

© Журавлёв П.В., Калюжнин А.С., Кулак М.А., Алексанина Н.В., Гапон М.Н., Твердохлебова Т.И., 2021
УДК 57.022-616.98:613.31

Способность выживания возбудителя COVID-19 в водной среде (Обзор литературы)

П.В. Журавлёв^{1,2}, А.С. Калюжин¹, М.А. Кулак¹, Н.В.Алексанина¹,
М.Н. Гапон¹, Т.И. Твердохлебова^{1,2}

¹ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, пер. Газетный, д. 119, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, пер. Нахичеванский, д. 29, г. Ростов-на-Дону, 344022, Российская Федерация

Резюме: *Введение.* В настоящей работе представлен обзор научных данных зарубежных и российских исследователей о возможных местах обитания возбудителя COVID-19, сведений о путях распространения инфекционного агента SARS-CoV-2 и принимаемых мерах по борьбе с ним в водной среде. *Цель настоящего обзора* – определить возможность и особенности распространения через водную среду возбудителя COVID-19 с учётом степени достоверности полученных результатов и соответствия научных исследований критериям доказательной медицины. *Методы.* Были найдены и проанализированы научные работы по поисковым электронным базам данных (Web of Science, Scopus, PubMed, eLIBRARY и ResearchGate) согласно ключевым словам (COVID-19, wastewater, treatment facilities, river water). Из 109 источников авторами было отобрано 85 с учётом ключевых слов. После анализа избранной литературы в настоящий обзор было включено 55 источников в соответствии с темой работы. *Показано* присутствие возбудителя COVID-19 в различных объектах окружающей среды: системах водоснабжения, сточных водах, поверхностных водах. Определены методы детекции вирусных частиц SARS-CoV-2 на основе выявления штаммов других вирусов в объектах окружающей среды. Это позволило понять, что самостоятельное попадание вируса в экосистему происходит за счёт абсорбирования с различными фомитами. В обзоре представлены результаты работ, проведённых в ряде стран во время пандемии, подтверждающие присутствие возбудителя COVID-19 в речной воде. Часть исследований указывает на устойчивость вирусных частиц, присутствующих в объектах окружающей среды, к дезинфицирующим средствам, что, в свою очередь, определяет актуальность углублённых исследований с позиции обеспечения санитарно-противоэпидемического режима на станциях водоподготовки. *Выводы.* Проведённый анализ мировых научных исследований по теме новой коронавирусной инфекции позволил установить способность вируса выживать в водной среде урбанизированных территорий и выявить альтернативные пути распространения инфекционного агента в окружающей среде. В современных условиях, в связи с невысокой эффективностью очистных сооружений канализации в отношении вирионов, существует риск распространения вируса SARS-CoV-2 в окружающей среде, что и обуславливает потенциальный риск возникновения коронавирусных инфекций. Полученные сведения позволяют разработать новые профилактические меры по сохранению санитарно-гигиенического состояния водных объектов и санитарно-защитных зон. Внедрение в практику этих мер будет способствовать улучшению эпидемической ситуации в нашей стране.

Ключевые слова: COVID-19, SARS-CoV-2, сточные воды, очистные сооружения, речная вода.

Ключевые слова: COVID-19, SARS-CoV-2, сточные воды, очистные сооружения, речная вода.
Для цитирования: Журавлёв П.В., Калужин А.С., Кулак М.А., Алексанина Н.В., Гапон М.Н., Твердохлебова Т.И. Способность выживания возбудителя COVID-19 в водной среде (Обзор литературы) // Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 3 (336). С. 84-90. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-336-3-84-90>

Информация об авторах:

✉ **Журавлёв** Пётр Васильевич – д.м.н., заведующий лабораторией санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии», профессор кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: rostovnjimp@rnjimp.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8196-3882>

Калужин Александр Сергеевич – мл.н.с. лаборатории санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии»; e-mail: o.t.t.o.94@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7234-6890>.

Кулак Мария Александровна – мл.н.с. лабораторий санитарно-паразитологического мониторинга, медицинской паразитологии и иммунологии ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии»; e-mail: kulak.marva@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6778-4426>.

Алексанина Наталья Владимировна – к.б.н., ст.н.с. лаборатории санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии»; e-mail: natally10_09@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7702-1385>.

Гапон Марина Николаевна – к.б.н., Ведущий научный сотрудник лаборатории санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии»; e-mail: marina.gapon@mail.ru

Твердохлебова Татьяна Ивановна - д.м.н., директор ФБУН «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии» Ростпотребнадзора; e-mail: niimicrodouble@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3912-0291>

Survival Ability of the COVID-19 Causative Agent in Aquatic Environment: A Literature Review

P.V. Zhuravlev,^{1,2} A.S. Kalvuzhin,¹ M.A. Kulak,¹ N.V. Aleksanina,¹ M.N. Gapon,¹ T.I. Tverdokhlebova^{1,2}

¹Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology, 119 Gazetny Lane, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation.

