

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

Оценка динамики гигиенических показателей питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки

В.Д. Шмелева^{1, 2, 3}, Л.В. Кислицына¹, О.Б. Романова¹, М.В. Аленицкая², Е.С. Пугачева²¹ Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае, Владивосток, Россия;² Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;³ Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Хотя большая часть питьевой воды централизованных систем водоснабжения соответствует действующим стандартам, всё ещё остаётся вероятность изменения качества воды у конечного потребителя после её транспортировки по системе трубопроводов.

Цель. Оценить динамику состава питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки на примере Приморского края.

Материалы и методы. Проанализированы результаты лабораторных испытаний за 2016–2022 гг., выполненных ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае» в рамках социально-гигиенического мониторинга (189 мониторинговых точек). Сведение данных до и после подачи в распределительную сеть выполнено в Microsoft Office Excel, аналитическая часть по 18 показателям (19 485 парных сравнений) — в IBM SPSS Statistics, пространственная визуализация — в ArcGIS 10.8.2.

Результаты. Среди гигиенических показателей цветность воды значимо ($p=0,005$) увеличивается после прохождения через систему труб водоснабжения. Согласно корреляционному анализу, увеличение цветности, возможно, связано с железом, марганцем и перманганатной окисляемостью (соответственно $r=0,28$; $r=0,21$; $r=0,13$ при $p < 0,05$). Водородный показатель изменяется в сторону кислой среды, особенно в летний период ($\chi^2=14,5$; $p=0,002$). Оценка влияния типа водоразборного устройства выявила тенденцию железа и некоторых микробиологических показателей накапливаться в системах водоразборных колонок, в то время как для внутренних водоразборных устройств характерно уменьшение концентраций данных показателей. Отмечена индикаторная значимость микробиологических показателей (обобщённые колиформные бактерии, *E. Coli*, энтерококки), введённых недавно в нормативные документы по гигиенической оценке качества воды. Они чаще обнаруживаются в распределительной сети, чем исключённые к настоящему моменту общие и термотолерантные колиформные бактерии. Пространственный анализ доли проб питьевой воды, ухудшающихся в процессе транспортировки, позволил выделить водопроводы края, где транспортировка является приоритетным фактором ухудшения качества воды.

Заключение. Ретроспективный анализ динамики состава питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки определил наиболее подверженные изменениям показатели, что может быть использовано при планировании модернизации систем водоснабжения и водоподготовки.

Ключевые слова: системы питьевого централизованного водоснабжения; ЦВС; транспортировка; динамика; анализ; социально-гигиенический мониторинг.

Как цитировать:

Шмелева В.Д., Кислицына Л.В., Романова О.Б., Аленицкая М.В., Пугачева Е.С. Оценка динамики гигиенических показателей питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки // Экология человека. 2024. Т. 31, № 5. С. 380–392.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

Assessment of changes in hygienic indicators of drinking water from centralized water supply systems during transportation

Valeriya D. Shmeleva^{1, 2, 3}, Lidiya V. Kislitsyna¹, Olga B. Romanova¹, Marina V. Alenitckaia², Eva S. Pugacheva²

¹ Center of Hygiene and Epidemiology in Primorsky Region, Vladivostok, Russia;

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

³ Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Although the majority of drinking water from centralized water supply systems meets the established standards, its quality still may be compromised during its transportation to the end user via pipeline systems.

AIM: To assess the changes in the composition of drinking water from centralized water supply systems during transportation with the Primorsky Territory as an example.

MATERIALS AND METHODS: The findings of the 2016–2022 laboratory studies conducted by the Center for Hygiene and Epidemiology in the Primorsky Territory as part of the social and hygienic monitoring program (189 monitoring points) were subjected to analysis. The pre- and post-distribution network data were compared using Microsoft Office Excel. The analysis of 18 indicators (19,485 pairwise comparisons) was conducted using IBM SPSS Statistics, while spatial visualization was performed with ArcGIS 10.8.2.

RESULTS: Among the hygienic indicators, the color of water significantly ($p=0.005$) intensifies after passing via the water supply pipeline system. Correlation analysis indicates that the color intensification may be attributed to the oxidizability of iron, manganese, and permanganate ($r=0.28$; $r=0.21$; $r=0.13$ at $p < 0.05$, respectively). The hydrogen index demonstrates a tendency to shift towards an acidic medium, particularly during the summer months ($\chi^2=14.5$; $p=0.002$). The assessment of the influence of the water dispenser type revealed a tendency of the iron and some microbiological indicators to accumulate in standpipe systems, while the concentrations of these indicators were found to be decreased in building taps. The indicative significance of the microbiological indicators (generalized coliform bacteria, *E. coli*, enterococci) was recently highlighted in regulatory documents on the hygienic assessment of water quality. These bacteria are more frequently found in the distribution network than the nowadays excluded coliform bacteria, both general and thermotolerant. A spatial analysis of the proportion of drinking water samples that deteriorate during transportation enabled the identification of the water supply systems in the region where transportation represents a significant factor influencing the deterioration of water quality.

CONCLUSION: The retrospective analysis of the changes in the composition of drinking water from centralized water supply systems during transportation identified the indicators that are most susceptible to changes. This can be used when planning the upgrade of the water supply and treatment systems.

Keywords: centralized drinking water supply systems; DWDS; transportation; dynamics; analysis; social-hygienic monitoring.

To cite this article:

Shmeleva VD, Kislitsyna LV, Romanova OB, Alenitckaia MV, Pugacheva ES. Assessment of changes in hygienic indicators of drinking water from centralized water supply systems during transportation. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):380–392.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

Received: 08.05.2024

Accepted: 12.11.2024

Published online: 04.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

集中供水系统输送过程中饮用水卫生指标变化的评估

Valeriya D. Shmeleva^{1, 2, 3}, Lidiya V. Kislitsyna¹, Olga B. Romanova¹,
Marina V. Alenitckaia², Eva S. Pugacheva²

¹ Center of Hygiene and Epidemiology in Primorsky Region, Vladivostok, Russia;

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

³ Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

摘要

背景。尽管集中供水系统的大部分饮用水符合现行标准，但在通过管网输送至最终用户的过程中，其水质可能发生显著变化。

研究目的。以滨海边疆区为例，评估集中供水系统输送过程中饮用水成分的动态变化。

材料与方法。分析了2016 – 2022年期间由滨海边疆区公共卫生与流行病学中心测试实验室（Center for Hygiene and Epidemiology in the Primorsky Territory）在社会卫生监测框架下完成的实验室检测结果（共189个监测点）。利用Microsoft Office Excel对供水网络分配前后数据进行整理，并使用IBM SPSS Statistics对18项指标（19,485对比数据）进行分析。同时，通过ArcGIS 10.8.2进行空间可视化。

