

Читать  
онлайн  
Read  
online

Третьяков А.Ю.<sup>1</sup>, Московкин В.М.<sup>1</sup>, Мартынов А.В.<sup>2</sup>, Мануйлов М.Б.<sup>2</sup>,  
Ермилов О.В.<sup>1</sup>, Осолодченко Т.П.<sup>2</sup>

## Фонтаны как возможные источники аэрогенного риска для населения городов

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», 308015, Белгород, Россия;

<sup>2</sup>Институт микробиологии и иммунологии имени И.И. Мечникова НАМН Украины, 61057, Харьков, Украина

**Введение.** Фонтаны (офисные и внешние), являясь малыми декоративными сооружениями, используемыми с целью улучшения параметров среды жизнедеятельности человека, в процессе своей работы в ходе генерации водной струи создают фракции спрея и аэрозоля, тем самым допуская потерю определённого объёма жидкости при движении воздуха и ветровом уносе. От состава микрофлоры воды основного резервуара фонтана зависит биологическая безопасность работы таких гидротехнических сооружений, особенно в тёплое время года.

**Материалы и методы.** В период 2010–2020 гг. проведено изучение состава микрофлоры воды в основных резервуарах действующих фонтанов и в седиментированной смеси «спрей–аэрозоль», формирующейся во время работы таких гидротехнических конструкций.

**Результаты.** Установлено, что фонтаны при температуре воды выше плюс 18 °С и отсутствии системы обеззараживания или её регулярной полной замены имеют значительный уровень контаминации бактериальными и грибковыми патогенами, включая микобактерии туберкулёза. Число микроорганизмов группы кишечной палочки в офисных и открытых городских фонтанах, количество клостридиальной флоры и стрептококков в открытых фонтанах существенно превосходят нормативные показатели ( $p < 0,05$ ).

**Ограничения исследования.** При изучении динамики концентрации частиц жидкости в воздухе использованы методики К.Я. Кондратьева и соавт., В.М. Хвата и соавт. Исследования выполнены в соответствии с Межгосударственным стандартом «Вода. Методы санитарно-бактериологического анализа для полевых условий» ГОСТ 24849–2014 (2016 г.).

**Заключение.** Микрофлора действующего фонтана при отсутствии обеззараживания воды или её регулярной замены характеризуется высоким титром бактерий группы кишечной палочки, стрептококков, стафилококков, микобактерий туберкулёза, плесневых и дрожжевых грибов. Одним из условий избыточного роста микроорганизмов в данной гидросистеме является температура воды выше плюс 18 °С. В седиментированном аэрозоле вблизи действующего фонтана обнаруживается схожий с водным бактериальный и грибковый спектр патогенных микроорганизмов. Фонтаны (внешние и офисные) могут рассматриваться в качестве источников аэрогенного бытового инфицирования населения современных городов, что требует строгого соблюдения санитарных норм и правил, обеспечивающих биологическую безопасность данных гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** фонтаны; микрофлора воды; микрофлора смеси «спрей–аэрозоль»; биологическая безопасность

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Третьяков А.Ю., Московкин В.М., Мартынов А.В., Мануйлов М.Б., Ермилов О.В., Осолодченко Т.П. Фонтаны как возможные источники аэрогенного риска для населения городов. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(1): 29–33. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-29-33> <https://elibrary.ru/hbaqcl>

**Для корреспонденции:** Ермилов Олег Владимирович, врач-пульмонолог, ассистент кафедры госпитальной терапии Белгородского государственного национального исследовательского университета, 308015, Белгород. E-mail: neglect@mail.ru

**Участие авторов:** Третьяков А.Ю. — концепция и дизайн исследования, написание текста; Московкин В.М., Ермилов О.В. — редактирование; Мартынов А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, написание текста; Мануйлов М.Б., Осолодченко Т.П. — сбор материала и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 20.09.2022 / Принята к печати: 08.12.2022 / Опубликована: 15.02.2023

Andrey Yu. Tretyakov<sup>1</sup>, Vladimir M. Moskovkin<sup>1</sup>, Arthur V. Martynov<sup>2</sup>, Mikhail B. Manuilov<sup>2</sup>,  
Oleg V. Ermilov<sup>1</sup>, Tatiana P. Osolodchenko<sup>2</sup>