²Rostov State Medical University, 29 Nakhichevansky Lane, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation

Summary. *Background:* The article presents an overview of foreign and Russian scientific data on possible natural reservoirs of the COVID-19 causative agent, SARS-CoV-2 transmission routes, and measures taken to combat it in an aquatic environment. *The objective* of this review is to determine the possibility and features of SARS-CoV-2 dissemination through the aquatic environment, taking into account statistical significance of the results obtained and the compliance of scientific research with the criteria of evidence-based medicine. *Methods:* We used keywords “COVID-19”, “wastewater”, “treatment facilities”, and “river water” to search the electronic databases, including Web of Science, Scopus, PubMed, eLIBRARY, and ResearchGate, for journal articles on the topic. Out of 109 search results, we chose 85 papers and, having analyzed them, selected 55 most relevant articles for this review. The presence of the COVID-19 causative agent has been shown in various environmental objects including water supply systems, wastewater, and surface waters. Methods for detecting SARS-CoV-2 particles based on the detection of strains of other viruses in environmental objects have been determined. They demonstrated that the independent entry of the virus into the ecosystem occurs due to its absorption by various fomites. The review presents the results of studies conducted in a number of countries during the pandemic, confirming the presence of SARS-CoV-2 in river water. Some studies indicate the resistance of viral particles present in environmental objects to disinfectants, which, in its turn, determines the relevance of in-depth studies from the standpoint of ensuring sanitary and anti-epidemic regimen at water treatment plants. *Conclusions:* The analysis of the world experience enabled us to establish the SARS-CoV-2 survival ability in the aquatic envi-

ronment of urbanized areas and to identify its alternative transmission routes in the environment. In modern conditions, due to a poor efficiency of sewage treatment plants in terms of virions, the spread of SARS-CoV-2 in the environment posing a potential risk of the coronavirus disease is quite possible. Our findings will help develop new preventive measures to maintain safety of water bodies and sanitary protection zones. Their implementation will contribute to improvement of the epidemic situation in our country.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, wastewater, treatment facilities, river water.

For citation: Zhuravlev PV, Kalyuzhin AS, Kulak MA, Aleksanina NV, Gapon MN, Tverdokhlebova TI. Survival ability of the COVID-19 causative agent in aquatic environment: a literature review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021; (3(336)):84–90. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-336-3-84-90>

Author information:

✉ Pyotr V. **Zhuravlev**, D.M.Sc., Head of the Laboratory of Sanitary Microbiology of Water Bodies and Human Microbial Ecology, Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Professor, Department of General Hygiene, Rostov State Medical University of the Russian Ministry of Health; e-mail: rostovniimp@rniimp.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8196-3882>.

Alexander S. **Kalyuzhin**, Junior Researcher, Laboratory of Sanitary Microbiology of Water Bodies and Human Microbial Ecology, Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; e-mail: o.t.t.o.94@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7234-6890>.

Maria A. **Kulak**, Junior Researcher, Laboratory of Sanitary and Parasitological Monitoring, Medical Parasitology and Immunology, Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; e-mail: kulak.marya@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6778-4426>.

Natalya V. **Aleksanina**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Sanitary Microbiology of Water Bodies and Human Microbial Ecology, Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; e-mail: nataly10_09@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7702-1385>.

Marina N. **Gapon**, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Sanitary Microbiology of Water Bodies and Human Microbial Ecology, Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; e-mail: marina.gapon@mail.ru.

Tatyana I. **Tverdokhlebova**, D.M.Sc., Director, Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; e-mail: niimicrodouble@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3912-0291>.

Введение. Коронавирусы, принадлежащие к одноименному роду семейства *Coronaviridae*, широко распространены в природе. Впервые открытые еще в 30-х годах прошлого века, они до недавнего времени были известны как возбудители тяжелых, нередко смертельных, заболеваний среди сельскохозяйственных животных и домашних птиц.

В марте 2020 года Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила о глобальной эпидемии так называемой атипичной пневмонии, или тяжелого острого респираторного синдрома. По данным ВОЗ, к августу 2020 г. было зарегистрировано 8098 случаев ближневосточного респираторного синдрома — Middle East respiratory syndrome (MERS-CoV) с 4–11%-й летальностью [1]. Это заболевание, впервые зарегистрированное в ноябре 2002 года в Южном Китае, в течение нескольких месяцев распространилось на территориях 30 государств Азии, Европы, Северной и Южной Америки, Африки и в Австралии. Наибольшее количество заболевших было выявлено в Китайской Народной Республике (КНР), Сингапуре и Канаде. Короткий инкубационный период (2–3 суток) обусловил стремительное распространение вируса при международном авиасообщении со странами Юго-Восточной Азии [1–4]. Инфицирование людей чаще происходило в госпитальных условиях. Один больной в среднем заражал трех-четыре контактных лиц [5].

Вспышка новой коронавирусной инфекции зарегистрирована в декабре 2019 г. в г. Ухань (провинция Хубэй, КНР) [6], хотя первые случаи были зафиксированы еще в ноябре 2019 г. Вспышка распространилась на другие 30 городов КНР, включая Пекин и Шанхай [7]. Инфицированные пациенты были выявлены более чем в 40 странах Азии, Америки, Европы и в Австралии; в Российской Федерации — два случая. В настоящее время пандемия охватила более 215 стран, всего в мире зарегистрировано свыше 95 миллионов подтвержденных случаев COVID-19.