结果。卫生指标显示，水的色度在通过供水管网后显著增加（ $p=0.005$ ）。相关性分析表明，色度增加可能与铁、锰和高锰酸盐指数相关（相关系数分别为 $r=0.28$ ； $r=0.21$ ； $r=0.13$ ， $p < 0.05$ ）。pH值倾向于向酸性方向变化，尤其是在夏季（ $\chi^2=14.5$ ； $p=0.002$ ）。不同类型取水装置的影响评估显示，铁和某些微生物指标更容易在水柱取水系统中积累，而在建筑物水龙头中这些指标的浓度有所下降。最近被纳入水质卫生评估规范的微生物指标（综合大肠菌群、*E. coli* 和肠球菌）被证明具有重要的指示意义，这些指标在分配网络中更常被检测到，而之前被排除的总大肠菌群和耐热大肠菌群检测频率较低。饮用水在输送过程中质量下降样本比例的空间分析突出了一些管网，这些管网输送过程对水质恶化起到了主要作用。

结论。集中供水系统输送过程中饮用水成分变化的回顾性分析确定了最容易发生变化的关键指标。这些结果可为供水和水处理系统的现代化规划提供依据。

关键词：集中供水系统；CWS；输送；动态；分析；社会卫生监测。

引用本文：

Shmeleva VD, Kislitsyna LV, Romanova OB, Alenitckaia MV, Pugacheva ES. 集中供水系统输送过程中饮用水卫生指标变化的评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):380–392. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

收到: 08.05.2024

接受: 12.11.2024

发布日期: 04.12.2024

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время качество питьевой воды с точки зрения физико-химической и микробиологической безопасности является предметом научных исследований в связи с его влиянием на здоровье человека [1, 2]. Формирование качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения происходит поэтапно, начиная от исходного состояния воды источника водоснабжения, зависящего от его местонахождения и защищённости от внешних воздействий, дальнейшей коррекции её состава в процессе водоподготовки и заканчивая влиянием на неё транспортировки по распределительной сети. С расширением городов и увеличением сети городской инфраструктуры всё большее внимание привлекает конечный этап, связанный с ухудшением качества питьевой воды, подвергающейся дальней транспортировке через накопительные резервуары и насосные станции к потребителям [3, 4].

Централизованные системы водоснабжения представляют собой сложную структуру водопроводов, несущих в себе большие объёмы воды, качество которой зависит от внутреннего покрытия труб. В чугунных и стальных водопроводах особенно распространены бугристые отложения, возникающие в местах сварочных швов, незащищённых инертным покрытием. С течением времени при несоблюдении сроков эксплуатации труб отложения в таких местах увеличиваются и снижается их пропускная способность. Профилактическая промывка сетей не обеспечивает полного удаления отложений, тем самым появление ржавой и мутной воды с неприятным запахом может снижать доверие потребителей к качеству водопроводной воды [5].

Определяющая роль в подаче качественной питьевой воды принадлежит организациям, осуществляющим водозабор в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения. Тем не менее обеспечение населения качественной питьевой водой также является одной из приоритетных государственных задач, исполнение которой контролируется органами и учреждениями Роспотребнадзора. Одним из механизмов такого контроля является система социально-гигиенического мониторинга, включающая в себя программу наблюдения за факторами среды обитания человека, в том числе за питьевой водой. Согласно программе мониторинговых наблюдений, оценивается качество питьевой воды централизованных систем водоснабжения на различных этапах, включая водоисточник, этапы водоподготовки и распределительную сеть. Являясь системой динамического наблюдения, социально-гигиенический мониторинг предоставляет возможность оценить изменение качества воды в процессе транспортировки по распределительной сети статистическими методами, что и будет представлено ниже.

Цель исследования. Оценить динамику состава питьевой воды централизованных систем водоснабжения

в процессе транспортировки на примере Приморского края.

Задачи исследования:

- оценка стабильности концентраций и определение направленности динамических гигиенических показателей качества питьевой воды, проходящей по распределительной сети;
- оценка возможного влияния факторов на качественное изменение состава питьевой воды, проходящей по распределительной сети;
- пространственный анализ доли проб питьевой воды, ухудшающихся в процессе транспортировки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проанализированы результаты отдельных лабораторных испытаний за 2016–2022 гг., выполненных ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае» и его филиалами в рамках социально-гигиенического мониторинга. Группировка контрольных точек отбора проб по ходу движения воды проведена с целью определения миграции показателей в питьевой воде от водозабора или места водоподготовки до водоразборного устройства на распределительной сети.

Для проверки гипотезы значимости различий результатов гигиенических показателей перед подачей в распределительную сеть и на водоразборном устройстве у потребителя выполнена предварительная сортировка и отбор проб, удовлетворяющих следующим условиям:

- качество воды системы централизованного водоснабжения контролируется как минимум на двух этапах: «водоисточник–распределительная сеть», если не проводится дополнительная очистка или обеззараживание, либо «перед подачей–распределительная сеть» (включая воду после очистки, обезжелезивания, обеззараживания);
- перечень контролируемых показателей до поступления в разводящую сеть совпадает с перечнем показателей для воды из распределительной сети;
- отбор проб питьевой воды проводился в один день на обоих этапах.

Таким образом, под критерии отбора подошли 189 мониторинговых точек в распределительной сети, параллельно имеющих данные по одним и тем же показателям перед поступлением воды в разводящую сеть. Анализ проведён по 40 показателям качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения. Среди санитарно-химических показателей представлены обобщённые (pH, нефтепродукты, перманганатная окисляемость, общая жёсткость и общая минерализация), органолептические (запах, мутность, цветность, привкус), хлорорганические вещества (бромдихлорметан, хлороформ, трихлорэтилен, тетрахлорметан) и неорганические химические соединения (алюминий, аммиак, железо, кадмий, кобальт, кремний, магний, марганец, медь,

мышьяк, никель, нитраты, нитриты, ртуть, свинец, сульфаты, фториды, хлориды, цинк). К микробиологическим показателям относятся энтерококки, *E. coli*, колифаги, общие колиформные бактерии (исследуемые по СанПин 2.1.4.1074-01¹ до 01.03.2021), обобщённые колиформные бактерии (исследуемые по СанПин 1.2.3685-21² после 01.03.2021), термотолерантные колиформные бактерии (исследуемые до 01.01.2022), общее микробное число. Первичный анализ попарных значений, выполненный в Microsoft Office Excel, позволил исключить 22 показателя, редко исследуемых в ходе социально-гигиенического мониторинга качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения в точках до поступления в разводящую сеть и точках водоразбора одновременно (общее количество попарных сравнений менее 100).

