



Научная статья

КОНТАМИНАЦИЯ ВИРУСАМИ ВОДЫ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КАК ФАКТОР РИСКА ЗДОРОВЬЮ: ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Г.М. Трухина¹, Г.Г. Бадамшина^{2,3}, Е.А. Попцова⁴, М.А. Ярославцева⁵,
Е.С. Волостнова², Э.Р. Гузаирова⁶

¹Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана, Российская Федерация, 141014, Московская область, городской округ Мытищи, г. Мытищи, ул. Семашко, 2

²Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан, Российская Федерация, 420061, г. Казань, ул. Сеченова, 13а

³Казанский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, 49

⁴Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Марий Эл, Российская Федерация, 424007, г. Йошкар-Ола, ул. Машиностроителей, 121

⁵Федеральный центр гигиены и эпидемиологии, Российская Федерация, 117105, г. Москва, Варшавское шоссе, 19А

⁶Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Башкортостан, Российская Федерация, 450054, г. Уфа, ул. Рихарда Зорге, 58

Несмотря на то что на сегодняшний день проводится качественная водоочистка, существует вероятность попадания возбудителей инфекционных заболеваний в водопроводную сеть. Санитарно-вирусологический контроль водоемных и питьевой воды в настоящее время осуществляется непосредственно по прямому определению вирусов, а также по косвенным показателям вирусного загрязнения – колифагам.

Изучены спектры вирусов, содержащихся в воде системы централизованного водоснабжения, методами лабораторной диагностики, регламентированными для определения нормируемых показателей.

В течение 2014–2023 гг. были отобраны пробы воды системы централизованного водоснабжения (n = 2 847 568). С использованием классических культуральных методов бактериологии и вирусологии, молекулярно-генетического и серологического метода описана динамика и структура контаминации воды системы централизованного водоснабжения вирусами гепатита А (HAV), ротавируса (Rotavirus), энтеровируса (Enterovirus), норовируса (Norovirus), астровируса (Astrovirus), вируса COVID-19 (SARs-CoV-2) и аденовируса (Adenovirus).

По данным проведенных исследований установлено, что за период 2014–2023 гг. средний удельный вес проб воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам в РФ, по наличию вирусов составил 0,57 %, наличию колифагов – 0,21 %. Доля проб воды централизованного водоснабжения по содержанию Rotavirus составила 1,41 % (95 % ДИ: 1,33–1,49) (по данным серологических исследований – 0,08 % проб (95 % ДИ: 0,06–0,10)), Enterovirus – 0,71 % (95 % ДИ: 0,57–0,86) (по данным ПЦР-исследований – 0,37 % проб

© Трухина Г.М., Бадамшина Г.Г., Попцова Е.А., Ярославцева М.А., Волостнова Е.С., Гузаирова Э.Р., 2025

Трухина Галина Михайловна – доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом микробиологических методов исследования факторов окружающей среды (e-mail: trukhina@list.ru; тел.: 8 (905) 568-47-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9955-7447>).

Бадамшина Гульнара Галимьяновна – доктор медицинских наук, заведующий отделом микробиологических исследований; доцент кафедры гигиены, медицины труда (e-mail: ggbadamshina@yandex.ru; тел.: 8 (919) 692-04-90; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0088-6422>).

Попцова Елена Анатольевна – главный врач (e-mail: e-poptsova@mail.ru; тел.: 8 (905) 182-86-15; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3542-008X>).

Ярославцева Марина Анатольевна – заведующий лабораторией, врач-бактериолог (e-mail: m-yaroslavceva@mail.ru; тел.: 8 (926) 536-95-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6719-4848>).

Волостнова Елена Сергеевна – исполняющий обязанности заведующего отделением диагностики особо опасных инфекций, врач-бактериолог (e-mail: e.s.volostnova@mail.ru; тел.: 8 (903) 344-81-45; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6718-504X>).

Гузаирова Эльгиза Ринатовна – специалист-эксперт отдела эпидемиологического надзора и санитарной охраны территории (e-mail: g_elgiza@mail.ru; тел.: 8 (937) 300-52-64; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3086-0623>).

(95 % ДИ: 0,33–0,42)), Adenovirus – 0,52 % (95 % ДИ: 0,38–0,70), Norovirus – 0,20 % (95 % ДИ: 0,16–0,24), Astrovirus – 0,14 % (95 % ДИ: 0,11–0,18), SARs-CoV-2 – 0,09 % (95 % ДИ: 0,03–0,20), HAV – 0,02 % (95 % ДИ: 0,01–0,04) (по данным серологических исследований несколько выше – 0,09 % проб (0,07–0,11)). Отмечена прямая сильная корреляционная связь показателей доли проб воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по наличию колифагов и возбудителей вирусных инфекций ($r > 0,8$), однако определение в питьевой воде нуклеиновых кислот молекулярно-генетическими методами, по сравнению с классическим исследованием на колифаги, обозначает более высокую распространенность вирусов.

Структура контаминации вирусами воды системы централизованного водоснабжения за 2020–2023 гг. была представлена Rotavirus (52,6 ± 0,3 %), Adenovirus (18,8 ± 0,5 %), Enterovirus (13,9 ± 0,2 %), Norovirus (7,5 ± 0,1 %), Astrovirus (3,8 ± 0,1 %), SARs-CoV-2 (3,4 ± 0,2 %).

Проведенными исследованиями установлено, что на сегодняшний день сохраняется необходимость изучения факторов риска кишечных инфекций вирусной природы, передающихся через воду, мониторинга контаминации вирусами воды системы централизованного водоснабжения, устойчивости вирусов к дезинфицирующим веществам, применения комбинированных методов дезинфекции при водоподготовке, изучения роли питьевой воды в возникновении вирусных инфекций.

Ключевые слова: микрофлора воды, централизованное водоснабжение, вода централизованного водоснабжения, вирусы, контаминация, биологическая безопасность, аденовирус, ротавирус, энтеровирус, факторы риска.

Обеспечение населения безопасной водой является одной из важнейших задач, стоящих перед международным сообществом на протяжении последних десятилетий [1, 2]. Состояние централизованного питьевого водоснабжения населения Российской Федерации требует проведения определенных мероприятий по совершенствованию системы водоподготовки [3]. Несмотря на то что на сегодняшний день проводится качественная водоочистка, существует вероятность попадания возбудителей инфекционных заболеваний в водопроводную сеть, например, вследствие изнашивания системы распределения воды и / или аварий на водопроводах и инфильтрации в водопровод сточной воды из поврежденного трубопровода системы водоотведения [1, 4, 5].

Исследования по комплексному изучению видовой распространенности вирусов в питьевой воде Российской Федерации довольно ограничены. Имеются данные иностранных исследователей, свидетельствующие о ведущей доле в структуре вирусной контаминации питьевой воды трех видов кишечных вирусов: Adenovirus, Rotavirus, Enterovirus [6]. Показана распространенность аденовирусов, энтеровирусов, ротавирусов в образцах очищенной питьевой воды на водоочистных сооружениях [6–8]. Показано обнаружение энтеровируса в 21 % проб очищенной питьевой воды в Китае (г. Ухань) (5/24) [6]; обнаружение аденовируса в Пакистане в 20 % проб водопроводной воды, энтеровируса – в 43 % проб, ротавируса – в 23 % проб [8]; установлено обнаружение энтеровируса в 27,4 % образцов, аденовируса – в 23,3 % и ротавируса – в 16,4 % образцов воды в Бразилии [7]. В обзоре, представленном в исследовании С. Mejías-Molina et al. (2024), по наблюдению, опубликованному за последние пять лет, помимо обнаружения аденовируса (17–48 %), ротавируса (1,5–44 %) и энтеровируса (0,9 %), отмечено обнаружение в воде норовируса (0,5–6,7 %) и вируса гепатита Е (0,8 %) [9].

