которые не подвергались какой-либо предварительной статистической обработке.

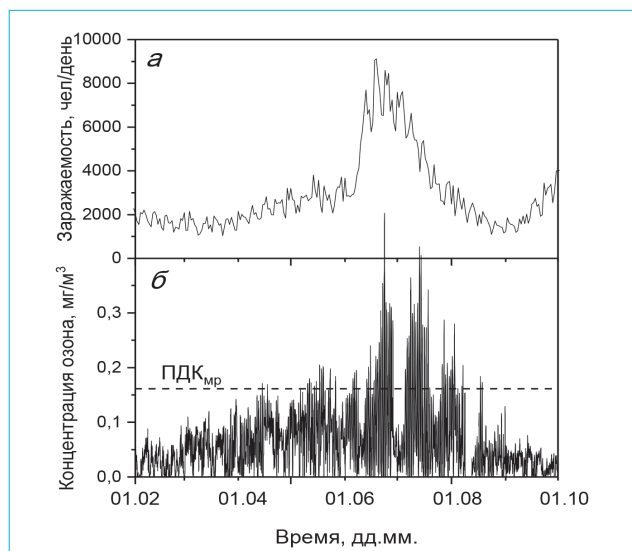


Рис. 1. А — частота ежедневных заражений вирусом SARS-CoV-2 в Москве летом 2021 года по данным Роспотребнадзора [19]; Б — текущая приземная концентрация озона в центральном районе Москвы: ул. Орджоникидзе, 3

Суточные данные по заражаемости и смертности сравниваются с максимальными суточными приземными концентрациями озона. Коэффициент корреляции между рядами данных рассчитывается с использованием стандартных методов.

Результаты и их обсуждение

Результаты сопоставления частоты ежедневных заражений и смертности от COVID-19 с содержанием озона в приземной атмосфере Москвы летом 2021 года представлены на рисунках 1 и 2.

На рисунке 1 сопоставлены частота ежедневных заражений вирусом SARS-CoV-2 и текущее содержание озона в приземном слое атмосферы в Москве весной и летом 2021 года, во время прохождения третьей волны пандемии, вызванной дельта-штаммом вируса. Отметим, что содержание приземного озона летом 2021 года в Москве было аномально высоким. Это было связано с особенностями метеорологической обстановки, которые обусловили теплую сухую весну и жаркое лето. Эти условия были оптимальны для образования озона в атмосфере мегаполиса, загрязненной в условиях локдауна преимущественно автомобильными выбросами. Видна заметная взаимосвязь между частотой ежедневных заражений и концентрацией озона, коэффициент корреляции составил $-0,59$ ($p < 0,01$). Возможная причинно-следственная связь между частотой заражений SARS-CoV-2 и содержанием озона в окружающем воздухе неочевидна ввиду большого числа факторов, которые могут оказывать влияние на изучаемые процессы. О наблюдении такой же положительной взаимосвязи этих параметров сообщали T. To et al. [5]. При этом

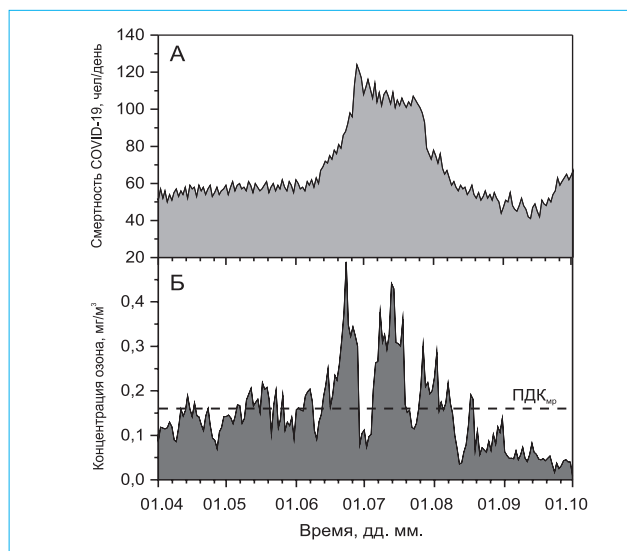


Рис. 2. А — смертность, связанная с инфекцией SARS-CoV-2, в Москве летом 2021 года по данным Роспотребнадзора [19]; Б — максимальная суточная приземная концентрация озона в центральном районе Москвы: ул. Орджоникидзе, 3