Оценка типа распределения количественных данных выполнена с помощью критерия Шапиро–Уилка. Значения показателей группируются возле предела чувствительности метода для санитарно-химических и около нуля для микробиологических, поэтому распределения имеют правостороннюю асимметрию, за исключением трихлорэтилена, который отбирается в единственный точке, где он стабильно обнаруживается. В связи с этим значимость различий подтверждалась непараметрическим критерием знаковых рангов Уилкоксона. Описательная статистика приведена в виде абсолютных чисел, относительных частот, медианных значений и процентилей (25-го и 75-го). Корреляционные зависимости между показателями, влияние на показатели дистанции между точками до и после распределительной сети, количество населения под воздействием, характеризующее нагрузку на объект, оценены с применением критерия ранговой корреляции Спирмена. Дистанция между мониторинговыми точками рассчитана исходя из географических координат мест отбора проб воды в соответствии с паспортными данными объектов контроля. Расчётный метод косвенно определяет пройденное водой расстояние, действительная длина водопровода больше. Выделены факторы, предположительно влияющие на характер изменений качественного состава воды распределительной сети. Влияние типа водоразборного устройства, наличия обеззараживания воды и сезона года на изменение показателей оценивали с помощью критерия хи-квадрат. За критический уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$. Статистическая обработка полученных результатов проведена с применением пакета программ SPSS Statistics (версия 27).

Выявлены и наглядно визуализированы территории Приморского края по относительным показателям (доля

в % $\pm$ ошибка репрезентативности) негативной динамики. Для пространственного анализа использовали геоинформационную систему ESRI ArcGIS версия 10.8. Созданы векторные карты муниципальных образований, в границы которых нанесены мониторинговые точки по их географическим координатам.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Качественно оценить динамику возможно по 18 показателям (19 485 попарных сравнений), которые представлены в виде структурных данных по количеству отрицательных, положительных расхождений и их отсутствию (табл. 1). Динамика значений показателей отсутствовала при попарных сравнениях проб, в которых показатели определялись на границе чувствительности методик для химических показателей и нулевых значений — для микробиологических. Отсутствие динамики выявлено у 58,2% попарных сравнений.

Единственный показатель, не проявивший различий ни в сторону положительных, ни в сторону отрицательных значений, — колифаги. Непараметрический двусторонний критерий Уилкоксона для зависимых выборок показал значимые различия для таких показателей, как алюминий ($p=0,002$), цветность ($p=0,005$), запах ($p < 0,001$), водородный показатель ($p=0,004$), термотолерантные колиформные бактерии ($p=0,032$), общие колиформные бактерии ($p=0,01$). Перевес в сторону положительных расхождений выявлен для большинства показателей (10 из 18), в том числе для энтерококков, *E. coli*, обобщённых колиформных бактерий, общего микробного числа, перманганатной окисляемости, мутности, привкуса, цветности, железа, марганца. Из данных показателей только расхождения по цветности подтверждены статистически. Перевес по количеству проб, в которых наблюдается уменьшение значений показателя, проявляют оставшиеся индикаторы (7 из 18), в том числе общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, водородный показатель, запах, алюминий, тетрахлорметан и хлороформ. Большинство из них статистически значимо снижаются в процессе транспортировки воды по трубам централизованного водоснабжения.

Среди микробиологических показателей только исключённые в настоящий момент из программы санитарно-бактериологического контроля воды общие и термотолерантные колиформные бактерии показали значимое уменьшение значений при транспортировке воды. Для колифагов отмечено равное количество положительных и отрицательных различий. Новые микробиологические показатели (энтерококки, *E. coli*, обобщённые колиформные бактерии), исследуемые в воде централизованного водоснабжения с внедрением нового СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», чаще обнаруживаются

¹ СанПин 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.

² СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021.

Таблица 1. Разность концентраций показателей качества воды между распределительной сетью и перед подачей в сеть с оценкой различий по критерию знаковых рангов Уилкоксона

Table 1. The difference in concentrations of water quality indicators between the distribution system and before entering the system with an assessment of differences using the Wilcoxon signed-rank test

Показатель Indicator	Отрицательные расхождения Negative difference	Нет динамики No dynamics	Положительные расхождения Positive difference	p
Тетрахлорметан, мг/л Carbon tetrachloride, mg/l	n=4 -0,0005 [-0,0006; -0,0004]	n=565	n=0	0,068
Хлороформ, мг/л Chloroform, mg/l	n=244 -0,0035 [-0,0127; 0,001]	n=156	n=225 0,0022 [0,0006; 0,0074]	0,057
Марганец, мг/л Manganese, mg/l	n=39 -0,01 [-0,0245; -0,0055]	n=24	n=44 0,01 [0,00475; 0,029]	0,785
Алюминий, мг/л Aluminum, mg/l	n=26 -0,04 [-0,0675; -0,02]	n=148	n=9 0,02 [0,01; 0,04]	0,002*
Железо общее, мг/л Total iron, mg/l	n=497 -0,09 [-0,24; -0,04]	n=554	n=564 0,07 [0,03; 0,2]	0,556
Привкус, балл Taste, points	n=4 -1,5 [-1,75; -1,25]	n=96	n=5 0,75 [0,5; 1,0]	0,471
Запах, балл Smell, points	n=59 -2 [-2; -2]	n=1381	n=26 1,5 [1,25; 1,75]	<0,001*
Мутность, мг/л Turbidity, mg/l	n=597 -0,345 [-0,97; -0,12]	n=751	n=621 0,4 [0,11; 1,02]	0,38
Цветность, град. Color, degrees	n=581 -1,5 [-4; -0,8]	n=708	n=722 1,4 [0,7; 3,4]	0,005*
Окисляемость, мг/л Oxidability, mg/l	n=400 -0,24 [-0,5; -0,117]	n=62	n=445 0,22 [0,1; 0,5]	0,346
pH, ед. pH pH, pH units	n=678 -0,2 [-0,4; -0,1]	n=325	n=636 0,1 [0,1; 0,3]	0,004*
ОКБ искл., КОЕ/мл Total coliform bacteria (TCB obsolete), CFU/ml	n=143 -18 [-39; -8]	n=588	n=118 13 [3; 31]	0,01*
<i>E. coli</i> , КОЕ/мл <i>E. coli</i> , CFU/ml	n=38 -9 [-24; -5]	n=830	n=41 10 [4; 40]	0,522
Энтерококки, КОЕ/мл Enterococci, CFU/ml	n=18 -3 [-4; -2]	n=889	n=21 7 [4; 11]	0,131
Колифаги, КОЕ/мл Coliphages, CFU/ml	n=8 -9,65 [-12,9; -6,43]	n=1063	n=8 5 [3,1; 7,2]	0,64
ТКБ, КОЕ/мл Thermotolerant coliform bacteria, CFU/ml	n=128 -22,5 [-45; -10]	n=975	n=116 14 [4; 33]	0,032*
ОКБ, КОЕ/мл Generalized coliform bacteria, CFU/ml	n=93 -7 [-15; -4]	n=1074	n=109 10 [3; 26]	0,129
ОМЧ, КОЕ/мл Total Microbial Count, CFU/ml	n=391 -3 [-9; -1]	n=1158	n=480 2 [1; 5]	0,311