Многолетними исследованиями подтверждена роль вирусов в возникновении инфекций, передающихся через воду¹ [10]. По данным Всемирной организации здравоохранения (2022), контаминация питьевой воды является одним из важнейших факторов риска передачи острых кишечных инфекций, вызванных Adenovirus, Rotavirus, Enterovirus, а также других возбудителей кишечных инфекций вирусной природы¹. В РФ в ряде субъектов дополнительные случаи заболеваемости связаны с ненормативным качеством питьевой воды, в том числе по микробиологическим показателям. В 2023 г. заболеваемость, ассоциированная с ненормативным качеством питьевой воды, формировалась в 84 субъектах Российской Федерации и регистрировалась в диапазоне от 18,6 до 4167,7 дополнительного случая на 100 тысяч всего населения².

В настоящее время учреждениями Роспотребнадзора с целью профилактики инфекций, передающихся через воду, предусмотрены плановые мониторинговые исследования по выявлению контаминации питьевой воды как фактора риска заболеваемости кишечными инфекциями вирусной природы. Санитарно-вирусологический контроль водоисточников и питьевой воды на сегодня осуществляется по косвенным показателям вирусного загрязнения – колифагам и непосредственно по прямому определению вирусов [5, 11]. Для прямого определения вирусов по их геному (РНК и ДНК) в лабораториях санитарно-эпидемиологической службы широко используются молекулярно-генетические методы, в частности полимеразная цепная реакция (ПЦР), которая обладает высокой чувствительностью, доступна и позволяет в течение суток выявить контаминацию [5, 11]. Параллельное использование ПЦР и определение колифагов в воде обеспечивают наибольшую надежность в отношении вирусного загрязнения, так как позволяют определить и эпиде-

¹ WHO. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda [Электронный ресурс] // WHO. – 2022. – 614 p. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064> (дата обращения: 03.10.2024).

² О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 364 с.

миологическую значимость вирусов, определяемых по их РНК и ДНК [5]. Изучение контаминации воды централизованного водоснабжения как фактора риска здоровью с использованием современных методов лабораторной диагностики на сегодняшний день имеет особенную актуальность.

В связи с вышеизложенным, **цель исследования** – изучение спектра вирусов, содержащихся в воде системы централизованного водоснабжения, методами лабораторной диагностики, регламентированными для определения нормируемых показателей.

Материалы и методы. В течение 2014–2023 гг. ежегодно в рамках планового, внепланового и производственного контроля, санитарно-гигиенического мониторинга, проведенного учреждениями Роспотребнадзора в субъектах РФ, были исследованы пробы воды системы централизованного водоснабжения ($n = 2\,847\,568$) в соответствии с действующими на момент отбора методическими документами³. Пробы воды были отобраны в стерильные емкости перед подачей и в распределительной сети системы централизованного водоснабжения в 89 субъектах Российской Федерации; доставлены в лаборатории Центров гигиены и эпидемиологии в субъектах РФ с соблюдением требований по доставке с предварительным концентрированием вирусов преимущественно с использованием фильтрующих мембран⁴.

Пробы воды были исследованы согласно действующим документам⁵ классическими методами бактериологии и вирусологии на наличие колифагов и энтеровирусов (*Enterovirus*) соответственно; молекулярно-генетическими методами на наличие РНК вируса гепатита А (*HAV*), ротавируса (*Rotavirus*), *Enterovirus*, норовируса (*Norovirus*) (с 2018 г.), астро-

вируса (*Astrovirus*) и SARs-CoV-2 (с 2018 и 2020 г., соответственно); ДНК аденовируса (*Adenovirus*) (с 2018 г.); серологическими методами на наличие антигена *HAV* и *Rotavirus*. Для проведения исследований использованы тест-системы преимущественно производства ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора («АмплиСенс ОКИ виро-скрин-FL», «АмплиСенс Cov-Bat FL»), ФБУН «Санкт-Петербургский НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера» Роспотребнадзора (COVID-2019 Amp), АО «Вектор-Бест» (ВГА-антиген-ИФА-БЕСТ), ООО «БиолоТ (питательная среда «Игла МЕМ»)). Результаты исследований учтены в форме Федерального статистического наблюдения № 18 «Сведения о санитарном состоянии субъекта Российской Федерации» и № 2.14–2.23 «Сведения о деятельности лабораторий санитарно-гигиенического, микробиологического и паразитологического профиля Федеральных бюджетных учреждений здравоохранения «Центров гигиены и эпидемиологии». Первичные данные были собраны и получены на базе ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора.

Пробы воды, не соответствующие санитарно-гигиеническим нормативам по наличию колифагов и вирусов, обозначены как «нестандартные пробы» (н/с)⁶. После обнаружения нестандартных проб были проведены санитарно-противоэпидемические, профилактические мероприятия. Обработка полученных результатов проведена с использованием программного обеспечения Microsoft Office v.2016. 95%-ный доверительный интервал (ДИ) для доли обнаруживаемых нестандартных проб рассчитывали с помощью функции BinomCI по методу Уилсона с исполь-

³ МУК 4.2.3963-23. Бактериологические методы исследования воды: методические указания / утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 1 сентября 2023 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304575302> (дата обращения: 27.03.2025); МУК 4.2.1018-01. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды: методические указания / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации – Первым заместителем министра здравоохранения Российской Федерации 9 февраля 2001 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029648> (дата обращения: 27.03.2025).

⁴ МУК 4.2.2029-05. Санитарно-вирусологический контроль водных объектов: методические указания / утв. и введ. в действие Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 18 ноября 2005 года [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200042984> (дата обращения: 16.04.2025).

⁵ МУК 4.2.3963-23; МУК 4.2.2029-05. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 364 с.; МУК 4.2.2746-10. Порядок применения молекулярно-генетических методов при обследовании очагов острых кишечных инфекций с групповой заболеваемостью: методические указания / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 30 сентября 2010 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084387> (дата обращения: 16.04.2025).

⁶ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: санитарные правила и нормы / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 (с изменениями на 30 декабря 2022 года) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 16.04.2025).

зованием пакета библиотек DescTools программного обеспечения R. Оценку значимости тренда к снижению (увеличению) доли проб воды централизованного водоснабжения проводили с использованием метода Манн – Кендалла с использованием функции MannKendall программного обеспечения R. Тренд считался значимым при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. По данным проведенных исследований установлено, что средний удельный вес проб воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам в РФ за период с 2014 по 2023 гг. по наличию вирусов, составил 0,57 %, наличию колифагов – 0,21 %, при этом к 2023 г. обнаружена тенденция к снижению удельного веса нестандартных проб ($p < 0,05$) (рис. 1). Отмечена прямая сильная корреляционная связь показателей доли проб воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по наличию колифагов и возбудителей вирусных инфекций ($r = 0,82$, $p = 0,04$), однако доля нестандартных проб по наличию нуклеиновых кислот вирусов в среднем была в 2,7 раза выше, что, вероятно, свидетельствует о более высокой информативности молекулярно-генетических исследований для оценки безопасно-

сти питьевого водоснабжения по микробиологическим показателям.