## Fountains as potential sources of aerogenic risk for urban populations

<sup>1</sup>Belgorod National Research University, Belgorod, 308015, Russian Federation;

<sup>2</sup>I.I. Mechnikov Institute of Microbiology and Immunology of the National Academy of Medical Sciences Ukraine, Kharkov, 61057, Ukraine

**Introduction.** Fountains (office and outdoor), being small decorative structures used to improve the parameters of the human life environment, in the process of their work during the generation of a water jet, determine the creation of spray and aerosol fractions, thereby allowing the loss of a certain volume of liquid when air moves and wind carryover. The biological safety of the operation of such hydraulic structures depends on the composition of the microflora of the water in the main reservoir of the fountain, especially in the warm season.

**Materials and methods.** For the period 2010–2020, the study of the composition of the microflora of water in the main reservoirs of the existing fountains and in the sedimented spray-aerosol mixture formed during the operation of these hydraulic structures was carried out.

**Results.** At water temperatures above +18 °C and the absence of a disinfection system or its regular complete replacement, fountains were found to have a significant level of contamination with bacterial and fungal pathogens, including mycobacterium tuberculosis; the number of microorganisms of the *E. coli* group in office and open city fountains. The amount of Clostridial flora and streptococci in open fountains significantly exceeds the standard indicators ( $p < 0.05$ ).

**Limitations.** When studying the trends in concentration of liquid particles in the air, the methodology of K. Y. Kondratiev et al. (1988) and V. M. Khvata et al. (1991) was used. The studies were carried out in accordance with the Interstate standard “Water. Methods of sanitary and bacteriological analysis for field conditions” GOST 24849–2014, 2016.

**Conclusion.** The microflora of the operating fountain, in the absence of disinfection of water or its regular replacement, is characterized by a high titer of bacteria of the *E. coli* group, streptococci, staphylococci, mycobacterium tuberculosis, mold and yeast fungi. The one of the conditions for the excessive growth of these microorganisms in this hydraulic system is the water temperature above 18 °C. In the sedimented aerosol near the active fountain, a bacterial and fungal spectrum of pathogenic microorganisms similar to the water is found. Fountains (external and office) can be considered as sources of aerogenic household infection of the population of modern cities, which requires strict adherence to sanitary norms and rules that ensure the biological safety of these hydraulic structures.

**Keywords:** fountains; water microflora; microflora of the spray-aerosol mixture; biological safety

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of the conclusion of the biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Tretyakov A.Yu., Moskovkin V.M., Martynov A.V., Manuilov M.B., Ermilov O.V., Osolodchenko T.P. Fountains as potential sources of aerogenic risk for urban populations. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(1): 29–33. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-29-33> <https://elibrary.ru/hbaqcl> (In Russian)

**For correspondence:** Oleg V. Ermilov, assistant, MD, Department of hospital therapy, Medical Institution of Belgorod National Research University, Belgorod, 308007, Russian Federation. E-mail: neglect@mail.ru

#### Information about authors:

Tretyakov A.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-1691-9439>

Moskovkin V.M., <https://orcid.org/0000-0001-5587-4133>

Martynov A.V., <https://orcid.org/0000-0003-1428-0085>

Manuilov M.B., <https://orcid.org/0000-0002-0936-448X>

Ermilov O.V., <https://orcid.org/0000-0001-8489-3851>

Osolodchenko T.P., <https://orcid.org/0000-0003-3589-7308>

**Contribution:** Tretyakov A. Yu. – the concept and design of the study, writing a text; Moskovkin V.M., Ermilov O.V. – editing; Martynov A.V. – the concept and design of the study, writing a text, collection, and processing of material; Manuilov M.B., Osolodchenko T.P. – collection and processing of material. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: September 20, 2022 / Accepted: December 8, 2022 / Published: February 15, 2023