В связи с широким и быстрым распространением коронавирусной инфекции учеными разных стран проведены исследования, направленные на изучение путей распространения и жизнеспособности вируса. Результаты исследования, проведенного в ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, по изучению жизнеспособности коронавируса SARS-CoV-2 в образцах дехлорированной питьевой воды при температуре 24–28 °C и 4 °C в течение 1, 3, 24, 48, 72 часов, а также в образцах, имитирующих морскую воду, с концентрацией солей по хлориду натрия 0,9 % и 3,5 % при температуре 24–28 °C в течение 1, 3, 24, 48 часов, свидетельствуют о том, что коронавирус SARS-CoV-2 (коронавирус, связанный с тяжелым острым респираторным синдромом 2) сохраняет остаточную инфекционную активность в дехлорированной питьевой воде в течение 72 часов, при этом степень его сохранности зависит от температуры воды [8].

В соответствии с поставленной целью исследования были определены задачи:

1. Провести анализ возможных путей передачи COVID-19 через сточные воды, загрязненные отходами человеческой деятельности.
2. Изучить сохранение жизнеспособности возбудителя COVID-19 в сточных водах очистных сооружений канализации.
3. Рассмотреть аспекты возможного выделения вируса SARS-CoV-2 из воды открытого водоема.

Возможные пути передачи COVID-19 через сточные воды, загрязненные отходами антропогенного характера.

Исследования показали, что в 2–10 % подтвержденных случаев COVID-19 наблюдаются симптомы диареи в первый день госпитализации и сохраняются в течение нескольких дней после нее [9–11]. В фекалиях инфицированных пациентов выявлены фрагменты вирусной РНК SARS-CoV-2 [11–14], что также позволяет говорить о возможной решающей роли в распространении COVID-19 косвенной передачи

зараженных фомитов (контаминированных предметов) [15, 16].

В ряде зарубежных работ отмечено, что желудочно-кишечные симптомы, такие как диарея, диспепсия, вздутие живота и запоры, в 10 % случаев предшествуют респираторным симптомам и лихорадке [10, 17, 16]. Известны случаи, когда выздоровевшие пациенты все еще давали положительный результат на наличие вирусной РНК в образцах стула [17–19].

В исследовании китайских специалистов выявление SARS-CoV-2 в образце стула у десятилетнего ребенка, не имеющего симптомов заболевания, показало, что фекалии также могут являться материалом для диагностики на COVID-19, помимо образцов из дыхательных путей [20]. Обнаружение живого коронавируса SARS-CoV-2 в образцах стула подтвердило возможность фекально-орального пути передачи COVID-19 [21].

С вирусологической точки зрения тропизм SARS-CoV-2 к оболочке кишечника является необычным, поскольку большинство вирусов, связанных с диареей (аденовирус, ротавирус, норовирус и т. д.), его не имеют. В исследовании, проведенном Xing et al. [22], кишечный тропизм SARS-CoV-2 указывает на более высокую его устойчивость в кишечном тракте, чем у других вирусов.

Установлено, что SARS-CoV-2 использует рецепторы ACE2 для проникновения в организм хозяина [23, 24], и после этого множественные копии вирусной РНК и белков синтезируются в цитоплазме хозяина для сборки новых вирионов [25], которые затем могут быть выделены из желудочно-кишечного тракта. Фекалии 73 госпитализированных пациентов с SARS-CoV-2 были протестированы методом ПЦР с обратной транскрипцией (гRT-PCR) в реальном времени. При исследовании образцов стула больных положительный результат дали 53,42 % от общего числа проб. Примечательно, что 23,29 % пациентов с вирусной РНК, не выявленной в дыхательных путях, показали наличие SARS-CoV-2 в фекалиях [26]. Кроме того, в эпителии желудка, двенадцатиперстной и прямой кишки было выявлено положительное иммунофлуоресцентное окрашивание вирусного рецептора хозяина ACE2 (ангиотензинпревращающий фермент 2) и вирусного нуклеокапсидного белка у пациентов с COVID-19. Исследователи смогли выделить SARS-CoV-2 из образцов кала, что указывает на наличие инфекционных вирионов в желудочно-кишечном тракте [27]. Эти результаты выявили возможность фекально-орального пути передачи SARS-CoV-2 [19, 28].

Жизнестойкость возбудителя COVID-19 в сточных водах очистных сооружений канализации. Установки для очистки поверхностных вод наиболее подвержены вирусному загрязнению. Этот факт особенно актуален во время вспышки COVID-19, хотя в настоящее время нет достоверных данных о количестве жизнеспособных SARS-CoV-2, вызывающих заболевание при заглатывании воды во время купания. В настоящее время для снижения вирусного загрязнения сточных вод применяют методы с использованием стресс-фактора, связанного с воздействием солнечного света.