* Значения представлены как медиана и межквартильный размах показателей — Ме [25-й процентиль; 75-й процентиль]; ОКБ искл. — общие колиформные бактерии; ТКБ — термотолерантные колиформные бактерии; ОКБ — обобщённые колиформные бактерии; ОМЧ — общее микробное число.
* Values are presented as median and interquartile range of indicators — Me [25th percentile; 75th percentile].

после прохождения по распределительной сети при сопоставлении с результатами исследований до подачи, но данные различия статистически не значимы.

Химические соединения, играющие роль в очистке и обеззараживании воды, показывают снижение значений концентрации чаще, но только по алюминию динамика статистически значима. Установлено, что в водопроводной сети концентрации железа и марганца выше, чем перед подачей в сеть, однако выявленные различия не являются статистически значимыми по непараметрическому критерию знаковых рангов Уилкоксона ($p > 0,05$).

К обобщённым показателям, по которым возможно оценить динамику, относят водородный показатель и перманганатную окисляемость. Эти показатели наименее стабильные из всех (см. табл. 1). Водородный показатель при транспортировке воды значимо снижается в область кислой среды, что может говорить о качественном изменении состава питьевой воды. Рост перманганатной окисляемости говорит о высокой концентрации органических соединений на этапе водоразбора в сравнении с этапом до поступления в сеть.

В целом при оценке органолептических показателей положительные расхождения отмечены для всех, кроме

Таблица 2. Количество попарных сравнений проб, увеличивающих (↑) и уменьшающих (↓) значения pH после транспортировки воды по распределительной сети, по сезонам

Table 2. Number of pairwise comparisons of samples increasing (↑) and decreasing (↓) pH values after water transportation through the distribution network by season

Сезон Season	↓ pH	↑ pH
Весна Spring	162	162
Зима Winter	134	151
Лето Summer	216	144
Осень Autumn	166	179

Таблица 3. Количество попарных сравнений проб, увеличивающих (↑) и уменьшающих (↓) значения показателей после транспортировки воды по распределительной сети, по типу водоразборного устройства

Table 3. Number of pairwise comparisons of samples increasing (↑) and decreasing (↓) values after water transportation through the distribution network by type of water intake device

Показатель Indicator	Динамика Dynamics	Колонка Standpipe	Кран Tap	χ^2 (p-значение) χ^2 (p-value)
Железо общее Total iron	↓	202	295	5,05 ($p=0,024$)
	↑	268	296	
Обобщённые колиформные бактерии Generalized coliform bacteria	↓	20	73	11,4 ($p=0,001$)
	↑	48	61	
Общие колиформные бактерии (искл.) Total coliform bacteria (obsolete)	↓	49	94	12,3 ($p < 0,001$)
	↑	66	52	
Термотолерантные колиформные бактерии Thermotolerant coliform bacteria	↓	36	92	18,4 ($p < 0,001$)
	↑	64	52	

запаха, значимо чаще снижающего значения при транспортировке воды. Так как органолептические показатели косвенно указывают на наличие в воде химических веществ, прослежены их корреляционные связи. Связь между изменением значений мутности и содержанием железа средней силы ($r=0,46$; $p < 0,01$), мутности и содержанием алюминия — слабой силы ($r=0,16$; $p=0,03$). Цветность слабо, но значимо коррелирует с железом, марганцем и перманганатной окисляемостью (соответственно $r=0,28$; $r=0,21$; $r=0,13$ при $p < 0,05$).

Направленность динамики статистически значимо различается по водородному показателю в зависимости от сезона ($\chi^2=14,5$; $p=0,002$) в летний период, когда закисление воды более выражено (табл. 2). Остальные 17 показателей, перечисленных в табл. 1, не дали значимых различий по сезонам. Оценка типа водоразборного устройства выявила их влияние на динамику концентрации железа ($p=0,02$), обобщённых колиформных бактерий ($p=0,001$), общих колиформных бактерий ($p < 0,001$), термотолерантных колиформных бактерий ($p < 0,001$), накопления в системе колонок, в то время как для крана зданий характерно уменьшение концентраций данных показателей (табл. 3). В системе водопроводов, где используют методы обеззараживания (табл. 4), чаще увеличиваются концентрация железа ($p=0,018$) и цветность ($p=0,006$), слабая корреляция между которыми отмечена выше.

Анализ влияния дальности транспортировки питьевой воды по системам централизованного водоснабжения и населения под воздействием, которое косвенно характеризует объёмы воды, проходящей через распределительную сеть, не дал значимых корреляций с гигиеническими показателями. Данный результат говорит о необходимости учёта влияния на состав питьевой воды при её транспортировке таких факторов, как длина, материал водопровода и доля превышения проектной мощности водопровода.