## Введение

Фонтаны являются гидротехническими сооружениями, которые формируют струи воды, водопады и устанавливаются как малые архитектурные формы с декоративной целью и для улучшения параметров среды жизнедеятельности человека. Генерация водных потоков в фонтане определяет дополнительное создание фракций спрея и аэрозоля с допущением потери определённого объёма жидкости в процессе так называемого ветрового уноса. Согласно нормативным документам, усреднённые потери на ветровой унос принимаются равными 20 л на 1 м<sup>3</sup> воды, участвующей в процессе работы фонтана. Так, для фонтана с объёмом воды 25 м<sup>3</sup>, работающего с кратностью 2, когда дважды за рабочее время (в среднем 10 ч в сутки) весь данный объём проходит по системе «компрессор – генерация струй и (или) потоков – основной резервуар», потери воды на капельно-ветровой унос составляют около 1000 л. Происходит это в результате дезинтегрирования жидкости в системе «компрессор – форсунки» с формированием воздушно-капельных фаз спрея и аэрозоля, уносимых ветровым потоком [1–4]. Зона распространения аэрозоля зависит от высоты подачи струй и скорости ветра: при подъёме на 10 м и умеренном ветре (6,5 м/с) такое удаление составит около 600 м, а самая высокая концентрация микрочастиц воды создаётся именно в приземном (1–2 м от поверхности земли) воздушном слое, определяя наибольшую вероятность их ингаляционного поступления в организм человека. В связи с этим доказана возможность инфицирования, например, *Shigella sonnei* или *Legionella* spp. лиц, находящихся на значительном расстоянии от действующих фонтанов [5, 6]. Лимитирующим условием аэрогенной доставки патогенов из водной среды подобных конструкций служит показатель размера частиц аэрозоля. Наряду с респираторным способом инфицирования человека существует и оральный путь поступления инфекционных начал, содержащихся в воде фонтана: известно несколько примеров подобных вспышек лямблиоза и криптоспориоза в крупных городах [7, 8].

**Цель работы** – анализ зон распределения частиц жидкости в воздухе в процессе работы городских фонтанов с последующей оценкой микрофлоры в седиментированной смеси «спрей–аэрозоль» и воде основного резервуара, изучение динамики биоценоза в данной гидродинамической конструкции в зависимости от температуры воды при отсутствии системы её обеззараживания.

## Материалы и методы

Изучение динамики концентрации частиц жидкости в воздухе в зависимости от удалённости от фонтана проведено по методикам К.Я. Кондратьева и соавт., В.М. Хвата и соавт. [9, 10]. Для сбора смеси «спрей–аэрозоль» использовали стеклянную ёмкость цилиндрической формы (высота 200 мм, диаметр 100 мм) с дезинфицированной поверхностью, размещая её на высоте 1,5 м от поверхности земли в центральной зоне города с миллионным населением. Период аккумуляции образцов составлял 22 дня. Седиментированный материал помещали в питательный бульон и через 10 мин высевали на стандартные твёрдые питательные среды (кровяной питательный агар, среда Эндо, агар Сабуро, солевой агар, хромогенный агар). Анализ колоний микроорганизмов осуществляли через 24 и 48 ч. Дополнительно проводили шестидневный мониторинг микробиологических показателей воды внешних и внутренних (офисных) фонтанов после полной замены в них жидкости в зависимости от температуры в основном резервуаре и при отсутствии системы обеззараживания в данной гидротехнической конструкции. Исследования выполнены в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 24849–2014 «Вода. Методы санитарно-бактериологического анализа для полевых условий» (2016) [11].

**Терминология.** Общее микробное число – число аэробных и факультативно анаэробных гетеротрофных микроорганизмов, использующих для питания органические вещества, обладающих свойством образовывать колонии на питательном агаре при температуре плюс 36 ± 2 °C в течение 24 ч, видимые при двукратном увеличении.

Колиформные бактерии – грамотрицательные оксидазоотрицательные не образующие спор палочки, обладающие свойством образовывать колонии в аэробных условиях на селективной дифференциальной лактозной среде с образованием кислоты при температуре плюс 36 ± 2 °C в течение 24 ± 3 ч.

*Escherichia coli* – колиформные бактерии, обладающие свойством ферментировать лактозу при температуре плюс 44 ± 1 °C в течение 24 ч с образованием кислоты и газа, а также продуцировать индол из триптофана в течение 21 ± 3 ч.