авторы изначально предполагали, что повышенное содержание озона в воздухе будет, напротив, способствовать снижению частоты заражений, поскольку озон губительно действует на сами вирусы.

На рисунке 2 сопоставлены смертность, связанная с инфекцией SARS-CoV-2, и максимальные суточные приземные концентрации озона в центре Москвы с апреля по сентябрь 2021 года. Виден резкий скачок смертности от COVID-19 во второй половине июня, который по времени совпадает с прохождением через Москву двух волн жары. В это время максимальные дневные температуры доходили до 35°C , а максимальные суточные концентрации озона повышались до 480 мкг/м^3 (при установленном уровне санитарно-гигиенических норм $\text{ПДК}_{\text{сс}} = 30\text{ мкг/м}^3$ и $\text{ПДК}_{\text{мр}} = 160\text{ мкг/м}^3$ [22]). Следует отметить, что до прохождения летних волн особенно высоких концентраций озона, с марта по июнь 2021 года, содержание озона в московском воздухе было также аномально повышенным. Это могло оказывать дополнительное хроническое воздействие на здоровье населения, увеличивая оксидативный стресс, снижая уровень иммунной защиты, способствуя развитию системного воспаления. Возможная причинно-следственная связь между смертностью от COVID-19 и содержанием озона в окружающем воздухе кажется более очевидной и может быть отнесена к эффекту сочетанного влияния двух факторов, действующих на организм, что и обсуждалось ранее в [18].

Представленные нами результаты имеют определенные ограничения. Для сопоставления используются официальные данные по заражаемости и смертности от COVID-19 в Москве в 2020–2021 годах, публикуемые Роспотребнадзором,

имеющие определенную условность и достоверность. Содержание озона в приземной атмосфере Москвы оценивалось нами на основе локальных данных, получаемых в одном из городских районов. При этом необходимо учитывать, что поле распределения озона в приземном слое атмосферы мегаполиса неоднородно и доза токсического воздействия на жителей Москвы зависит от района проживания.

Выводы

Таким образом, летом 2021 года в Москве во время пандемии COVID-19 наблюдалось редкое сочетание распространения очередной волны инфекции SARS-CoV-2 (штамм дельта) и метеорологических условий, способствующих образованию аномально высоких приземных концентраций озона. Помимо высокой частоты заражений в это время в Москве была зафиксирована и самая высокая за время пандемии смертность, обусловленная

этим вирусом. Вариации во времени концентрации приземного озона, частоты заражений и смертности от COVID-19, имеющие волнообразный характер, оказались заметно коррелированными. Коэффициенты корреляции частоты заражений и смертности с концентрацией приземного озона составили $\sim 0,59$ ($p < 0,01$) и $\sim 0,60$ ($p < 0,01$) соответственно, при том что корреляция между частотой заражений и смертностью в этот период составила $0,72$ ($p < 0,01$). Наблюдаемая корреляция может быть обусловлена сочетанным патологическим действием на органы дыхания и кровообращения высоких концентраций озона и вируса SARS-CoV-2, которое может приводить как к более легкой передаче инфекции (и, таким образом, к более высокой частоте заражений), так и более тяжелому течению заболевания и повышению смертности. Установление точных причинно-следственных связей наблюдаемого эффекта требует более тщательного специального изучения, включая анализ многопараметрических долговременных статистических данных.