Таблица 4. Количество попарных сравнений проб, увеличивающих (↑) и уменьшающих (↓) значения показателей после транспортировки воды по распределительной сети, по наличию обеззараживания

Table 4. Number of pairwise comparisons of samples increasing (↑) and decreasing (↓) values after water transportation through the distribution network by the presence of disinfection

Показатель Indicator	Динамика Dynamics	Обеззараживается Disinfected	Не обеззараживается Not disinfected	χ^2 (p-значение) χ^2 (p-value)
Цветность Color	↓	412	169	7,5 (p=0,006)
	↑	560	162	
Железо общее Total iron	↓	313	184	5,6 (p=0,018)
	↑	394	170	

Удельный вес проб с негативной динамикой по энтерококкам варьировал по территориям края от 0 до 11%. Максимальный процент по положительным расхождениям в отношении *E. coli* с учётом ошибки репрезентативности равен $18\pm5\%$, по обобщённым колиформным бактериям — $29\pm5\%$, по мутности — $93\pm7\%$.

Максимальная доля проб, в которых наблюдается ухудшение микробиологических показателей в сравнении с качеством воды до распределительной сети на территории Приморского края, равна $75\pm13\%$. В среднем по районам не обнаружено ухудшений более чем в 25% проб. В северных районах края на больших территориях

проживает меньшая часть населения, соответственно, небольшое количество точек репрезентирует весь район (рис. 1).

Ранжирование районов по динамике органолептических показателей выражено сильнее в сравнении с динамикой микробиологических показателей (рис. 2). Максимальная доля проб, в которых наблюдается ухудшение органолептических показателей в сравнении с качеством воды до распределительной сети, зафиксирована на водопроводе от поверхностного источника и равняется $64,3\pm7,4\%$, что ассоциируется с ухудшением по содержанию железа. Сопоставив органолептические

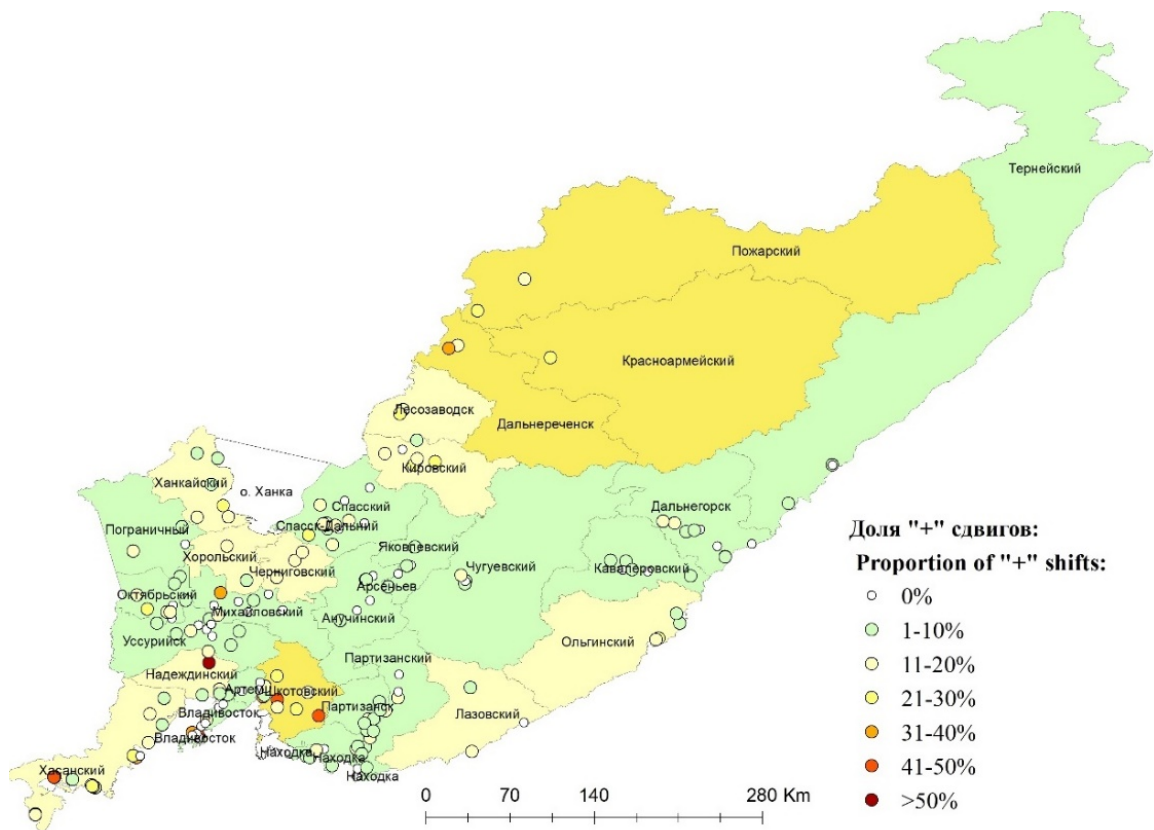


Рис. 1. Доля проб, в которых наблюдается ухудшение микробиологических показателей в сравнении с качеством воды до распределительной сети на территории Приморского края.
Fig. 1. Proportion of samples with deterioration in microbiological parameters in comparison with the quality of water before the distribution system in the Primorsky Territory.