Бактерии семейства *Enterobacteriaceae* – грамотрицательные оксидазоотрицательные лактозоотрицательные бактерии, обладающие свойством образовывать колонии в аэробных условиях на селективной дифференциальной лактозной

Таблица 1 / Table 1

**Изменение концентрации смеси «спрей–аэрозоль» в воздухе вблизи работающего фонтана**  
**Change in the concentration of the spray-aerosol mixture in the air near the working fountain**

Показатель Index	Значение Meaning									
Расстояние от фонтана в сторону движения воздушного потока (по направлению ветра), L (м) The distance from the fountain in the direction of the air flow (in the direction of the wind), L (m)	< 5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45	45–50
Концентрация искусственных фракций аэрозоля и тумана в зоне дыхания человека (1–2 м от поверхности земли), С (мг/м <sup>3</sup> ) The concentration of artificial fractions of aerosol and fog in the area of human respiration (1–2 m from the ground surface), C (mg/m <sup>3</sup> )	11.05	8.0	6.0	2.4	1.1	0.5	0.3	0.2	0.12	0.06

**Примечание.** Приведённые значения оказывались справедливыми для городского фонтана с объёмом основной ёмкости (чаши) 25 м<sup>3</sup>, работающего с кратностью 2, при высоте подачи струй 10 м, скорости ветра 6,5 м/с и температуре воздуха плюс 28 °С.

**Note:** The given values were valid for a city fountain with a volume of the main tank (bowl) of 25 m<sup>3</sup>, operating with a multiplicity of 2, a height of 10 meters, a wind speed of 6.5 m/s, and an air temperature of +28 °С.

среде и способные ферментировать глюкозу с образованием кислоты и газа при температуре плюс  $36 \pm 2$  °С в течение  $21 \pm 3$  ч.

Энтерококки – грамположительные каталазоотрицательные полиморфные круглые или овальные с заострёнными концами кокки, располагающиеся попарно или в коротких цепочках, обладающие свойством образовывать колонии на питательных средах, содержащих 0,04% азид натрия и 2,3,5-трифенилтетразолиум хлорид, способностью роста на питательной среде, содержащей 6,5% NaCl, и образующие характерные колонии на средах с эскулином.

Полученные результаты обработаны с помощью вариационно-статистических методов с использованием статистических программ Statistica 10.0 (StatSoft, Inc., США), различие показателей считали статистически значимым при  $p < 0,05$ .

## Результаты

Характеристики распределения смеси «спрей – аэрозоль», формирующейся в процессе работы внешнего фонтана, представлены в табл. 1. Установлено, что через каждые 5 м удаления от такого гидротехнического объекта регресс

концентрации воздушно-капельной смеси был различным: наименьшее снижение наблюдалось на расстоянии первых 10–15 м от фонтана (в среднем на 30,4 и 25%), тогда как при удалении более 15 м сразу же происходило резкое уменьшение концентрации облака «спрей–аэрозоль» на 58,3% (первый надир;  $p = 0,02$ ). Затем концентрация неравномерно убывала на расстоянии до 40 м (на 33,3%;  $p > 0,05$ ). На удалении 45–50 м от источника фиксировалось новое падение концентрации (второй надир) до 50% ( $p = 0,04$ ).

При последующей оценке микробного состава осаждённой воздушно-капельной смеси отмечено, что фонтаны при отсутствии обеззараживания воды или регулярной её замены во всей системе (ежесуточной или на основании мониторинга заражённости воды) могут аккумулировать достаточное число микроорганизмов различных групп, включая микробактерии туберкулёза. Так, после седиментации спрея-аэрозоля вблизи действующего открытого фонтана установлено присутствие ряда грамположительных, грамотрицательных бактерий, дрожжевых и плесневых грибов (табл. 2).

Через 10 мин после забора материала в питательном бульоне были обнаружены лишь единичные колонии кишечной флоры, однако уже через 24 ч количество микроорганизмов значительно увеличивалось и составляло

Таблица 2 / Table 2

**Виды микроорганизмов и динамика их роста при анализе осаждённого спрея-аэрозоля вблизи действующего открытого фонтана**  
**Types of microorganisms and dynamics of their growth in the analysis of a precipitated spray-aerosol near an active open fountain**