На основании данных польских и британских ученых [29], оценивших продолжительность жизни вируса в водоемах при условии попадания в них сточных вод, а также риск инфицирования в случае контакта с зараженной водной системой, установлено, что коронавирус нового типа может выживать до 25 дней.

Существует практика использования на водоочистных сооружениях химического дозирования для образования активных окислительных частиц или фагирования другими микроорганизмами. В случае обычных централизованных водоочистных сооружений фильтрация с последующей дезинфекцией должна быть достаточной для избавления от SARS-CoV-2. Хотя слабая жизнеспособность SARS-CoV-2 в условиях открытого солнечного света снижает угрозу загрязнения сырой воды, применение хлорирования и УФ-дезинфекции создает гарантированную инактивацию SARS-CoV-2 до такой степени, что такая вода представляет низкий риск для здоровья потребителя [30]. Кроме того, применение мер вторичной дезинфекции, таких как дозирование хлораминов, для поддержания определенного уровня остаточного хлора в распределительной сети, дает дополнительную защиту от загрязнения [30].

Выделение вируса SARS-CoV-2 из речной воды. Ученые из Эквадора провели исследование речной воды в городе Кито [31]. Известно, что в Эквадоре лишь 20 % сточных вод охвачено очистными сооружениями [32], а его столица Кито, население которой составляет почти 3 миллиона человек, очищает только 3 % своих сточных вод (EPMAPS, 2020). Таким образом, река, протекающая в г. Кито и получающая фекальные воды со всего города, сильно загрязнена «микроорганизмами, выделенными от человека» и другими загрязнителями, что приводит к их распространению вдоль бассейна реки [33]. В проведенных ранее исследованиях описано вирусное разнообразие патогенов человека, присутствующих в городской реке, и подчеркнут риск здоровью населения, использующего эти воды для ирригационных или рекреационных целей [34]. Для оценки микробного влияния в речных водах использовали в качестве вирусного индикатора человеческий аденовирус, что было связано с его частым обнаружением [35].

5 июня 2020 года были взяты пробы в трех точках реки, протекающей в г. Кито. Места отбора проб являлись репрезентативными для сбросов сточных вод (в южном центре — M1, северном центре — M2 и в северной части — M3) в естественные потоки, проходящие через город. Параметры качества воды анализируемых образцов показали значительное антропогенное воздействие. Точки отбора проб M2 и M3 не соответствовали национальным требованиям по сохранению водной жизни для химической (ХПК) и биологической (БПК) потребности в кислороде [36]. В трех местах отбора проб SARS-CoV-2 ген белка нуклеокапсида (N) присутствовал в концентрации в диапазоне от $2,91\text{E}+05$ и $3,19\text{E}+06$ GC/L для области-мишени N1 и от $2,07\text{E}+05$ и $2,22\text{E}+06$ GC/L для области-мишени N2. Более высокие значения отмечены в M1, что было связано со случаями COVID-19, зарегистрированными в зонах каждой

точки. Сбор образцов происходил во время пика вспышки, поскольку активные случаи (считая выявленные случаи за последние 14 дней до дня отбора образцов) составили 25 % от общего числа случаев COVID-19, зарегистрированных в городе с начала вспышки.

Это первое исследование, которое количественно оценило SARS-CoV-2 в речной воде, содержащей неочищенные сточные воды. Параметры воды, измеренные в 2 из 3 изученных мест, превосходили национальные нормативы по сохранению водной среды [37]. Однако все экологические значения превышали зарегистрированные для контрольных участков в этом же бассейне [38]. Антропогенное вирусное загрязнение, проанализированное с помощью индикатора HAdV, показало большое влияние человеческих экскрементов на состояние воды в реке в г. Кито. Значения были идентичны образцам, собранным в тех же местах в 2017 году, что подтверждает отсутствие улучшения санитарных условий. В исследовании был проведен метагеномный анализ в тех же местах, и были получены последовательности из 26 вирусных патогенов человека, которые выявили последствия сброса сточных вод без предварительной обработки в естественные потоки.

На пике пандемии COVID-19 в середине 2020 года в Эквадоре уровни SARS-CoV-2, обнаруженные в реке в г. Кито, аналогичны уровням загрязнения сточных вод Валенсии (Испания), где зафиксировано более 5000 активных случаев, и сточных вод Парижа на пике эпидемии, где было более 10000 случаев госпитализации [39]. Однако на дату отбора проб в городском участке реки в Кито было зарегистрировано 750 активных случаев COVID-19, что свидетельствует о недостаточной диагностике, проводимой в других регионах мира. Кроме того, высокие значения могут быть связаны с большим количеством бессимптомных случаев. Так, на круизном лайнере «Diamond Princess» бессимптомных случаев было 17,9 % [40], а в учреждении долгосрочного ухода у квалифицированных медсестер в округе Кинг, штат Вашингтон, — 57 % случаев [41].