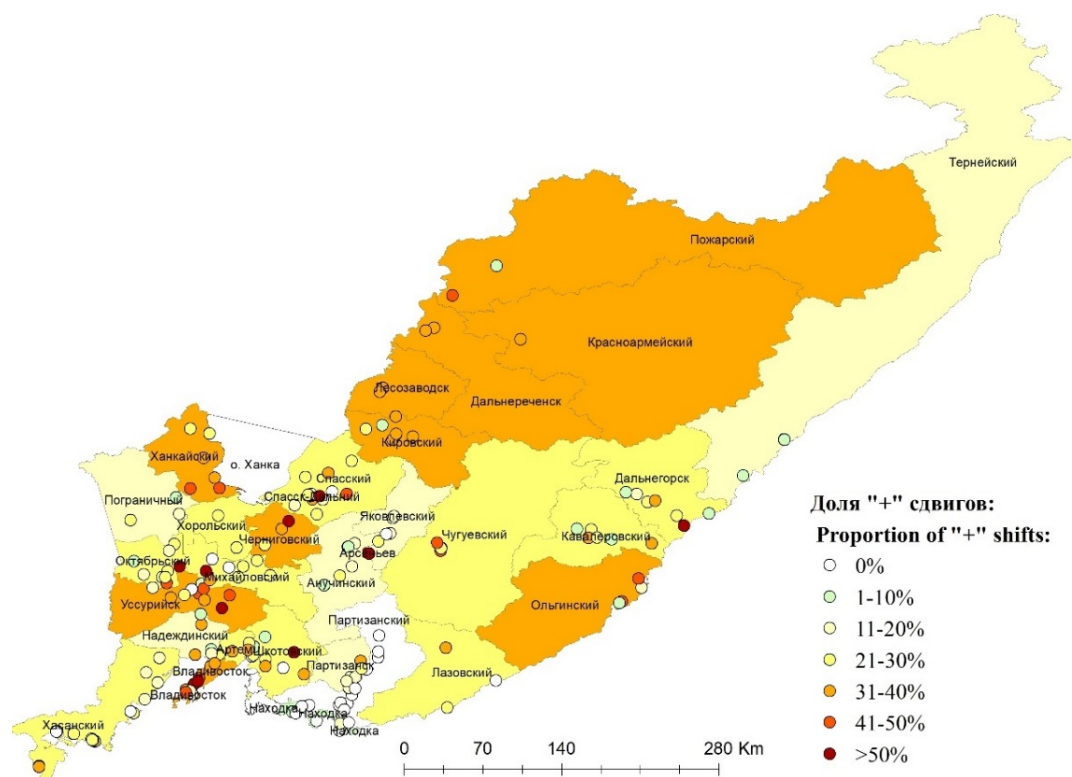


Рис. 2. Доля проб, в которых наблюдается ухудшение органолептических показателей в сравнении с качеством воды до распределительной сети на территории Приморского края.

Fig. 2. The proportion of samples with deterioration of organoleptic characteristics in comparison with the quality of water before the distribution system in the Primorsky Territory.

и микробиологические показатели (см. рис. 1, 2), выделяют северные территории, максимально удалённые от краевого центра, в которых выявлена максимальная доля ухудшения показателей.

Отсутствуют ухудшения органолептических показателей в водопроводах муниципальных образований от подземных источников. В водопроводах, использующих методы обеззараживания, чаще определяется увеличение значений органолептических показателей в сравнении с микробиологическими.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённая оценка выявила показатели, отличающиеся динамичностью концентраций в процессе транспортировки воды за счёт процессов, происходящих в водоводах наружных и внутренних сетей. Благодаря введённой с 2021 г. системе объединённых между собой по ходу движения воды контрольных точек отбора проб для организации мониторинга обеспечения населения качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения³ удалось отследить миграцию санитарно-химических и микробиологических показателей. До её

внедрения отслеживать динамику в объёме всего региона не представлялось возможным, так как мониторинг охватывал источники и точки водоподготовки только в рамках программы формирования регионального информационного фонда на некоторых территориях Приморского края. Данное исследование представляет собой объединение этих двух периодов и будет продолжено для подтверждения результатов, а также возможного выявления новых загрязнителей, влияющих на изменение качества воды в процессе её транспортировки. Так, в настоящее время в научной среде обсуждаются другие загрязнители, которые способны выделяться из стареющих пластиковых водопроводных труб: поливинилхлорид [6], полиэтилен [7] и полипропилен [8] в условиях хлорирования водопроводной воды, высокого содержания тяжёлых металлов, наличия биоплёнок в местах неровностей трубных окалинов. А.А. Хасанова и соавт. предложили определение новых химических веществ для контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения (1,1,2,2-тетрахлорэтана и лилиала), наличие которых, вероятно, обусловлено процессами водоподготовки и транспортировки воды по водопроводной сети [9].

Состояние системы водоснабжения напрямую влияет на вторичное загрязнение воды соединениями железа из-за коррозии труб [10]. Выявленное увеличение органолептических показателей, в особенности цветности воды, косвенно подтверждает наличие биоплёнок железобактерий,

³ МР 2.1.4.0176-20. Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Организация мониторинга обеспечения населения качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения.

рыхлых отложений солей железа и минеральных частиц [11]. Отмечено, что в тёплое время года ускоряются процессы коррозии и образование отложений [12]. Дальность транспортировки питьевой воды является потенциальным фактором увеличения микробиологической нагрузки [13, 14]. Отсутствие в данном исследовании связи между дистанцией и показателями качества водопроводной воды говорит о необходимости комплексного подхода к факторам, включающим учёт материала труб и степень изношенности водопроводной системы, а также количество аварийных ситуаций в водопроводах мониторинговых точек [15].

Микробиологические показатели, используемые для контроля качества воды, в первую очередь отражают присутствие фекального загрязнения и/или нарушение режима обеззараживания питьевой воды на этапе водоподготовки. Исключённый показатель «общие колиформные бактерии» отличает от используемого в настоящее время показателя «обобщённые колиформные бактерии» то, что они не охватывают весь перечень патогенных и условно-патогенных бактерий, имеющих принципиальное значение в случаях острых кишечных инфекций [16]. Выявленные противоположные тенденции для обоих показателей (исключённые «общие колиформные бактерии» значимо в сторону уменьшения, а актуальные «обобщённые колиформные бактерии» незначимо в сторону увеличения) не позволяют однозначно оценить надёжность системы транспортировки воды по распределительной сети в отношении эпидемической опасности. К другой паре микробиологических показателей, сменяющих друг друга во времени, относятся термотолерантные колиформные бактерии и *E. Coli*. Как и в случае с двумя видами колиформных бактерий, в этой паре показателей в данном исследовании выявлена разнонаправленность тенденций при сопоставлении значений до распределительной сети и на этапе водоразбора. Результаты по термотолерантным колиформным бактериям значимо снижаются, а по *E. coli* незначимо увеличиваются. Учитывая тот факт, что *E. coli* является более специфичным индикатором свежего фекального загрязнения по сравнению с термотолерантными колиформными бактериями, можно полагать, что увеличение может быть значимым при накоплении большего объёма выборки, так как именно *E. coli* способны образовывать в водопроводной системе биоплёнки и, соответственно, увеличивать свою концентрацию на этапе водоразбора [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка динамики гигиенических показателей питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки показала следующее:

- цветность питьевой воды имеет склонность к увеличению значений после прохождения через систему водоснабжения, которая слабо, но значимо кор-

релирует с железом, марганцем и перманганатной окисляемостью;

- водородный показатель изменяется в сторону кислой среды, особенно в летний период;
- оценка влияния типа водоразборного устройства выявила тенденцию железа и некоторых микробиологических показателей накапливаться в системе водоразборных колонок, в то время как для крана зданий характерно уменьшение концентраций данных показателей;
- отмечена индикаторная значимость новых микробиологических показателей (обобщённых колиформных бактерий, *E. coli*, энтерококков), они чаще обнаруживаются в распределительной сети, чем исключённые общие и термотолерантные колиформные бактерии;
- пространственный анализ доли проб питьевой воды, ухудшающихся в процессе транспортировки, позволил выделить водопроводы края, где транспортировка является приоритетным фактором ухудшения качества воды;
- ретроспективный анализ динамики состава питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки определил наиболее подверженные изменениям показатели, что может быть использовано при планировании строительства и реконструкции систем водоснабжения и водоподготовки.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарности. Авторский коллектив выражает искреннюю благодарность коллегам ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае» за работу по отбору проб воды в мониторинговых точках, кодированию и проведению лабораторных испытаний качества питьевой воды для итогового формирования базы данных федерального и регионального информационных фондов, а также специалистам Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека за грамотную организацию системы мониторинговых наблюдений в Приморском крае.