Микроорганизм Microorganisms	Количество микроорганизмов, КОЕ/см <sup>3</sup> Number of microorganisms, CFU/cm <sup>3</sup>		
	Через 10 мин / In 10 minutes	Через 24 ч / In 24 hours	Через 48 ч / In 48 hours
<i>E.coli lac+</i>	Единичные колонии / Single colonies	105	106
<i>E. coli lac–</i>	Единичные колонии / Single colonies	105	106
<i>E. coli</i> неферментирующие (non-fermenting)	Единичные колонии / Single colonies	105	106
<i>Enterococcus</i> spp.	Не выделялись / Did not identify	104	106
<i>S. aureus</i>	Не выделялись / Did not identify	103	105
<i>S. epidermidis</i>	Не выделялись / Did not identify	104	105
<i>Candida</i> spp.	Не выделялись / Did not identify	104	105
<i>Enterobacter</i> spp.	Единичные колонии / Single colonies	105	106
<i>Proteus mirabilis</i>	Не выделялись / Did not identify	105	106
Грибы плесневые (Mold fungi)	Не выделялись / Did not identify	104	105

**Примечание.** Здесь и в табл. 3: КОЕ – колониеобразующие единицы.

**Note:** Here and in Table 3: CFU – colony-forming units.

Таблица 3 / Table 3

Микробиологический состав воды нескольких исследованных фонтанов,  $M \pm m$   
 Microbiological composition of the water of some studied fountains,  $M \pm m$

Микрофлора Microflora	Количество микроорганизмов в воде фонтанов, КОЕ/мл Количество колониеобразующих единиц на мл среды, Lg · КОЕ/мл Number of microorganisms in fountain water, CFU/ml Colony-forming units per ml of medium, Lg · CFU/ml				Норма Norm
	офисный фонтан (температура воды +18 °С) office fountain (T <sub>water</sub> +18 °С)	открытые городские фонтаны г. Харькова (температура воды плюс 21–22 °С) open air fountains of Kharkiv city (T <sub>water</sub> +21–22 °С)			
		№ 1	№ 2	№ 3	
<i>E. coli</i> lac+	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.3 ± 0.7	<b>10<sup>4</sup>–10<sup>5</sup></b> 4.7 ± 0.7	<b>10<sup>4</sup>–10<sup>5</sup></b> 7.6 ± 0.8	<b>10<sup>4</sup>–10<sup>5</sup></b> 6.6 ± 0.8	10–10 <sup>2</sup> 1.4 ± 0.3
<i>E. coli</i> lac–	<b>10<sup>2</sup>–10<sup>3</sup></b> 2.5 ± 0.6	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.8 ± 0.6	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.2 ± 0.6	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.8 ± 0.6	10–10 <sup>2</sup> 1.6 ± 0.4
<i>E. coli</i> неферментирующие <i>E. coli</i> non-fermenting	<b>10<sup>2</sup>–10<sup>3</sup></b> 2.7 ± 0.3	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.7 ± 0.3	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.0 ± 0.6	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.2 ± 0.6	10–10 <sup>2</sup> 1.6 ± 0.5
<i>S. aureus</i>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.5 ± 0.4	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.6 ± 0.4	10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup> 4.2 ± 0.7	10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup> 3.5 ± 0.7	*
<i>S. epidermidis</i>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.7 ± 0.5	<b>10<sup>4</sup>–10<sup>5</sup></b> 4.6 ± 0.8	<b>10<sup>5</sup>–10<sup>6</sup></b> 5.2 ± 0.4	<b>10<sup>5</sup>–10<sup>6</sup></b> 5.7 ± 0.4	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.4 ± 0.4
<i>Candida</i> spp.	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup> 3.2 ± 0.7	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup> 3.7 ± 0.7	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup> 3.8 ± 0.5	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup> 3.6 ± 0.5	*
<i>Enterobacter</i> spp.	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.7 ± 0.3	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.7 ± 0.3	Нет роста No growth	Нет роста No growth	*
<i>Clostridium</i> spp.	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.2 ± 0.8	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.8 ± 0.8	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.5 ± 0.6	<b>10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup></b> 3.3 ± 0.6	*
Грибы плесневые Mold fungi	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.2 ± 0.4	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> 2.2 ± 0.4	Нет роста No growth	Нет роста No growth	*

Примечание. Жирный шрифт – различия достоверны ( $p < 0,05$ ) при множественном сравнении с нормативными значениями по критерию  $t$  Стьюдента с поправкой Бонферрони; \* – не регламентируется.

Note. Bold font – the differences are significant ( $p < 0.05$ ) when multiple times compared with the standard values according to the Student's  $t$  criterion with the Bonferroni correction; \* – not regulated.