Важно отметить, что в водах был обнаружен только геномный материал, а жизнеспособность вируса в загрязненных водах неизвестна. Распространение вируса в окружающей среде оказывает неизвестное влияние на здоровье скота и диких животных, так как случаи зоонозных связей часто встречаются в семействе Coronaviridae [42, 43]. Присутствие вируса в сбросах сточных вод в черте города может быть использовано эпидемиологической службой для контроля пандемии при дефиците диагностических средств [39]. Полученные данные соответствуют исследованиям, проведенным в Нидерландах [44], Австралии [45], Италии [46], Испании [47] и Франции [48].

Согласно отчету Национального Зеленого Трибунала (NGT) по стандартам сброса сточных вод очистных сооружений (последнее обновление 8 мая 2019 г.), в густонаселенных развивающихся странах дождь и таяние снега

могут привести к ухудшению условий, вызывающему переливы канализации и приводящему к сбросам неочищенных сточных вод в водоемы [49]. В общем исследовании по оценке риска здоровью был количественно определен риск инфицирования вследствие попадания в городские паводковые воды ряда патогенных микроорганизмов, таких как *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, норовирусы и энтеровирусы, которые могут вызывать желудочно-кишечные заболевания [50]. Отчет показал, что в среднем риск заражения детей в местах, которые подвергаются воздействию паводковых вод, вытекающих из комбинированных сливов, ливневых канализационных и поверхностных стоков, образовавшихся в результате осадков, составил 33 %, 23 % и 3,5 % соответственно. Однако у взрослых риск заражения составил 3,9 %, 0,58 % и 0,039 % соответственно, главным образом из-за норовирусов и энтеровирусов, присутствующих в паводковых водах [51].

Существует еще один риск, связанный с децентрализованными системами очистки сточных вод, такими как септические резервуары, поскольку подобные системы вообще не дезинфицируют сточные воды и, следовательно, могут загрязнять водоемы с малой глубиной залегания грунтовых вод или в районах, подверженных затоплению, а также в случаях, когда открытый колодец, используемый для питьевой воды, находится на расстоянии 30 м от септика и не принимаются соответствующие меры предосторожности [51]. Для таких ситуаций, как реагирование на стихийные бедствия, проект «Сфера» в 2011 году также рекомендовал минимальное стандартное боковое расстояние 30 м между санитарно-техническими сооружениями и источниками пресной воды [52].

С другой стороны, существует высокая вероятность распространения SARS-CoV-2 через аэрозоли, образующиеся на открытых аэробных очистных сооружениях, например, использующих в процессе очистки активный ил, и т. д. [53]. В ходе исследования в 31 пробе воздуха различных станций очистки сточных вод (СОСВ) в течение двух сезонов два года подряд выявлялись три различных штамма вирусов: норовирус, аденовирус и вирус гепатита Е [54]. Аденовирус присутствовал почти во всех образцах (100 % летом и 97 % зимой), с самой высокой концентрацией в воздухе $2,27 \times 10^6$ эквивалента генома в м³. При этом норовирус обнаруживался редко, а вирус гепатита Е оставался незамеченным в образцах воздуха, полученных за определенный промежуток времени.

Таким образом, это исследование показало наличие потенциальных патогенных вирусных частиц в аэрозолях, выходящих из различных станций очистки сточных вод (СОСВ). В связи с фактами заражения людей, работающих на канализационных очистных сооружениях (КОС) во время вспышки заболевания, вызванного SARS-CoV в 2002–2003 гг., было создано временное руководство ВОЗ («Вода, санитария, гигиена и управление отходами для вируса

COVID-19»), в котором сказано о недопустимости пренебрежения мерами безопасности с учетом вероятности заражения специалистов, работающих с этими устройствами, при пандемии COVID-19 [54].

Во время вспышки заболевания, вызванного SARS-CoV в 2003 г., сообщалось, что неисправные системы водопровода и вентиляции способствовали распространению SARS-CoV через аэрозоли в жилом комплексе Amoy Gardens Гонконга, где зафиксировано более 300 инфицированных с 42 летальными случаями [55, 56]. Во время нынешней вспышки COVID-19 аналогичные заражения наблюдались у двух обитателей высотной башни Hong Mei House на северо-западе Гонконга в Tsing Yi [56]. Зарегистрированные на юго-западе Дели 58 случаев заболевания COVID-19 подтверждают возможность заражения из-за неисправности системы водопровода при использовании общих туалетов инфицированными лицами [55].

Следовательно, в случаях неисправности систем водопровода и вентиляции, особенно в высотных зданиях, следует учитывать возможность передачи COVID-19.

Обсуждение. Анализ зарубежных работ о распространении SARS-CoV-2 показал, что желудочно-кишечные симптомы, такие как диарея, диспепсия, вздутие живота и запоры, в 10 % случаев предшествуют респираторным симптомам и лихорадке. Ряд ученых смогли выделить SARS-CoV-2 из образцов кала, что указывает на наличие не способных к репликации инфекционных вирионов в желудочно-кишечном тракте [27].