Вклад авторов. В.Д. Шмелева — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Л.В. Кислицына — сбор материала и обработка данных, написание и редактирование текста; О.Б. Романова — подготовка проекта рукописи, редактирование текста; М.В. Аленицкая — анализ, интерпретация результатов, редактирование текста; Е.С. Пугачева — частичное написание текста, оформление рисунков и списка литературы. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления в комитет по биомедицинской этике.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. The authors express sincere gratitude to the colleagues of the Federal State Budgetary Institution “Center for Hygiene and Epidemiology in Primorsky Krai” for their work Water sampling at monitoring points, coding and conducting laboratory tests of drinking water quality for the final formation of a database of federal and regional information funds, as well as specialists of the Federal Service for Supervision of Consumer Protection and Welfare a person for the competent organization of the monitoring observation system in the Primorsky Territory.

Authors' contribution. V.D. Shmeleva — research concept and design, material collection and data processing, statistical

processing, text writing; L.V. Kislitsyna — material collection and data processing, text writing and editing; O.B. Romanova — preparation of the draft manuscript, text editing; M.V. Alenitckaia — analysis, interpretation of results, text editing; E.S. Pugacheva — partial writing of the text, design of drawings and a list of references. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work).

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that there are no obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

Ethical standards. The study does not require submission to the biomedical ethics committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Степанян А.А. Обоснование временных отступлений качества питьевой воды с учётом новых научных данных для оценки риска здоровью населения // Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО. 2024. Т. 32, № 5. С. 23–32. EDN: ROFGHO
doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-23-32
2. Wolf J., Johnston R.B., Ambelu A., et al. Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation, and hygiene in domestic settings: a global analysis for selected adverse health outcomes // *Lancet*. 2023. Vol. 401, N 10393. P. 2060–2071. doi: 10.1016/S0140-6736(23)00458-0
3. Spencer-Williams I., Meyer M., DePas W., et al. Assessing the impacts of lead corrosion control on the microbial ecology and abundance of drinking-water-associated pathogens in a full-scale drinking water distribution system // *Environmental Science & Technology*. 2023. Vol. 57, N 48. P. 20360–20369. doi: 10.1021/acs.est.3c05272
4. Mohammadpour A., Emadi Z., Samaei M.R., et al. The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in drinking water from Shiraz, Iran: a health risk assessment of samples // *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30, N 9. P. 23295–23311. doi: 10.1007/s11356-022-23535-2
5. Потапов С.С., Паршина Н.В., Мязин В.А., и др. Минеральный состав отложений и причины их образования в системе отопления и горячего водоснабжения городов Апатиты и Кировска (Мурманская область) // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2022. Т. 25, № 2. С. 125–132. EDN: GNSUSG
doi: 10.21443/1560-9278-2022-25-2-125-132
6. Ye X., Wang P., Wu Y., et al. Microplastic acts as a vector for contaminants: the release behavior of dibutyl phthalate from polyvinyl chloride pipe fragments in water phase // *Environ Sci Pollut Res*. 2020. Vol. 27, N 33. P. 42082–42091. doi: 10.1007/s11356-020-10136-0
7. Khan I.A., Lee K.H., Lee Y.S., Kim J.O. Degradation analysis of polymeric pipe materials used for water supply systems under various disinfectant conditions // *Chemosphere*. 2022. Vol. 291, Pt 1. P. 132669. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132669
8. Yang X., Xu X., Zhou Y., et al. Longitudinal and vertical distribution of microplastics in various pipe scales in an operating drinking water distribution system // *J Hazard Mater*. 2023. Vol. 459. P. 132108. doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.132108
9. Хасанова А.А., Четверкина К.В., Маркович Н.И. Определение приоритетных химических веществ для контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 5. С. 428–435. EDN: QNTDAM
doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435
10. Москвичева А.В., Федулова Е.В., Гильгенберг А.Ю., и др. Разработка мероприятий по снижению коррозии оборудования водохозяйственного комплекса // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 4. С. 36–40. EDN: YZQIBC
doi: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-36-40
11. Papciak D., Domoń A., Zdeb M., et al. Mechanism of biofilm formation on installation materials and its impact on the quality of tap water // *Water*. 2022. Vol. 15, N 14. P. 2401. doi: 10.3390/w14152401
12. Taghavi M., Mohammadi M.H., Radfard M., et al. Assessment of scaling and corrosion potential of drinking water resources of Iranshahr // *MethodsX*. 2019. Vol. 6. P. 278–283. doi: 10.1016/j.mex.2019.02.002
13. Bian K., Wang C., Jia S., et al. Spatial dynamics of bacterial community in chlorinated drinking water distribution systems supplied with two treatment plants: An integral study of free-living and particle-associated bacteria // *Environ Int*. 2021. Vol. 154. P. 106552. doi: 10.1016/j.envint.2021.106552
14. Han Z., An W., Yang M., Zhang Y. Assessing the impact of source water on tap water bacterial communities in 46 drinking water supply systems in China // *Water Res*. 2020. Vol. 172. P. 115469. doi: 10.1016/j.watres.2020.115469
15. Calero Preciado C., Husband S., Boxall J., et al. Intermittent water supply impacts on distribution system biofilms and water quality // *Water Res*. 2021. Vol. 201. P. 117372. doi: 10.1016/j.watres.2021.117372

16. Загайнова А.В., Трухина Г.М., Рахманин Ю.А. Обоснование введения индикаторных показателей «Обобщённые колиформные бактерии» и «Escherichia coli» в систему санитарно-эпидемиологического контроля безопасности питьевой воды // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99, № 12. С. 1353–1359. EDN: HWXNYA doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1353-1359