Литература / References

- Gujral H., Sinha A. Association between exposure to airborne pollutants and COVID-19 in Los Angeles, United States with ensemble-based dynamic emission model. *Environ Res.* 2021;194:110704. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110704
- Han Y., Zhao W., Pereira P. Global COVID-19 pandemic trends and their relationship with meteorological variables, air pollutants and socioeconomic aspects. *Environ Res.* 2022; 204:112249 DOI: 10.1016/j.envres.2021.112249
- Conticini E., Frediani B., Caro D. Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Environ Pollut.* 2020;261:114465. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114465
- Marquès M., Domingo J.L. Positive association between outdoor air pollution and the incidence and severity of COVID-19. A review of the recent scientific evidences. *Environ Res.* 2022;203:111930. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111930
- To T., Zhang K., Maguire B., Terebessy E., Fong I., Parikh S., et al. UV, ozone, and COVID-19 transmission in Ontario, Canada using generalized linear models. *Environ Res.* 2021;194:110645.
- Gough W.A., Anderson V. Changing Air Quality and the Ozone Weekend Effect during the COVID-19 Pandemic in Toronto, Ontario, Canada. *Climate.* 2022;10(3):41. DOI: 10.3390/cli10030041
- Kolluru S.S.R., Patra A.K., Nazneen S.M., Nandana S. Association of air pollution and meteorological variables with COVID-19 incidence: evidence from five megacities in India. *Environ Res.* 2021;195:110854. DOI: 10.1016/j.envres.2021.110854
- Amann M., Derwent D., Forsberg B., Hänninen O., Hurley F., Krzyzanowski M., et al. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. WHO. Regional Office for Europe. 2008. URL: www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78647/E91843.pdf
- Bates D.V. Ambient ozone and mortality. *Epidemiology.* 2005;16:4:427–9. DOI: 10.1097/01.ede.0000165793.71278.ec
- Al-Hegelan M., Tighe R.M., Castillo C., Hollingsworth J.W. Ambient ozone and pulmonary innate immunity. *Immunol Res.* 2011;49:173–91. DOI: 10.1007/s12026-010-8180-z
- Chuang G.C., Yang Z., Westbrook DG, Pompilius M, Ballinger CA, et al. Pulmonary ozone exposure induces vascular dysfunction, mitochondrial damage, and atherogenesis. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol.* 2009;297(2):209–16. DOI: 10.1152/ajplung.00102.2009
- Bell M., Dominici F. Effect Modification by Community Characteristics on the Short-term Effects of Ozone Exposure and Mortality in 98 US Communities. *Amer J Epidemiol.* 2008;167(8):986–97. DOI: 10.1093/aje/kwm396
- Peng R.D., Samoli E., Pham L., Dominici F., Touloumi G., Ramsay T., et al. Acute effects of ambient ozone on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. *Air Qual Atmos Health.* 2013;6:445–53. DOI: 10.1007/s11869-012-0180-9
- Hollingsworth J., Kleeberger S.R., Foster W.M. Ozone and pulmonary innate immunity. *Proc Am Thorac Soc.* 2007;4:240–6. DOI: 10.1513/pats.200701-023AW
- Srebot V., Gianicolo E.A., Rainaldi G., Trivella M.G., Sicari R. Ozone and cardiovascular injury Cardiovasc Ultrasound. 2009;7:30. DOI: 10.1186/1476-7120-7-30
- Kotelnikov S.N., Stepanov E.V., Ivashkin V.T. Ozone Concentration in the Ground Atmosphere and Morbidity during Extreme Heat in the Summer of 2010. *Doklady Biological Sciences.* 2017;473:1–5. DOI: 10.1134/S001249661702010
- Kotelnikov S.N., Stepanov E.V., Ivashkin V.T. Aboveground Ozone Concentration and the Health Status in Various Age Groups of Muscovites in Summer 2010. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics.* 2019;55(11):1602–13. DOI: 10.1134/S0001433819110070
- Ивашкин В.Т., Котельников С.Н., Степанов Е.В. Возможное усиление тяжести протекания COVID-19 за счет сочетанного действия вируса Sars-CoV-2 и озона при сезонном повышении содержания озона в приземной атмосфере. *Экология и жизнь.* 2020. [Ivashkin V.T., Kotelnikov S.N., Stepanov E.V. Possible increase in the severity of COVID-19 due to the combined action of the Sars-CoV2 virus and ozone with a seasonal increase in ozone content in the surface atmosphere, *Ecology and Life.* 2020 (In Russ.)]. URL: <http://www.ecolife.ru/zhurnal/articles/51434/>
- URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/region/korona_virus/epid.php
- Andreev V.V., Arshinov M.Yu., Belan B.D., Davydov D.K., Elansky N.F., Stepanov E.V., et al. Surface Ozone Concentration over Russian Territory in the First Half of 2020. *Atmos Oceanic Opt.* 2020;33(6):671–81. DOI: 10.1134/S1024856020060184