Результаты исследований на наличие антигенов возбудителей энтеровирусной (*Enterovirus*), ротавирусной инфекции (*Rotavirus*), гепатита А (*HAV*) в питьевой воде, проведенных разными методами лабораторной диагностики (культуральный, серологический, молекулярно-генетический), представлены в табл. 1–3.

Исходя из представленных за период 2014–2023 гг. данных, следует, что при оценке безопасности питьевого водоснабжения по наличию контаминации *Rotavirus* чаще выявлялся при определении молекулярно-генетическим методом, контаминация *HAV* – серологическим методом, контаминация *Enterovirus* – культуральным методом. Указанное требует дальнейшего изучения с учетом территориальных особенностей заболеваемости инфекциями и использования различных лабораторных методов исследований для мониторинга в регионах РФ.

Из представленных данных также следует, что доля проб питьевой воды, контаминированной *Rotavirus*, к 2023 г. значительно снизилась ($p = 0,003$). Для *HAV* и *Enterovirus* статистически значимого снижения доли проб воды, контаминированных вирусами, выявлено не было.

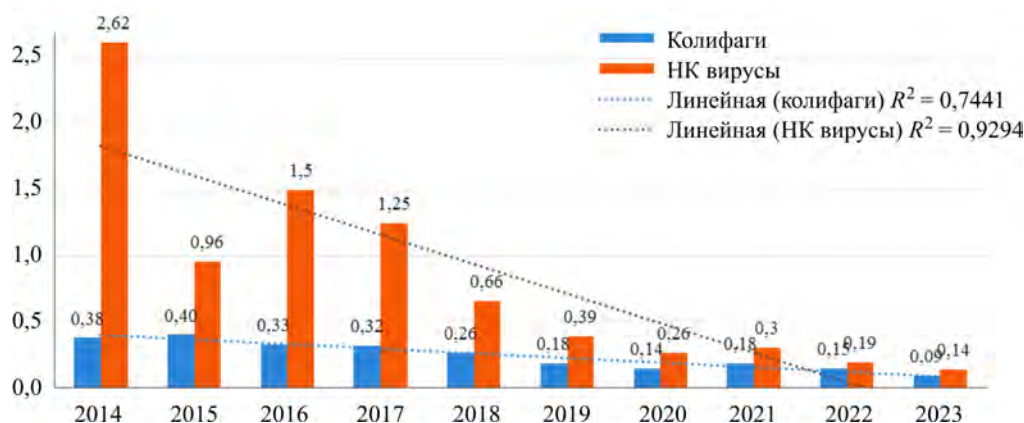


Рис. 1. Доля проб (%) воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам по наличию вирусов и колифагов, в РФ в 2014–2023 гг.

Таблица 1

Показатели контаминации воды систем централизованного водоснабжения по наличию *Rotavirus* за 2014–2023 гг.

Год	Методом ПЦР				Серологическим методом			
	всего	из них с положительным результатом			всего	из них с положительным результатом		
	<i>n</i>	<i>n</i>	% н/с проб	95 % ДИ	<i>n</i>	<i>n</i>	% н/с проб	95 % ДИ
2014	5485	113	2,06	1,70–2,47	9112	11	0,12	0,16–0,22
2015	6962	144	2,07	1,75–2,43	8639	9	0,10	0,05–0,20
2016	7650	260	3,40	3,01–3,83	9463	11	0,12	0,06–0,21
2017	9454	262	2,77	2,45–3,12	8193	11	0,13	0,07–0,24
2018	10375	188	1,81	1,56–2,09	9406	11	0,12	0,06–0,21
2019	10816	131	1,21	1,01–1,44	9893	6	0,06	0,02–0,13
2020	6919	55	0,79	0,60–1,03	9169	3	0,03	0,01–0,10
2021	10684	65	0,61	0,47–0,77	7823	2	0,03	0,00–0,09
2022	10974	47	0,43	0,31–0,57	7783	2	0,03	0,00–0,09
2023	11751	19	0,16	0,10–0,25	7241	1	0,01	0,00–0,08
В целом (2014–2023 гг.)	91070	1284	1,41	1,33–1,49	86722	67	0,08	0,06–0,10

Т а б л и ц а 2

Показатели контаминации воды систем централизованного водоснабжения по наличию *HAV* за 2014–2023 гг.

Год	Методом ПЦР				Серологическим методом			
	всего	из них с положительным результатом			всего	из них с положительным результатом		
	<i>n</i>	<i>n</i>	% н/с проб	95 % ДИ	<i>n</i>	<i>n</i>	% н/с проб	95 % ДИ
2014	1579	0	0,00	0,00–0,23	8844	13	0,15	0,08–0,25
2015	2947	0	0,00	0,00–0,12	9037	19	0,21	0,13–0,33
2016	3160	2	0,06	0,01–0,23	9237	3	0,03	0,01–0,09
2017	3416	1	0,03	0,03–0,16	9490	10	0,11	0,05–0,19
2018	2964	2	0,07	0,01–0,24	9898	3	0,03	0,01–0,09
2019	2819	0	0,00	0,00–0,13	10512	11	0,10	0,05–0,19
2020	2051	0	0,00	0,00–0,18	8022	12	0,15	0,08–0,26
2021	2770	0	0,00	0,00–0,13	6897	4	0,06	0,02–0,15
2022	3090	0	0,00	0,00–0,12	8446	1	0,01	0,00–0,07
2023	3931	0	0,00	0,00–0,09	8515	4	0,05	0,01–0,12
В целом (2014–2023 гг.)	28727	5	0,02	0,01–0,04	88898	80	0,09	0,07–0,11

Т а б л и ц а 3

Показатели контаминации воды систем централизованного водоснабжения *Enterovirus* за 2014–2023 гг.

Год	Методом ПЦР				Культуральным методом			
	всего	из них с положительным результатом			всего	из них с положительным результатом		
	<i>n</i>	<i>n</i>	% н/с проб	95 % ДИ	<i>n</i>	<i>n</i>	% н/с проб	95 % ДИ
2014	5341	212	3,97	3,46–4,53	1431	6	0,42	0,15–0,91
2015	6629	14	0,21	0,12–0,35	1440	1	0,07	0,00–0,39
2016	7783	17	0,22	0,13–0,35	1867	73	3,91	3,08–4,89
2017	8813	9	0,10	0,05–0,19	2297	1	0,04	0,00–0,24
2018	8632	15	0,17	0,10–0,29	1398	0	0,00	0,00–0,26
2019	10216	8	0,08	0,03–0,15	1115	1	0,09	0,00–0,50
2020	4586	0	0,00	0,00–0,08	852	0	0,00	0,00–0,43
2021	6768	3	0,04	0,01–0,13	1119	0	0,00	0,00–0,33
2022	8589	8	0,09	0,04–0,18	825	0	0,00	0,00–0,45
2023	10427	3	0,03	0,01–0,08	1385	15	1,08	0,61–1,78
В целом (2014–2023 гг.)	77784	289	0,37	0,33–0,42	13729	97	0,71	0,57–0,86

Мониторинг наличия возбудителей других вирусных инфекций в воде централизованного водоснабжения молекулярно-биологическими методами ведется с 2018 г. (на наличие нуклеиновых кислот *Adenovirus*, *Norovirus*, *Astrovirus*) и 2020 г. (на наличие РНК SARS-CoV-2) и позволяет ежегодно определить контаминацию питьевой воды возбудителями острых кишечных и респираторных инфекций (табл. 4).