10<sup>4</sup>–10<sup>5</sup> КОЕ/см<sup>3</sup>. При этом видовой спектр расширился за счёт кокковых форм, энтеробактерий и различных грибов. Следует отметить, что в осадённой фракции спрея-аэрозоля совместно с бактериями группы кишечной палочки (БГКП) в концентрации 110–130 КОЕ/дм<sup>3</sup> обнаруживались ещё и микобактерии туберкулёза: интенсивность их роста по трёхбалльной системе соответствовала рангу 2+ (21–100 КОЕ). Добавим, что подобный уровень в клинической практике типичен для бактериовыделения у больных активными формами лёгочного туберкулёза.

На следующем этапе проведено изучение микробных биоценозов воды фонтанов, расположенных в помещении (офисных), и открытых городских фонтанов в период их эксплуатации (табл. 3). Средняя температура воды в первом случае составляла плюс 18 °С, во втором – плюс 21–22 °С.

Обнаружено, что во всех изученных гидротехнических конструкциях уровень обсеменённости БГКП намного превышал нормативные значения. Кроме того, уровни обсеменённости *S. epidermidis* для всех открытых фонтанов и *Clostridium* spp. для большинства из них достоверно выше нормативных показателей ( $p < 0,05$ ). Также в воде обнаружены высокие титры роста грибов (дрожжевых и плесневых) и *S. aureus*.

На скорость микробного загрязнения оказывает влияние показатель температуры воды фонтана. Так, после полной замены воды во всей гидросистеме при температуре воды плюс 22–23 °С показатели отвечали нормативным значениям только в 1-е сутки, на 2-е появились БГКП до 10 КОЕ/дм<sup>3</sup>, а на 4-е начали определяться единичные микобактерии туберкулёза, достигая значений 21–100 КОЕ на 6-й день.

Высокая летняя температура воды (плюс 27 °С) способствовала тому, что на 13-е сутки БГКП содержались в концентрации от 800 до 1200 КОЕ/дм<sup>3</sup>, а микобактерии туберкулёза – в концентрации выше 100 КОЕ (что соответствовало рангу 3+ бактериовыделения у больных фтизиатрического стационара). После замены воды в фонтанах при наступлении похолодания (температура воды плюс 16 °С) концентрация БГКП спустя 5 дней составляла всего 30–40 КОЕ/дм<sup>3</sup>, а микобактерии туберкулёза в пробах воды отсутствовали.

## Обсуждение

Фонтаны (офисные и внешние) при температуре воды выше плюс 18 °С, несовершенной системе обеззараживания или при отсутствии регулярной полной замены воды имеют значительный уровень контаминации бактериальными и грибковыми патогенами. Подобный микробный спектр определяется и в седиментированной фракции спрея-аэрозоля, распространяющегося вблизи работающего фонтана, что делает возможным инфицирование человека воздушно-капельным путём [3]. Это объясняется механикой и физиологией дыхания: на слизистой оболочке носа и носоглотки задерживаются практически все частицы спрея и фракции аэрозоля, диаметр которых  $\geq 10$  мкм, и приблизительно 50% фракции размером от 1 до 5 мкм. Вторая же половина свободно поступает в дистальные отделы респираторной системы и во внутреннюю среду организма. Выше упомянуто значительное представительство в смеси «спрей-аэрозоль» кокковой, кластридиальной и грибковой флоры, допускающее её ингаляционное поступление.

Кроме того, данный способ заражения является типичным для легионеллёза и *Klebsiella pneumoniae* [2, 6]. Полученные авторами настоящего исследования показатели динамики загрязнения воды фонтана микробактериями совпадают с выводами Vega и соавт. [4], обнаружившими значительное присутствие в данной гидротехнической конструкции *Micobacterium asiaticum*.

Неблагоприятный водный биоценоз фонтанов может являться не только причиной респираторного заражения, но скрытым источником инфекционных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Такая связь многократно доказана в отношении криптоспориоза, лямблиоза и другой инфекционной патологии кишечной группы [1, 12, 13].