21. Andreev V.V., Arshinov M.Yu., Belan B.D., Belan S.B., Davydov D.K., Demin V.I., et. al. Surface Ozone Concentration in Russia in the Second Half of 2020. *Atmos Oceanic Opt.* 2021;34(4):347–56. DOI: 10.1134/S1024856021040035
22. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Утвержден постановлением № 2 Главного государственного

санитарного врача Российской Федерации 28.01.2021. 1142 с. [SanPiN 1.2.3685-21 “Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans”. Approved by Resolution No.2 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 28.01.2021. 1142 p. (In Russ.)]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022>

Сведения об авторах

Степанов Евгений Валерьевич* — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова» Российской академии наук. Контактная информация: eugenestepanov@yandex.ru; 119991, Москва, ул. Вавилова, 38. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9297-4093>

Андреев Виктор Викторович — кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель директора Института физики и технологий ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов». Контактная информация: vvandreev@mail.ru; 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2654-6752>

Чупров Денис Викторович — старший преподаватель ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов». Контактная информация: chu_d@mail.ru; 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6768-6196>

Ивашкин Владимир Трофимович — доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней, гастроэнтерологии и гепатологии, директор клиники пропедевтики внутренних болезней, гастроэнтерологии и гепатологии им. В.Х. Василенко ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет) Министерства здравоохранения Российской Федерации. Контактная информация: ivashkin_v_t@staff.sechenov.ru; 119991, г. Москва, ул. Погодинская, д. 1, стр. 1. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6815-6015>

Information about the authors

Evgeny V. Stepanov* — Dr. Sci. (Phys. & Math.), Prof., Head of department, A.M. Prokhorov Institute of General Physics of RAS. Contact information: eugenestepanov@yandex.ru; 119991, Moscow, Vavilova str., 38. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9297-4093>

Viktor V. Andreev — Cand. Sci. (Phys. & Math.), Sciences, Associ. Prof., Deputy Director of the Institute of Physics and Technology, Peoples' Friendship University. Contact information: vvandreev@mail.ru; 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2654-6752>

Denis V. Chuprov — senior lecturer, Peoples' Friendship University. Contact information: chu_d@mail.ru; 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6768-6196>

Vladimir T. Ivashkin — Dr. Sci. (Med.), RAS Academician, Prof., Departmental Head, Department of Propaedeutics of Internal Diseases, N.V. Chief of Vasilenko Clinic of Internal Disease Propaedeutics, Gastroenterology and Hepatology, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). Contact information: ivashkin_v_t@staff.sechenov.ru; 119435, Moscow, Pogodinskaya str., 1, bld. 1. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6815-6015>

Поступила: 14.05.2022 Принята: 01.07.2022 Опубликована: 30.07.2022
Submitted: 14.01.2022 Accepted: 01.07.2022 Published: 30.07.2022

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author