Анализ представленных данных показал, что доля проб воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию *Adenovirus*, *Astrovirus*, *Norovirus*, SARS-CoV-2, за исследуемый период практически не изменилась.

Для наглядного изображения структуры выделенных возбудителей вирусных инфекций в воде централизованного водоснабжения были проанализированы данные мониторинга молекулярно-биологическими методами за 2020–2023 гг. (рис. 2).

Стоит отметить, что в структуре возбудителей вирусных инфекций преобладал *Rotavirus* более

чем в 2 раза, реже выявлялись *Adenovirus* и *Enterovirus*, наименьший удельный вес занимали *Norovirus* и *Astrovirus*. *HAV* за период 2020–2023 гг. в воде централизованного водоснабжения обнаружен не был, однако с 2014 по 2019 г. выделялся в пробах воды эпизодически, а также антиген вируса обнаруживался ежегодно серологическими методами (см. табл. 2).

Результатами проведенных исследований установлено, что, несмотря на наличие тенденции к снижению, в среднем за последнее десятилетие в РФ пробы воды системы централизованного водоснабжения не соответствовали нормативам по наличию возбудителей кишечных инфекций вирусной природы в 0,57 % случаев; по наличию одного из основных индикаторных показателей (колифаги) – в 0,21 % случаев, что свидетельствует о необходимости проведения дальнейшего мониторинга безопасности питьевой воды и водоисточников по микробиологическим показателям [5, 12, 13] и наличии вероятности заражения вирусными инфекциями

Таблица 4

Показатели контаминации воды систем централизованного водоснабжения вирусами за 2018–2023 гг.

Наименование	Показатель	Год						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого
<i>Adenovirus</i>	<i>n</i>	1014	1639	451	1495	1344	2697	8640
из них с положительным результатом	<i>n</i>	17	8	2	2	6	10	45
	% н/с проб	1,68	0,49	0,44	0,13	0,45	0,37	0,52
	95 % ДИ	0,98–2,67	0,21–0,96	0,05–1,59	0,02–0,48	0,16–0,97	0,18–0,68	0,38–0,70
<i>Norovirus</i>	<i>n</i>	8286	8966	6235	9927	10385	11033	54832
из них с положительным результатом	<i>n</i>	23	11	11	25	13	27	110
	% н/с проб	0,28	0,12	0,18	0,25	0,13	0,25	0,20
	95 % ДИ	0,18–0,42	0,06–0,22	0,09–0,32	0,16–0,37	0,07–0,21	0,16–0,36	0,16–0,24
<i>Astrovirus</i>	<i>n</i>	6382	8142	5765	8743	9112	9913	48057
из них с положительным результатом	<i>n</i>	4	7	5	28	12	13	69
	% н/с проб	0,06	0,09	0,09	0,32	0,13	0,13	0,14
	95 % ДИ	0,02–0,16	0,03–0,18	0,03–0,20	0,21–0,46	0,07–0,23	0,07–0,22	0,11–0,18
SARs-CoV-2	<i>n</i>	–	–	2019	2084	1375	296	5774
из них с положительным результатом	<i>n</i>	–	–	1	4	0	0	5
	% н/с проб	–	–	0,05	0,19	0,00	0,00	0,09
	95 % ДИ	–	–	0,00–0,28	0,05–0,49	0,00–0,27	0,00–1,24	0,03–0,20

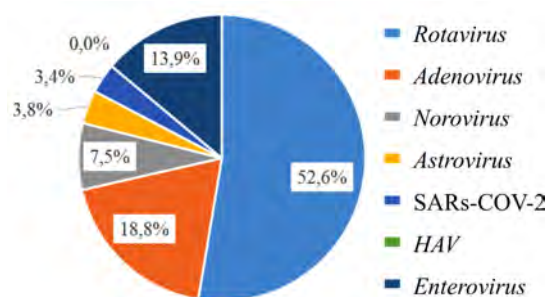


Рис. 2. Структура выделенных возбудителей вирусных инфекций в воде централизованного водоснабжения за 2020–2023 гг.

населения РФ при употреблении контаминированной питьевой воды⁷.

Проведенный анализ показал, что определение одного из основных индикаторных показателей (колифаги) в некоторой степени отражает наличие контаминации воды возбудителями кишечных инфекций вирусной природы ($r = 0,82$). Однако учитывая, что в данном исследовании доля нестандартных проб по наличию нуклеиновых кислот вирусов в среднем была в 2,7 раза выше, по сравнению с таковой для колифагов, индикаторный показатель «колифаги» в полной мере не может отразить контаминацию воды вирусами, возбудителями кишечных инфекций. Указанное сопоставимо с утверждениями авторов, что колифаги не могут быть надежными индикаторами кишечных вирусов при оценке безопасности питьевой воды⁸ [14], и подтверждено изоляцией кишечных вирусов из очищенных и дезинфицированных запасов питьевой воды, которая дала отрицательные

результаты в обычных тестах на колифаги⁹. Исследованиями показано отсутствие корреляции контаминации воды норовирусами, аденовирусами, ротавирусами и колифагами в воде водоемов и водопроводной воде [6, 14]. Обнаружение кишечных вирусов в образцах воды указывает на загрязнение сточными водами [15] и свидетельствует о наличии риска заражения возбудителями кишечных инфекций вирусной природы для населения при употреблении контаминированной питьевой воды⁸.

Отсутствие выявления контаминированных проб воды по основному индикаторному показателю «колифаги» при наличии контаминации возбудителями кишечных инфекций вирусной природы также может свидетельствовать о более высокой информативности молекулярно-генетических исследований для оценки безопасности питьевого водоснабжения по микробиологическим показателям [15, 16].

Вместе с тем методы на основе ПЦР (полимеразная цепная реакция) обычно используются для обнаружения и идентификации вирусного заражения воды, хотя ПЦР сама по себе не позволяет различать инфекционные и неинфекционные вирусные частицы [15]. Кроме того, в воде могут присутствовать ингибиторы, которые предотвращают амплификацию нуклеиновых кислот посредством полимеразной цепной реакции [17]. По результатам выявления *Enterovirus* методом ПЦР установлены обнаружения НК вируса лишь в 0,37 % проб, что почти в 2 раза ниже по сравнению с культуральным методом – 0,71 % проб. Указанное может являться следствием присутствия в воде как ингибиторов ПЦР, так и быть объяснено вирусной интерференцией [18, 18, 19]. В обзоре

⁷ WHO. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda [Электронный ресурс] // WHO. – 2022. – 614 p. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064> (дата обращения: 03.10.2024).

⁸ Там же.

⁹ Там же.