Исследователи из Эквадора при изучении речной воды в городе Кито выявили ген белка нуклеокапсида, обнаружив последовательности из 26 вирусных патогенов человека. Во время пика пандемии COVID-19 в Эквадоре уровни SARS-CoV-2, обнаруженные в реке г. Кито, оказались аналогичными уровням загрязнения сточных вод Валенсии (Испания) и сточных вод Парижа [39]. Не исключен риск распространения SARS-CoV-2 через аэрозоли на СОСВ ряда других вирусов, что не подтверждает возможность аэрогенного механизма передачи возбудителя заболевания COVID-19. Так, в одном из жилых комплексов Гонконга было зафиксировано более 300 инфицированных с 42 летальными случаями, что связали с неисправностью системы водопровода и вентиляции, которые способствовали распространению SARS-CoV через аэрозоли.

Результаты проведенных исследований свидетельствовали, что возбудитель COVID-19 сможет присутствовать в различных объектах окружающей среды: в системах водоснабжения, сточных и поверхностных водах. Определены методы детекции вирусных частиц SARS-CoV-2 на основе выявления штаммов других вирусов в объектах окружающей среды. Это позволило понять, что самостоятельное попадание вируса в экосистему невозможно, ему необходимо абсорбироваться с различными фомитами, аналогично аденовирусам, выявленным на очистных сооружениях [35]. Проведенные исследования речной воды в ряде стран во время пандемии подтвердили присутствие в

ней возбудителя COVID-19. В ряде исследований указывалось на устойчивость вирусных частиц, присутствующих в объектах окружающей среды, к дезинфицирующим средствам, что, в свою очередь, определяет актуальность углубленных исследований с позиции обеспечения санитарно-противоэпидемического режима на станциях водоподготовки.

Выводы

1. Проведенный анализ мировых научных исследований по теме новой коронавирусной инфекции позволил установить способность вируса выживать в водной среде урбанизированных территорий и определить альтернативные пути распространения инфекционного агента в окружающей среде.

2. В современных условиях обеззараживание городских сточных вод превратилось в комплексную проблему, которую необходимо рассматривать с учетом эпидемиологической, гигиенической, экологической и технологической составляющих, учитывая экономические аспекты.

3. В материалах представленных научных статей показана недостаточная эффективность очистных сооружений канализации в отношении вирионов, что свидетельствует о существовании риска распространения вируса SARS-CoV-2 в окружающей среде, в связи с чем вопрос сохранения жизнеспособности вируса необходимо изучать более детально.

4. Полученные сведения позволят разработать новые профилактические меры, касающиеся санитарно-гигиенического состояния водных объектов и санитарно-защитных зон. Внедрение таких мер в практику будет способствовать улучшению эпидемической ситуации в нашей стране.

Информация о вкладе авторов: П.В. Журавлёв — разработка дизайна исследования, анализ полученных данных; А.С. Калюжин — обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; М.А. Кулак — обзор публикаций по теме статьи; Н.В. Алексанина — анализ полученных данных; М.Н. Гапон — анализ полученных данных.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы (пп. 1, 2, 4–7, 9–55 см. References)

- Чучалин А.Г. Синдром острого повреждения легких // РМЖ. 2006; 14(22):1582.
- Золин В.В., Оськина О.П., Солодкий В.В. и др. Изучение жизнеспособности вируса SARS-CoV-2 в питьевой и морской воде. Covid19 - preprints. microbe.ru. <https://doi.org/10.21055/preprints-3111723>

References

- World Health Organization. Summary table of SARS cases by country, 1 November 2002 – 7 August 2003. *Weekly Epidemiological Record*. 2003; 78(35):310–311. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/232250>. Accessed: 1 Sept 2020.
- Kampf G, Todt D, Pfaender S, et al. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and its inactivation with biocidal agents. *J Hosp Infect*. 2020; 104(3):246–51. DOI: 10.1016/j.jhin.2020.01.022
- Chuchalin AG. [Syndrome of acute lung injury.] *RMZh*. 2006; 14(22):1582. (In Russian).
- Riley S, Fraser C, Donnelly CA, et al. Transmission dynamics of the etiological agent of SARS in Hong