REFERENCES

1. Isaev DS, Mozhukhina NA, Stepanyan AA. Justification of temporary deviations in drinking water quality given new scientific data for health risk assessment. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2024;32(5):23–32. EDN: ROFGHO doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-23-32
2. Wolf J, Johnston RB, Ambelu A, et al. Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation, and hygiene in domestic settings: a global analysis for selected adverse health outcomes. *Lancet*. 2023;401(10393):2060–2071. doi: 10.1016/S0140-6736(23)00458-0
3. Spencer-Williams I, Meyer M, DePas W, et al. Assessing the impacts of lead corrosion control on the microbial ecology and abundance of drinking-water-associated pathogens in a full-scale drinking water distribution system. *Environmental Science & Technology*. 2023;57(48):20360–20369. doi: 10.1021/acs.est.3c05272
4. Mohammadpour A, Emadi Z, Samaei MR, et al. The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in drinking water from Shiraz, Iran: a health risk assessment of samples. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(9):23295–23311. doi: 10.1007/s11356-022-23535-2
5. Potapov SS, Parshina NV, Myazin VA, et al. The mineral composition of sediments and the reasons for their formation in the heating and hot water supply systems of the towns of Apatity and Kirovsk (the Murmansk Region). *Vestnik of MSTU*. 2022;25(2):125–132. EDN: GNSUSG doi: 10.21443/1560-9278-2022-25-2-125-132
6. Ye X, Wang P, Wu Y, et al. Microplastic acts as a vector for contaminants: the release behavior of dibutyl phthalate from polyvinyl chloride pipe fragments in water phase. *Environ Sci Pollut Res*. 2020;27(33):42082–42091. doi: 10.1007/s11356-020-10136-0
7. Khan IA, Lee KH, Lee YS, Kim JO. Degradation analysis of polymeric pipe materials used for water supply systems under various disinfectant conditions. *Chemosphere*. 2022;291(Pt 1):132669. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132669
8. Yang X, Xu X, Zhou Y, et al. Longitudinal and vertical distribution of microplastics in various pipe scales in an operating drinking water distribution system. *J Hazard Mater*. 2023;459:132108. doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.132108
9. Khasanova AA, Chetverkina KV, Markovich NI. Determination of priority chemicals of water from centralized supply systems for monitoring water safety. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(5):428–435. EDN: QNTDAM doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435
10. Moskvicheva AV, Fedulova EV, Gilgenberg AY, et al. Development of measures to reduce corrosion of water management equipment. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2021;(4):36–40. EDN: YZQIBC doi: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-36-40
11. Papciak D, Domoń A, Zdeb M, et al. Mechanism of biofilm formation on installation materials and its impact on the quality of tap water. *Water*. 2022;14(15):2401. doi: 10.3390/w14152401
12. Taghavi M, Mohammadi MH, Radfard M, et al. Assessment of scaling and corrosion potential of drinking water resources of Iranshahr. *MethodsX*. 2019;6:278–283. doi: 10.1016/j.mex.2019.02.002
13. Bian K, Wang C, Jia S, et al. Spatial dynamics of bacterial community in chlorinated drinking water distribution systems supplied with two treatment plants: An integral study of free-living and particle-associated bacteria. *Environ Int*. 2021;154:106552. doi: 10.1016/j.envint.2021.106552
14. Han Z, An W, Yang M, Zhang Y. Assessing the impact of source water on tap water bacterial communities in 46 drinking water supply systems in China. *Water Res*. 2020;172:115469. doi: 10.1016/j.watres.2020.115469
15. Calero Preciado C, Husband S, Boxall J, et al. Intermittent water supply impacts on distribution system biofilms and water quality. *Water Res*. 2021;201:117372. doi: 10.1016/j.watres.2021.117372
16. Zagaynova AV, Trukhina GM, Rakhmanin YuA, et al. The rationale for introducing the indices «Generalized coliform bacteria» and «Escherichia coli» into the scheme of sanitary and microbiological control of water quality as indices of fecal contamination. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(12):1353–1359. EDN: HWXNYA doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1353-1359
17. Siedlecka A, Wolf-Baca M, Piekarska K. Microbial communities of biofilms developed in a chlorinated drinking water distribution system: A field study of antibiotic resistance and biodiversity. *Sci Total Environ*. 2021;774:145113. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145113

ОБ АВТОРАХ

***Шмелева Валерия Дмитриевна;**

адрес: Россия, 690922, Владивосток, о-в Русский, пос. Аякс, кампус ДВФУ, корп. 25;
ORCID: 0000-0002-5580-5442;
eLibrary SPIN: 9744-7639;
e-mail: ha-lera@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Valeria D. Shmeleva;**

address: FEFU campus, build. 25, village Ajax, Russian Island, Vladivostok, Russia, 690922;
ORCID: 0000-0002-5580-5442;
eLibrary SPIN: 9744-7639;
e-mail: ha-lera@mail.ru

Кислицына Лидия Владимировна;

ORCID: 0000-0002-4172-609X;

eLibrary SPIN: 4906-4348;

e-mail: sgm@fguzp.ru

Романова Ольга Борисовна;

ORCID: 0009-0006-3852-1014;

eLibrary SPIN: 8473-8686;

e-mail: romanovaob@fguzpk.ru

Аленицкая Марина Владимировна, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-5191-4713;

eLibrary SPIN: 1588-8371;

e-mail: trial766@mail.ru

Пугачева Ева Сергеевна, аспирант;

ORCID: 0009-0006-8586-6437;

eLibrary SPIN: 7583-2220;

e-mail: pugachova.eva@mail.ru

Lidiya V. Kislitsyna;

ORCID: 0000-0002-4172-609X;

eLibrary SPIN: 4906-4348;

e-mail: sgm@fguzpk.ru

Olga B. Romanova;

ORCID: 0009-0006-3852-1014;

eLibrary SPIN: 8473-8686;

e-mail: romanovaob@fguzpk.ru

Marina V. Alenitckaia, MD, Dr. Sci (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-5191-4713;

eLibrary SPIN: 1588-8371;

e-mail: trial766@mail.ru

Eva S. Pugacheva, Graduate student;

ORCID: 0009-0006-8586-6437;

eLibrary SPIN: 7583-2220;

e-mail: pugachova.eva@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author