литературы, представленном О.Н. Савостиковой и соавт. [20], показано, что в воде водоисточников возможно обнаружение различных химических веществ, в том числе являющихся ингибиторами ПЦР. О наличии загрязнения воды инфекционными и неинфекционными вирусными частицами, наряду с различной информативностью молекулярно-генетического и серологического метода, о предположительном наличии в питьевой воде ингибиторов ПЦР и условий для вирусной интерференции также может свидетельствовать выявление РНК вируса и антигена вируса HAV в 0,02 и 0,09 % проб воды соответственно. Указанное требует дальнейшего изучения с учетом территориальных особенностей заболеваемости инфекциями и использования различных лабораторных методов исследований для мониторинга в регионах РФ.

Учитывая вышеизложенное, стоит отметить, что для оценки факторов риска заражения кишечными вирусами возрастает роль изучения безопасности воды комплексными методами лабораторной диагностики. Иностранцами исследователями обозначена значимость сочетания вирусологического метода с использованием клеточной культуры и метода ПЦР, позволяющего обнаружить инфекционные вирусы, которые растут медленно или не вызывают цитопатических эффектов в клеточной культуре [15]. Несколько исследований продемонстрировали связь между вирусной персистенцией (определяемой молекулярными методами) и инфекционностью (определяемой анализом цитопатического эффекта), указывая на то, что деградация вирусных нуклеиновых кислот показывает сильную корреляцию с потерей вирусной инфекционности [16].

Распространенность контаминации вирусами в РФ была значительно ниже по сравнению с данными, представленными зарубежными исследователями (в данном исследовании *Rotavirus* был обнаружен в 1,41 % проб, *Enterovirus* – в 0,70 %, *Adenovirus* – в 0,52 %), что свидетельствует об эффективности дезинфекционных мероприятий в процессе водоподготовки, предусмотренных в стране, для управления рисками заболеваемостью кишечными инфекциями вирусной природы. Различия, обнаруженные в процессе обсуждения полученных результатов, в том числе в структуре контаминации грунтовых вод и поверхностных водоисточников для питьевого водоснабжения, требуют отдельного внимания и являются основанием для постановки новых исследовательских задач. Иностранцами исследователями показана общая распространенность вируса гепатита Е в питьевой воде на уровне 4,7 % [21], что также требует отдельного внимания российских исследователей.

В целом за период 2014–2023 гг. доля проб воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-микробиологическим основным показателям, составила: по *Norovirus* – 0,20 % проб, *Astrovirus* – 0,14 %, SARs-CoV-2 – 0,09 %, HAV – 0,02 %. Исследования по контаминации питьевой воды *Astrovirus*, *Norovirus*, SARs-CoV-2, HAV мало освещены в доступной нам литературе. Однако имеются некото-

рые данные по распространенности вирусов в Тайланде в водохранилище, речной воде и т.п., в которой с разным уровнем распространенности обнаружены различные генотипы *Astrovirus* в 4,8 % образцов (в питьевой воде РФ, по данным настоящего исследования, *Astrovirus* обнаруживался в 0,14 % проб) [16]. Исследователи утверждают, что *Astrovirus* является преобладающим видом в воде окружающей среды [16], для некоторых генотипов из которых описаны случаи межвидовой передачи [22]. Изучение фактора риска заболеваемости кишечными инфекциями, вызванными *Astrovirus*, при употреблении питьевой воды требует отдельного внимания исследователей.

Наличие контаминации питьевой воды вирусами свидетельствует об устойчивости вирусов к средствам дезинфекции в процессе водоподготовки. Самый высокий уровень удаления вирусов в процессе водоподготовки авторы отмечают для *Enterovirus* (97 % вирусов удаляется при дезинфекции) и *Rotavirus* (82 % удаляется при дезинфекции), более низкий отмечают для *Adenovirus* (73 %) [6]. Учитывая структуру выделенных возбудителей вирусных инфекций в воде централизованного водоснабжения, представленную на рис. 2, за 2020–2023 гг. на фоне обязательного проведения дезинфекции, стоит предположить, что наиболее устойчивыми к дезинфицирующим средствам в процессе водоподготовки в РФ были *Rotavirus*, несколько реже *Adenovirus*, *Norovirus* и *Enterovirus*. Авторами описана устойчивость некоторых из указанных вирусов к дезинфекции воды и экологическим стрессорам, особенно к инаktivации ультрафиолетовым светом [15, 23]. В связи с этим исследователями обозначена необходимость применения комбинированного метода дезинфекции воды [5] для профилактики риска развития инфекционных заболеваний.

Принимая во внимание, что вирусы гепатита А, COVID-19 и астровирусной инфекции в структуре отсутствовали или занимали незначительную долю, стоит предположить, что дезинфекционные мероприятия, проводимые в процессе водоподготовки в РФ в течение 2020–2023 гг. в отношении данных вирусов, циркулирующих на территории страны, были эффективными.

Выводы. Таким образом, анализ результатов исследования воды системы централизованного водоснабжения, отобранной как перед подачей, так и внутри распределительной сети, показал, что, несмотря на тенденцию к снижению за период 2014–2023 гг., по санитарно-вирусологическим показателям продолжают выявляться пробы питьевой воды, не соответствующие санитарно-эпидемиологическим требованиям (в среднем – по наличию вирусов – 0,57 %, по наличию колифагов – 0,21 %), что обуславливает наличие факторов риска развития заболеваний при употреблении питьевой воды, контаминированной возбудителями кишечных инфекций вирусной природы.

За период 2014–2023 гг. доля проб воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-микробиологическим показателям, составила: по наличию *Rotavirus* – 1,41 % проб (95 % ДИ:

1,33–1,49) (по данным серологических исследований – 0,08 % проб (0,06–0,10)), *Enterovirus* – 0,71 % (95 % ДИ: 0,57–0,86) (по данным ПЦР-исследований – 0,37 % проб (95 % ДИ: 0,33–0,42)), *Adenovirus* – 0,52 % (95 % ДИ: 0,38–0,70), *Norovirus* – 0,20 % (95 % ДИ: 0,16–0,24), *Astrovirus* – 0,14 % (95 % ДИ: 0,11–0,18), *SARs-CoV-2* – 0,09 % (95 % ДИ: 0,03–0,20), *HAV* – 0,02 % (95 % ДИ: 0,01–0,04) (по данным серологических исследований – несколько выше – 0,09 % проб (0,07–0,11)). Структура контаминации вирусами воды системы централизованного водоснабжения за 2020–2023 гг. была представлена *Rotavirus* ($52,6 \pm 0,3$ %), *Adenovirus* ($18,8 \pm 0,5$ %), *Enterovirus* ($13,9 \pm 0,2$ %), *Norovirus* ($7,5 \pm 0,1$ %), *Astrovirus* ($3,8 \pm 0,1$ %), *SARs-CoV-2* ($3,4 \pm 0,2$ %). Указанное свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения факторов риска возникновения отдельных нозологических форм кишечных инфекций вирусной природы, связанных с употреблением питьевой воды, для прогнозирования заболеваемости и проведения профилактических мероприятий.

Отмечена прямая сильная корреляционная связь показателей доли проб воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по наличию колифагов и возбудителей вирусных инфекций ($r > 0,8$), однако определение в питьевой воде нуклеиновых кислот молекулярно-генетическими методами, по сравнению с классическим исследованием

на колифаги, обозначает более высокую распространенность вирусов. Указанное, вероятно, требует отдельного внимания при оценке безопасности питьевой воды по основному нормируемому показателю «колифаги». Отсутствие подтверждения в обработанной воде контаминации вирусов культуральными методами, высокие показатели контаминации антигенами при отрицательных ПЦР-тестах свидетельствуют о необходимости разработки надежных дополнительных тестов, подтверждающих инфекционность вирусов и наличие ингибиторов реакций амплификации.