- Kong: impact of public health interventions. *Science*. 2003; 300(5627):1961–6. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1086478>
5. Lipsitch M, Cohen T, Cooper B, *et al.* Transmission dynamics and control of severe acute respiratory syndrome. *Science*. 2003; 300(5627):1966–70. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1086616>
6. World Health Organization. (2020). Surveillance case definitions for human infection with novel coronavirus (nCoV): interim guidance, 11 January 2020. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330376>. Accessed: 1 Sept 2020.
7. Disease commodity package – Novel Coronavirus (COVID-19). WHO Reference Number: WHO/2019-nCoV/DCPv3/2020.4. WHO Headquarters, 6 March 2020. Available at: [https://www.who.int/publications-detail/disease-commodity-package---novel-coronavirus-\(ncov\)](https://www.who.int/publications-detail/disease-commodity-package---novel-coronavirus-(ncov)). Accessed: 1 Sept 2020.
8. Zolin VV, Oskina OP, Solodsky VV, *et al.* [Study of the viability of SARS-CoV-2 in potable and marine water.] COVID19-preprints.microbe.ru. (In Russian). Available at: <https://doi.org/10.21055/preprints-3111723>
9. Cruvinel VRN, Marques CP, Cardoso V, *et al.* Health conditions and occupational risks in a novel group: waste pickers in the largest open garbage dump in Latin America. *BMC Public Health*. 2019; 19(1):581. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-019-6879-x>
10. Chen N, Zhou M, Dong X, *et al.* Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *Lancet*. 2020; 395(10223):507–513. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30211-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30211-7)
11. Wang D, Hu B, Hu C, *et al.* Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*. 2020; 323(11):1061–1069. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.1585>
12. Wölfel R, Corman VM, Guggemos W, *et al.* Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. *Nature*. 2020; 581(7809):465–469. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2196-x>
13. Huang C, Wang Y, Li X, *et al.* Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 2020; 395(10223):497–506. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
14. Holshue ML, DeBolt C, Lindquist S, *et al.* First case of 2019 novel coronavirus in the United States. *N Engl J Med*. 2020; 382(10):929–936. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001191>
15. Zhou P, Yang XL, Wang XG, *et al.* A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*. 2020; 579(7798):270–273. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>
16. Mallapaty S. How sewage could reveal true scale of coronavirus outbreak. *Nature*. 2020; 580(7802):176–177. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00973-x>
17. Lesté-Lasserre C. Coronavirus found in Paris sewage points to early warning system. *Science Mag*. Apr. 21, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abc3799>. Available at: <https://www.sciencemag.org/news/2020/04/coronavirus-found-paris-sewage-points-early-warning-system> Accessed: 1 Sept 2020.
18. Gu J, Han B, Wang J. COVID-19: Gastrointestinal manifestations and potential fecal–oral transmission. *Gastroenterology*. 2020; 158(6):1518–1519. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.02.054>
19. Kam KQ, Yung CF, Cui L, *et al.* A well infant with coronavirus disease 2019 with high viral load. *Clin Infect Dis*. 2020; 71(15):847–849. DOI: <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa201>
20. Ling Y, Xu SB, Lin YX, *et al.* Persistence and clearance of viral RNA in 2019 novel coronavirus disease rehabilitation patients. *Chin Med J (Engl)*. 2020; 133:1039–1043. DOI: <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000774>
21. Wang W, Xu Y, Gao R, *et al.* Detection of SARS-CoV-2 in different types of clinical specimens. *JAMA*. 2020; 323(18):1843–1844. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.3786>
22. Xing Y-H, Ni W, Wu Q, *et al.* Prolonged viral shedding in feces of pediatric patients with coronavirus disease 2019. *J Microbiol Immunol Infect*. 2020; 53(3):473–480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2020.03.021>
23. Tang A, Tong ZD, Wang HL, *et al.* Detection of novel coronavirus by RT-PCR in stool specimen from asymptomatic child, China. *Emerg Infect Dis*. 2020; 26(6):1337–1339. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid2606.200301>
24. Xu Y, Li X, Zhu B, *et al.* Characteristics of pediatric SARS-CoV-2 infection and potential evidence for persistent fecal viral shedding. *Nat Med*. 2020; 26(4):502–505. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0817-4>
25. Munster VJ, Koopmans M, van Doremalen N, *et al.* A novel coronavirus emerging in China – Key questions for impact assessment. *N Engl J Med*. 2020; 382(8):692–694. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMp2000929>
26. Harmer D, Gilbert M, Borman R, *et al.* Quantitative mRNA expression profiling of ACE 2, a novel homologue of angiotensin converting enzyme. *FEBS Lett*. 2002; 532(1–2):107–110. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(02\)03640-2](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(02)03640-2)
27. Weiss SR, Navas-Martin S. Coronavirus pathogenesis and the emerging pathogen severe acute respiratory syndrome coronavirus. *Microbiol Mol Biol Rev*. 2005; 69(4):635–664. DOI: <https://doi.org/10.1128/MMBR.69.4.635-664.2005>
28. World Health Organization. Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus. Interim guidance. 19 March 2020. WHO reference number: WHO/2019-nCoV/IPC_WASH/2020.2.
29. Shutler JD, Zaraska K, Holding TM, *et al.* Rapid assessment of SARS-CoV-2 transmission risk for fecally contaminated river water. *ACS EST Water*. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00246>
30. Li RA, McDonald JA, Sathasivan A, *et al.* Disinfectant residual stability leading to disinfectant decay and by-product formation in drinking water distribution systems: A systematic review. *Water Res*. 2019; 153:335–348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.020>
31. Guerrero-Latorre L, Ballesteros I, Villacrés-Granda I, *et al.* SARS-CoV-2 in river water: Implications in low sanitation countries. *Sci Total Environ*. 2020; 743:140832. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140832>
32. Rodriguez DJ, Serrano HA, Delgado A, *et al.* From waste to resource. Water Papers. March 2020. World Bank. DOI: <https://doi.org/10.1596/33436>
33. Voloshenko-Rossin A, Gasser G, Cohen K, *et al.* Emerging pollutants in the Esmeraldas watershed in Ecuador: discharge and attenuation of emerging organic pollutants along the San Pedro–Guayllabamba–Esmeraldas rivers. *Environ Sci Process Impacts*. 2015; 17(1):41–53. DOI: <https://doi.org/10.1039/c4em00394b>
34. Guerrero-Latorre L, Romero B, Bonifaz E, *et al.* Quito's virome: Metagenomic analysis of viral diversity in urban streams of Ecuador's capital city. *Sci Total Environ*. 2018; 645:1334–1343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.213>
35. Rusiñol M, Fernandez-Cassi X, Hundesa A, *et al.* Application of human and animal viral microbial source tracking tools in fresh and marine waters from five different geographical areas. *Water Res*. 2014; 59:119–129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.013>
36. Ministerio del Ambiente de Ecuador. 097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria. Registro Oficial. Año III - No 387. Quito, miércoles 4 de noviembre de 2015; 78:6. (In Spanish).
37. Rios-Touma B, Acosta R, Prat N. The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Rev Biol Trop*. 2014; 62(Suppl 2):249–273. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15791>
38. Randazzo W, Cuevas-Ferrando E, Sanjuán R, *et al.* Metropolitan wastewater analysis for COVID-19 epidemiological surveillance. *Int J Hyg Environ Health*. 2020; 230:113621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113621>