В современном городе существует несколько путей и механизмов, позволяющих формировать неблагоприятную микрофлору фонтанов. Высокие значения концентрации тумана и аэрозоля вблизи действующего гидротехнического сооружения пропорциональны санации окружающего воздуха. Так, при проведении мониторинга запылённости центральной зоны современного города эффективность очистки фонтанов приземного воздушного слоя от пыли и дыма (аэрозолей автотранспортного, промышленного и эрозийного происхождения) составляет не менее 95% [14]. Например, при объёме воды в основной ёмкости 62 м<sup>3</sup>, кратности работы 2, высоте подачи струй 14 м и 10-часовой работе фонтана объём аэрозолей, накопившихся в чаше, составил 7,2 кг за 21 день (в среднем 342,8 г/сут). Среднесуточная концентрация пыли в воздухе составляет 0,18 мг/м<sup>3</sup>, а в период работы фонтана достигает 0,27 мг/м<sup>3</sup> при усреднённой концентрации 0,22 мг/м<sup>3</sup> за время эксплуатации с 10 до 21 ч. В итоге за рабочий день полноценной очистке от дыма и пыли подвергалось 1 558 000 м<sup>3</sup> воздуха [15].

Хорошо известно, что аэрозоли промышленного и автотранспортного происхождения (пыль и дым) значительно

контаминированы микроорганизмами. Ветром и воздушными потоками, создаваемыми движущимся транспортом, данные аэрозоли участвуют в загрязнении приземного воздушного слоя, попадая далее в жидкости основного резервуара фонтанов. Кроме того, в городах обитают бездомные граждане и другие представители социальных групп риска с низким санитарным статусом. Дополнительными источниками загрязнения служат продукты жизнедеятельности птиц, бродячих и домашних животных [12, 15–19]. Третьим условием такого загрязнения является фактор эрозии почв: с незастроенных территорий и с подсобных участков воздушными потоками поднимаются в приземный слой и переносятся на значительные расстояния частицы почвы с дополнительным количеством микроорганизмов [1].

## Заключение

Микрофлора действующего фонтана при отсутствии обеззараживания воды или её регулярной замены характеризуется высоким титром БГКП, стрептококков, стафилококков, микобактерий туберкулёза, плесневых и дрожжевых грибов. Обсеменённость БГКП офисных и открытых городских фонтанов, количество клостридиальной флоры и стрептококков в открытых фонтанах существенно превосходят нормативные показатели ( $p < 0,05$ ). Одним из условий избыточного роста микроорганизмов в данной гидросистеме является температура воды выше плюс 18 °С. В седиментированном аэрозоле вблизи действующего фонтана обнаруживается схожий с водным спектр патогенных микроорганизмов (бактерий и грибов). Внешние и офисные фонтаны могут рассматриваться в качестве источников инфицирования населения современных городов, что требует создания санитарных норм и правил, обеспечивающих биологическую безопасность данных гидротехнических сооружений.

## Литература

(п.п. 1, 2, 4–8, 12, 13, 16–19 см. References)