Выявление в питьевой воде вирусов различных родов свидетельствует о наличии факторов риска кишечных заболеваний при употреблении питьевой воды в РФ, о необходимости мониторинга устойчивости вирусов к дезинфицирующим веществам, применения комбинированных методов дезинфекции при водоподготовке, изучения роли питьевой воды в возникновении вирусных инфекций. Полученные данные могут быть применены для расчета прогноза показателя заболеваемости отдельными формами кишечных инфекций, экономического ущерба и планирования профилактических мероприятий.

Финансирование. Источник финансирования исследования не предусмотрен.

Конфликт интересов. Авторы статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Механтьев И.И. Оценка эффективности реализации системного подхода к обеспечению гигиенической безопасности питьевого и рекреационного водопользования населения на примере Воронежской области // Здоровье населения и среда обитания – ЗНСО. – 2021. – Т. 29, № 8. – С. 7–14. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-29-8-7-14
2. Санитарно-эпидемиологические особенности рекреационного водопользования Туапсинского района Краснодарского края / Е.П. Лаврик, Г.М. Трухина, А.Г. Кравченко, С.А. Высотин, А.Т. Высотина, Н.А. Дмитриева // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 9. – С. 910–916. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-910-916
3. Байдакова Е.В., Унгурияну Т.Н., Михайлова Р.И. К количественной оценке микробного риска, связанного с экспозицией кишечных вирусов в питьевой воде // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 2. – С. 108–114. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.12
4. Ерхов А.А. SARS-COV-2: Канализация как путь передачи // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. – № 30 (82). – С. 105–112.
5. Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г. Гигиеническая оценка питьевого водообеспечения населения Российской Федерации: проблемы и пути рационального их решения // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 10. – С. 1158–1166. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1158-1166
6. Real-time PCR detection of enteric viruses in source water and treated drinking water in Wuhan, China / X.Y. Ye, X. Ming, Y.L. Zhang, W.Q. Xiao, X.N. Huang, Y.G. Cao, K.D. Gu // Curr. Microbiol. – 2012. – Vol. 65, № 3. – P. 244–253. DOI: 10.1007/s00284-012-0152-1
7. Human adenovirus (HAdV), human enterovirus (hEV), and genogroup A rotavirus (GARV) in tap water in southern Brazil / M. Kluge, J.D. Fleck, M.C. Soliman, R.B. Luz, R.B. Fabres, J. Comerlato, J.V.S. Silva, R. Stagemeyer [et al.] // J. Water Health. – 2014. – Vol. 12, № 3. – P. 526–532. DOI: 10.2166/wh.2014.202
8. Rashid M., Khan M.N., Jalbani N. Detection of Human Adenovirus, Rotavirus, and Enterovirus in Tap Water and Their Association with the Overall Quality of Water in Karachi, Pakistan // Food Environ. Virol. – 2021. – Vol. 13, № 1. – P. 44–52. DOI: 10.1007/s12560-020-09448-8
9. Exploring waterborne viruses in groundwater: Quantification and Virome characterization via passive sampling and targeted enrichment sequencing / C. Mejías-Molina, I. Estarlich-Landajo, S. Martínez-Puchol, S. Bofill-Mas, M. Rusiñol // Water Res. – 2024. – Vol. 266. – P. 122305. DOI: 10.1016/j.watres.2024.122305
10. Norovirus GII.3[P12] Outbreak Associated with the Drinking Water Supply in a Rural Area in Galicia, Spain, 2021 / C. Jacqueline, M. Del Valle Arrojo, P. Bellver Moreira, M.A. Rodríguez Feijóo, M. Cabrerizo, M.D. Fernandez-Garcia // Microbiol. Spectr. – 2022. – Vol. 10, № 4. – P. e0104822. DOI: 10.1128/spectrum.01048-22
11. Сравнительная устойчивость полиовирусов, вируса гепатита А и их РНК к воздействию ультрафиолетового облучения / А.Е. Недачин, Р.А. Дмитриева, Т.В. Доскина, В.А. Долгин // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 11. – С. 1240–1244. DOI: 10.47470/0016-9900-2019-98-11-1240-1244
12. Особенности вирусного загрязнения питьевой воды в Архангельской области / И.И. Бобун, Р.В. Бузинов, Л.А. Шишко, В.П. Болтенков, Б.А. Моргунов, А.Б. Гудков // Экология человека. – 2016. – № 2. – С. 3–7.

13. Слежение за циркуляцией вирусов на основе мониторинга сточных вод – как эффективный инструмент контроля за инфекциями и профилактики биологических угроз / Н.В. Поклонская, Т.В. Амвросьева, Ю.Б. Колтунова, Ю.А. Шилова, И.В. Бельская // *Новости медико-биологических наук*. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 104–111.
14. Alternative fecal indicators and their empirical relationships with enteric viruses, *Salmonella enterica*, and *Pseudomonas aeruginosa* in surface waters of a tropical urban catchment / L. Liang, S.G. Goh, G.G.R.V. Vergara, H.M. Fang, S. Rezaeinejad, S.Y. Chang, S. Bayen, W.A. Lee [et al.] // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2015. – Vol. 81, № 3. – P. 850–860. DOI: 10.1128/AEM.02670-14
15. Evaluation and molecular characterization of human adenovirus in drinking water supplies: viral integrity and viability assays / G. Fongaro, M.A. Nascimento, C. Rigotto, G. Ritterbusch, A.D. da Silva, P.A. Esteves, C.R. Barardi // *Viol. J.* – 2013. – Vol. 10. – P. 166. DOI: 10.1186/1743-422X-10-166
16. Detection of Six Different Human Enteric Viruses Contaminating Environmental Water in Chiang Mai, Thailand / K. Kumthip, P. Khamrin, H. Ushijima, N. Maneekarn // *Microbiol. Spectr.* – 2023. – Vol. 11, № 1. – P. e0351222. DOI: 10.1128/spectrum.03512-22
17. Причины ложно-негативной ПЦР и недопущение некоторых из них / А.В. Чемерис, Д.А. Чемерис, Э.Г. Магданов, Р.Р. Гарафутдинов, Н.Р. Нагаев, В.А. Вахитов // *Биомика*. – 2012. – Т. 4, № 1. – С. 31–47.
18. Интерферирующее взаимодействие вирусов в регуляции эпидемического процесса / Ф.И. Ларин, Л.И. Жукова, В.В. Лебедев, Т.К. Рафеенко // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. – 2012. – № 1. – С. 25–29.
19. Viral Interference as a Factor of False-Negative in the Infectious Adenovirus Detection Using Integrated Cell Culture-PCR with a BGM Cell Line / D. Sano, R. Watanabe, W. Oishi, M. Amarasiri, M. Kitajima, S. Okabe // *Food Environ. Virol.* – 2021. – Vol. 13, № 1. – P. 84–92. DOI: 10.1007/s12560-020-09453-x
20. Ксенобиотики и продукты их трансформации в сточных водах (обзор литературы) / О.Н. Савостикова, Р.А. Мамонов, И.А. Тюрина, А.В. Алексеева, Н.И. Николаева // *Гигиена и санитария*. – 2021. – Т. 100, № 11. – С. 1218–1223. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1218-1223
21. Hepatitis E Virus in Water Environments: A Systematic Review and Meta-analysis / G.R. Takuissu, S. Kenmoe, L. Ndip, J.T. Ebogo-Belobo, C. Kengne-Ndé, D.S. Mbagi, A. Bowo-Ngandji, M.G. Oyono [et al.] // *Food Environ. Virol.* – 2022. – Vol. 14, № 3. – P. 223–235. DOI: 10.1007/s12560-022-09530-3
22. Mendenhall I.H., Smith G.J.D., Vijaykrishna D. Ecological Drivers of Virus Evolution: Astrovirus as a Case Study // *J. Virol.* – 2015. – Vol. 89, № 14. – P. 6978–6981. DOI: 10.1128/JVI.02971-14
23. Риск для здоровья населения и эффективность мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, И.В. Май, А.А. Савочкина, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов, С.А. Вековщина // *Гигиена и санитария*. – 2022. – Т. 101, № 11. – С. 1403–1411. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1403-1411