39. COVID-19 situation in the WHO European Region. Available at: <https://who.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/a19d5d1f86ee4d99b013ee5d5f637232d> Accessed: 1 Sept 2020.
40. Mizumoto K, Kagaya K, Zarebski A, *et al.* Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the Diamond Princess cruise ship, Yokohama, Japan, 2020. *Euro Surveill.* 2020; 25(10):2000180. DOI: <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.10.2000180>
41. Kimball A, Hatfield KM, Arons M, *et al.* Asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections in residents of a long-term care skilled nursing facility – King County, Washington, March 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2020; 69(13):377–381. DOI: <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6913e1>
42. Bivins A, North D, Ahmad A, *et al.* Wastewater-based epidemiology: Global collaborative to maximize contributions in the fight against COVID-19. *Environ Sci Technol.* 2020; 54(13):7754–7757. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02388>
43. Franklin AB, Bevins SN. Spillover of SARS-CoV-2 into novel wild hosts in North America: A conceptual model for perpetuation of the pathogen. *Sci Total Environ.* 2020; 733:139358. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139358>
44. Medema G, Heijnen L, Elsinga G, *et al.* Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in sewage and correlation with reported COVID-19 prevalence in the early stage of the epidemic in the Netherlands. *Environ Sci Technol Lett.* 2020; acs.estlett.0c00357. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00357>
45. Ahmed W, Angel N, Edson J, *et al.* First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Sci Total Environ.* 2020; 728:138764. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
46. La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, *et al.* First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci Total Environ.* 2020; 736:139652. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139652>
47. Tibbetts J. Combined sewer systems: down, dirty, and out of date. *Environ Health Perspect.* 2005; 113(7):A464–467. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.113-a464>
48. de Man H, van den Berg HHJL, Leenen EJTM, *et al.* Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater. *Water Res.* 2014; 48:90–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.022>
49. Banks D, Karnachuk OV, Parnachev VP, *et al.* Groundwater contamination from rural pit latrines: examples from Siberia and Kosova. *Water Environ J.* 2007; 16(2):147–152. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2002.tb00386.x>
50. Minimum standards in water supply, sanitation and hygiene promotion. In: *The Sphere Project. Humanitarian Charter and minimum standards in humanitarian response.* Rugby, UK: Practical Action Publishing, 2011. Pp. 79–138. Available at: <https://www.unhcr.org/uk/50b491b09.pdf>. Accessed: 1 Sept 2020.
51. Masclaux FG, Hotz P, Gashi D, *et al.* Assessment of airborne virus contamination in wastewater treatment plants. *Environ Res.* 2014; 133:260–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.002>
52. Wigginton KR, Ye Y, Ellenberg RM. Emerging investigators series: the source and fate of pandemic viruses in the urban water cycle. *Environ Sci Water Res Technol.* 2015; 1(6):735–746. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5EW00125K>
53. Yu ITS, Qiu H, Tse LA, *et al.* Severe acute respiratory syndrome beyond Amoy Gardens: completing the incomplete legacy. *Clin Infect Dis.* 2014; 58(5):683–686. DOI: <https://doi.org/10.1093/cid/cit797>
54. Regan H, CNN. How can the coronavirus spread through bathroom pipes? Experts are investigating in Hong Kong. February 12, 2020. Available at: <https://edition.cnn.com/2020/02/12/asia/hong-kong-coronavirus-pipes-intl-hnk/index.html>. Accessed: 1 Sept 2020.
55. Press Trust of India. INDIA TODAY. Kapashera hot spot: No space for social-distancing in cramped rooms, common toilets. New Delhi. May 3, 2020. Available at: <https://www.indiatoday.in/india/story/kapashera-hot-spot-no-space-for-social-distancing-in-cramped-rooms-common-toilets-1673968-2020-05-03>. Accessed: 1 Sept 2020.

Статья получена: 18.01.21
 Принята в печать: 03.03.21
 Опубликовано: 31.03.21