- Романова И.П., Таранова А.А., Манонина М.Б. О качестве воды в уличных фонтанах города Абакана. *Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова*. 2014; (8): 77–8.
- Хват В.М., Медведев В.С., Мануйлов М.Б. *Разработать и внедрить технологический процесс отведения и очистки поверхностного стока с застроенных территорий (заключительный). Отчет о научно-исследовательской работе (НИР)*. Харьков; 1990.
- Хват В.М., Московкин В.М., Мануйлов М.Б. Об аэрозольном загрязнении поверхностного стока на урбанизированных территориях. *Метеорология и гидрология*. 1991; (2): 54–7.
- Межгосударственный стандарт ГОСТ 24849–2014. «Вода. Методы санитарно-бактериологического анализа для полевых условий». М.; 2016.
- Мануйлов А.М., Клейн Е.Б., Мартынов А.В., Московкин В.М. Технология обеззараживания и очистки воды фонтанов. *Экологический вестник России*. 2018; (1): 28–33.
- Московкин В.М., Мануйлов М.Б. Влияние загрязнений, формирующихся на урбанизированных территориях, на эпидемиологическую и экологическую ситуации. *Экология урбанизированных территорий*. 2010; (1): 29–34.
- Modrzewska B.D., Bartnicka M., Blaszkowska J. Microbially contaminated water in urban fountains as a hidden source of infections. *Clean-Soil Air Water*. 2019; 47(8): 1800322. <https://doi.org/10.1002/clen.201800322>
- Nascimento M., Rodrigues J., Reis L., Nogueira I., Carvalho P.A., Brandão J., et al. Pathogens in ornamental waters: a pilot study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016; 13(2): 216. <https://doi.org/10.3390/ijerph13020216>
- Romanova I.P., Taranova A.A., Manonina M.B. Street fountains of the city of Abakan. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*. 2014; (8): 77–8. (in Russian)
- Vega L., Jaimes J., Morales D., Martínez D., Cruz-Saavedra L., Muñoz M., et al. Microbial communities' characterization in urban recreational surface waters using next generation sequencing. *Microb. Ecol.* 2021; 81(4): 847–63. <https://doi.org/10.1007/s00248-020-01649-9>
- Fleming C.A., Caron D., Gunn J.E., Horine M.S., Matyas B.T., Barry M.A. An outbreak of Shigella sonnei associated with a recreational spray fountain. *Am. J. Public Health*. 2000; 90(10): 1641–2. <https://doi.org/10.2105/ajph.90.10.1641>
- Julien B. Legionnaires' disease in Europe, 2011 to 2015. *Euro Surveill*. 2017; 22(27): 30566. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2017.22.27.30566>
- Eisenstein L., Bodager D., Ginzl D. Outbreak of Giardiasis and Cryptosporidiosis Associated with a Neighborhood Interactive Water Fountain—Florida, 2006. *J. Environ. Health*. 2008; 71(3): 18–22.
- Jones M., Boccia D., Kealy M., Salkin B., Ferrero A., Nichols G., et al. Cryptosporidium outbreak linked to interactive water feature, UK: importance of guidelines. *Euro Surveill*. 2006; 11(4): 3–4. <https://doi.org/10.2807/esm.11.04.00612-en>
- Khvat V.M., Medvedev V.S., Manuylov M.B. *Develop and implement a technological process for the removal and purification of surface runoff from built-up areas (final). Report on research work*. Kharkov; 1990. (in Russian)
- Khvat V.M., Moskovkin V.M., Manuylov M.B. On aerosol pollution of surface runoff in urbanized territories. *Meteorologiya i gidrologiya*. 1991; (2): 54–7. (in Russian)
- Interstate standard GOST 24849–2014. «Water. Methods of sanitary-bacteriological analysis for field conditions». 2016. (in Russian)
- Flores C., Loureiro L., Lucinda J. Presence of multidrug-resistant *E. coli*, *Enterococcus* spp. and *Salmonella* spp. in lakes and fountains of Porto. *Portugal J. Water Res. Protect.* 2013; 5(11): 40305. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.51117>
- Siqueira V., Oliveira H., Santos G., Paterson R.R.M., Gusmão N.B., Lima N. Filamentous fungi in drinking water, particularly in relation to biofilm formation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2011; 8(2): 456–69. <https://doi.org/10.3390/ijerph8020456>
- Manuylov A.M., Kleyn E.B., Martynov A.V., Moskovkin V.M. Technology of disinfection and water purification of fountains. *Ekologicheskij vestnik Rossii*. 2018; (1): 28–33. (in Russian)
- Moskovkin V.M., Manuylov M.B. Impact of the pollutants formed at urban territories on both the ecology and epidemiology situations. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2010; (1): 29–34. (in Russian)
- Włodyka-Bergier A., Bergier T., Stańkowska E., Gajewska D. Evaluation of microbial quality of water in the fountains in Krakow. *Infrastr. Ecol. Rural Areas*. 2019; 1(2): 107–18. <https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2019.2.1.009>
- Burkowska-But A., Swiontek Brzezinska M., Walczak M. Microbiological contamination of water in fountains located in the city of Torun, Poland. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2013; 20(4): 645–8.
- Di Carlo E., Lombardo G., Barresi G., Manachini B., Corselli G., Lo Giudice S., et al. Biological macro and micro systems co-existing in the «Fountain of the Two Dragons», Palermo. *Conserv. Sci. Cult. Herit.* 2017; 15: 93–105. <https://doi.org/10.6092/issn.1973-9494/7122>
- Heerah S., Neetoo H. Microbiological safety and physico-chemical quality of fountain and public shower water of Mauritius. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2016; (2): 161–172. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2016.502.019>