Контаминация вирусами воды систем централизованного водоснабжения как фактор риска здоровью: особенности многолетней динамики в Российской Федерации / Г.М. Трухина, Г.Г. Бадамышина, Е.А. Попцова, М.А. Ярославцева, Е.С. Волостнова, Э.Р. Гузайрова // Анализ риска здоровью. – 2025. – № 2. – С. 87–97. DOI: 10.21668/health.risk/2025.2.07

UDC 628.1.033:578.8(470+571)

DOI: 10.21668/health.risk/2025.2.07.eng



Research article

VIRUS CONTAMINATION OF CENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEMS AS A HEALTH RISK FACTOR: FEATURES OF LONG-TERM DYNAMICS IN THE RUSSIAN FEDERATION

G.M. Trukhina¹, G.G. Badamshina^{2,3}, E.A. Poptsova⁴, M.A. Yaroslavtseva⁵, E.S. Volostnova², E.R. Guzairova⁶

¹Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, 2 Semashko St., Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation

²Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan, 13a Sechenova St., Kazan, 420061, Russian Federation

³Kazan State Medical University, 49 Butlerova St., Kazan, 420012, Russian Federation

⁴Center of Hygiene and Epidemiology in Mari El, 121 Mashinostroitelei St., Yoshkar-Ola, 424007, Russian Federation

⁵Federal Center for Hygiene and Epidemiology, 19A Varshavskoe Shosse, Moscow, 117105, Russian Federation

⁶Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Republic of Bashkortostan Regional Office, 58 Rikharda Zorge St., Ufa, 450054, Russian Federation

Despite the fact that high-quality water treatment is currently being carried out, there is a possibility that pathogens of infectious diseases may enter a water supply network. Sanitary and virologic control of water sources and drinking water is currently performed directly by direct detection of viruses, as well as by using indirect indicators of viral contamination, namely, coliphages.

The aim was to study the spectrum of viruses contained in water from a centralized water supply system using laboratory diagnostic methods regulated to determine rated indicators.

Over 2014–2023, water samples were taken from a centralized water supply system ($n = 2,847,568$). The dynamics and structure of water contamination with hepatitis A (HAV), Rotavirus, Enterovirus, Norovirus, Astrovirus, COVID-19 (SARS-CoV-2) viruses, and Adenovirus in a centralized water supply system were described using classical cultural methods of bacteriology and virology, molecular-genetic and serological methods.

The conducted research found that over 2014–2023, the average proportion of centralized water supply samples that did not meet sanitary and hygienic standards in the Russian Federation was 0.57 % for the presence of viruses and 0.21 % for the presence of coliphages for the period from 2014 to 2023. The proportion of centralized water supply samples per non-conforming Rotavirus contents was 1.41 % (95 % CI: 1.33–1.49) (according to serological studies, 0.08 % of samples (95 % CI: 0.06–0.10); Enterovirus, 0.71 % (95 % CI: 0.57–0.86) (according to PCR studies, 0.37 % (95 % CI: 0.33–0.42); Adenovirus, 0.52 % (95 % CI: 0.38–0.70); Norovirus, 0.20 % (95 % CI: 0.16–0.24); Astrovirus, 0.14 % (95 % CI: 0.11–0.18); SARS-CoV-2, 0.09 % (95 % CI: 0.03–0.20); HAV, 0.2 % (95 % CI: 0.01–0.04) (according to serological studies, it was slightly higher (0.09 % (95 % CI: 0.07–0.11)). A direct strong correlation was established between the proportion of centralized water supply samples that did not meet sanitary and epidemiological requirements and the presence of coliphages and pathogens of viral infections ($r > 0.8$); however, determination of nucleic acids in drinking water by molecular genetic methods indicates higher prevalence of viruses as compared to classical coliphage testing.

The structure of virus contamination in water from a centralized water supply system was represented by Rotavirus (52.6 ± 0.3 %), Adenovirus (18.8 ± 0.5 %), Enterovirus (13.9 ± 0.2 %), Norovirus (7.5 ± 0.1 %), Astrovirus (3.8 ± 0.1 %), and SARS-CoV-2 (3.4 ± 0.2 %) over 2020–2023.

Keywords: water microflora, centralized water supply, water of centralized water supply, viruses, contamination, biological safety, adenovirus, rotavirus, enterovirus, risk factors.

References

1. Popova A.Yu., Kuzmin S.V., Mehanteyev I.I. Assessment of Implementation Efficiency of the System Approach to Ensuring Safety of Public Drinking and Recreational Water Use on the Example of the Voronezh Region. *ZNiSO*, 2021, vol. 29, no. 8, pp. 7–14. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-29-8-7-14 (in Russian).
2. Lavrik E.P., Trukhina G.M., Kravchenko A.G., Vysotin S.A., Vysotina A.T., Dmitrieva N.A. Sanitary and epidemiological features of recreational water use of the Tuapse district of the Krasnodar region. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 9, pp. 910–916. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-910-916 (in Russian).
3. Baydakova E.V., Unguryanu T.N., Mikhaylova R.I. On quantitative assessment of microbe risk caused by exposure to enteric viruses in drinking water. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 2, pp. 108–114. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.12.eng
4. Erkhov A.A. SARS-CoV-2: Sewerage as a transmission route. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*, 2023, no. 30 (82), pp. 105–112 (in Russian).
5. Rakhmanin Yu.A., Onishchenko G.G. Hygienic assessment of drinking water supply of the population of the Russian Federation: problems and the way their rational decision. *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 10, pp. 1158–1166. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1158-1166 (in Russian).
6. Ye X.Y., Ming X., Zhang Y.L., Xiao W.Q., Huang X.N., Cao Y.G., Gu K.D. Real-time PCR detection of enteric viruses in source water and treated drinking water in Wuhan, China. *Curr. Microbiol.*, 2012, vol. 65, no. 3, pp. 244–253. DOI: 10.1007/s00284-012-0152-1
7. Kluge M., Fleck J.D., Soliman M.C., Luz R.B., Fabres R.B., Comerlato J., Silva J.V.S., Staggemeier R. [et al.]. Human adenovirus (HAdV), human enterovirus (hEV), and genogroup A rotavirus (GARV) in tap water in southern Brazil. *J. Water Health*, 2014, vol. 12, no. 3, pp. 526–532. DOI: 10.2166/wh.2014.202

© Trukhina G.M., Badamshina G.G., Poptsova E.A., Yaroslavtseva M.A., Volostnova E.S., Guzairova E.R., 2025

Galina M. Trukhina – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Microbiological Methods for Studying Environmental Factors (e-mail: trukhina@list.ru; tel.: +7 (905) 568-47-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9955-7447>).

Gulnara G. Badamshina – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Microbiological Research; Associate Professor of Hygiene and Labour Medicine Department (e-mail: ggbadamshina@yandex.ru; tel.: +7 (919) 692-04-90; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0088-6422>).

Elena A. Poptsova – chief physician (e-mail: e-poptsova@mail.ru; tel.: +7 (905) 182-86-15; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3542-008X>).

Marina A. Yaroslavtseva – Head of Laboratory-bacteriologist (e-mail: m-yaroslavceva@mail.ru; tel.: +7 (926) 536-95-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6719-4848>).

Elena S. Volostnova – Acting Head of the Department of Particularly Dangerous Infections Diagnostics, bacteriologist (e-mail: e.s.volostnova@mail.ru; tel.: +7 (903) 344-81-45; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6718-504X>).

El'giza R. Guzairova – specialist-expert of the Department of Epidemiological Surveillance and Sanitary Protection of the Territory (e-mail: g_elgiza@mail.ru; tel.: +7 (937) 300-52-64; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3086-0623>).

8. Rashid M., Khan M.N., Jalbani N. Detection of Human Adenovirus, Rotavirus, and Enterovirus in Tap Water and Their Association with the Overall Quality of Water in Karachi, Pakistan. *Food Environ. Virol.*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 44–52. DOI: 10.1007/s12560-020-09448-8
9. Mejías-Molina C., Estarlich-Landajo I., Martínez-Puchol S., Bofill-Mas S., Rusiñol M. Exploring waterborne viruses in groundwater: Quantification and Virome characterization via passive sampling and targeted enrichment sequencing. *Water Res.*, 2024, vol. 266, pp. 122305. DOI: 10.1016/j.watres.2024.122305
10. Jacqueline C., Del Valle Arrojo M., Bellver Moreira P., Rodríguez Feijóo M.A., Cabrerizo M., Fernandez-Garcia M.D. Norovirus GII.3[P12] Outbreak Associated with the Drinking Water Supply in a Rural Area in Galicia, Spain, 2021. *Microbiol. Spectr.*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. e0104822. DOI: 10.1128/spectrum.01048-22
11. Nedachin A.E., Dmitrieva R.A., Doskina T.V., Dolgin V.A. Comparative stability of poliovirus, hepatitis A virus and their RNA to the impact of ultraviolet radiation. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 11, pp. 1240–1244. DOI: 10.47470/0016-9900-2019-98-11-1240-1244 (in Russian).
12. Bobun I.I., Buzinov R.V., Shishko L.A., Boltenkov V.P., Gudkov A.B. Features of Viral Contamination of Drinking Water in Arkhangelsk Region. *Ekologiya cheloveka*, 2016, no. 2, pp. 3–7 (in Russian).
13. Paklonskaya N.V., Amvrosieva T.V., Kaltunova Yu.B., Shilova Yu.A., Belskaya I.V. Wastewater based epidemiology as an effective tool for infection surveillance and biological hazards prevention. *Novosti mediko-biologicheskikh nauk*, 2022, vol. 22, no. 2, pp. 104–111 (in Russian).
14. Liang L., Goh S.G., Vergara G.G.R.V., Fang H.M., Rezaeinejad S., Chang S.Y., Bayen S., Lee W.A. [et al.]. Alternative fecal indicators and their empirical relationships with enteric viruses, *Salmonella enterica*, and *Pseudomonas aeruginosa* in surface waters of a tropical urban catchment. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2015, vol. 81, no. 3, pp. 850–860. DOI: 10.1128/AEM.02670-14
15. Fongaro G., Nascimento M.A., Rigotto C., Ritterbusch G., da Silva A.D., Esteves P.A., Barardi C.R. Evaluation and molecular characterization of human adenovirus in drinking water supplies: viral integrity and viability assays. *Virol. J.*, 2013, vol. 10, pp. 166. DOI: 10.1186/1743-422X-10-166
16. Kumthip K., Khamrin P., Ushijima H., Maneekarn N. Detection of Six Different Human Enteric Viruses Contaminating Environmental Water in Chiang Mai, Thailand. *Microbiol. Spectr.*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. e0351222. DOI: 10.1128/spectrum.03512-22
17. Chemeris A.V., Chemeris D.A., Magdanov E.G., Garafutdinov R.R., Nagaev N.R., Vakhitov V.A. Causes of false-negative PCR and how to avoid some of them. *Biomics*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 31–47 (in Russian).
18. Larin V.F., Zhukova L.I., Lebedev V.V., Rafeyenko G.K. Interference interaction of viruses in the regulation of an epidemic process. *Epidemiologiya i infektsionnye bolezni*, 2012, no. 1, pp. 25–29 (in Russian).
19. Sano D., Watanabe R., Oishi W., Amarasiri M., Kitajima M., Okabe S. Viral Interference as a Factor of False-Negative in the Infectious Adenovirus Detection Using Integrated Cell Culture-PCR with a BGM Cell Line. *Food Environ. Virol.*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 84–92. DOI: 10.1007/s12560-020-09453-x
20. Savostikova O.N., Mamonov R.A., Turina I.A., Alekseeva A.V., Nikolaeva N.I. Xenobiotics and products of their transformation in wastewater (literature review). *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 11, pp. 1218–1223. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1218-1223 (in Russian).
21. Takuissu G.R., Kenmoe S., Ndip L., Ebogo-Belobo J.T., Kengne-Ndé C., Mbaga D.S., Bowo-Ngandji A., Oyono M.G. [et al.]. Hepatitis E Virus in Water Environments: A Systematic Review and Meta-analysis. *Food Environ. Virol.*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 223–235. DOI: 10.1007/s12560-022-09530-3
22. Mendenhall I.H., Smith G.J.D., Vijaykrishna D. Ecological Drivers of Virus Evolution: Astrovirus as a Case Study. *J. Virol.*, 2015, vol. 89, no. 14, pp. 6978–6981. DOI: 10.1128/JVI.02971-14
23. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., May I.V., Savochkina A.A., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Vekovshina S.A. Methodical grounds and experience gained in implementing complex assessment of activities aimed at risk to public health and effectiveness of measures to improve the quality of drinking water in centralized water supply systems. *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 11, pp. 1403–1411. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1403-1411 (in Russian).

Trukhina G.M., Badamshina G.G., Poptsova E.A., Yaroslavl'tseva M.A., Volostnova E.S., Guzairova E.R. Virus contamination of centralized water supply systems as a health risk factor: features of long-term dynamics in the Russian Federation. *Health Risk Analysis*, 2025, no. 2, pp. 87–97. DOI: 10.21668/health.risk/2025.2.07.eng

Получена: 23.04.2025

Одобрена: 22.05.2025

Принята к публикации: 22.06.2025