



Загайнова А.В.¹, Курбатова И.В.¹, Лукашина М.В.¹, Юдин С.М.¹, Болехан В.Н.¹,
Костюченко С.В.², Баранов В.Л.², Ткачев А.А.², Королева Н.Н.²

Оценка эффективности обеззараживания хозяйственно-бытовых сточных вод с использованием УФ-комплекса в экспериментальных условиях

¹ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия;

²Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение "Лаборатория импульсной техники"»,
141701, Долгопрудный, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Один из наиболее эффективных и экономически обоснованных способов обеззараживания воды — ультрафиолетовое (УФ) облучение. УФ-обеззараживание не имеет эффекта последствия, что является неоспоримым преимуществом при обработке сточных вод, поскольку исключается негативное экологическое воздействие на водный объект — приёмник сточных вод. Основным технологическим параметром, обеспечивающим надлежащее обеззараживание, считается УФ-доза.

Цель исследования — оценка эффективности применения технологии УФ-обеззараживания сточных вод при высокой бактериальной и вирусной контаминации.

Материалы и методы. В эксперименте использовали установки DUV-1-87-N, обеспечивающие УФ-дозу не менее 30 мДж/см², для обеззараживания воды производства НПО «ЛИТ».

Результаты. Использование УФ-дозы не менее 30 мДж/см² для обеззараживания при высокой степени контаминации сточных вод микроорганизмами, в том числе стоков мегаполиса Москвы, обеспечивает достижение уровня загрязнения, достаточного для безопасного сброса обеззараженных сточных вод в поверхностные водные объекты в соответствии с требованиями санитарного законодательства Российской Федерации.

Ограничения исследования связаны с аппаратным решением применения УФ-облучения, мутностью воды, чувствительностью к УФ-облучению микроорганизмов разных таксономических групп.

Заключение. Результаты экспериментального исследования могут служить обоснованием использования дозы УФ-облучения (30 мДж/см²) для эффективного обеззараживания воды с высоким уровнем микробной контаминации до нормативного (в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21) уровня загрязнения очищенных сточных вод, пригодных для сброса в поверхностные водные объекты.

Ключевые слова: ультрафиолетовое облучение; доза; обеззараживание; сточные воды; бактерии; вирусы

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

Для цитирования: Загайнова А.В., Курбатова И.В., Лукашина М.В., Юдин С.М., Болехан В.Н., Костюченко С.В., Баранов В.Л., Ткачев А.А., Королева Н.Н. Оценка эффективности обеззараживания хозяйственно-бытовых сточных вод с использованием УФ-комплекса в экспериментальных условиях. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1133–1140. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1133-1140> <https://elibrary.ru/jjytrpz>

Для корреспонденции: Загайнова Анжелика Владимировна, e-mail: AZagaynova@cspmz.ru

Участие авторов: Загайнова А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, обработка данных, написание статьи, редактирование; Курбатова И.В., Лукашина М.В., Юдин С.М., Болехан В.Н. — сбор материала, обработка данных; Костюченко С.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Баранов В.Л. — сбор материала, техническое сопровождение, редактирование; Ткачев А.А. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание статьи, редактирование; Королева Н.Н. — концепция и дизайн исследования, редактирование. 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. Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных ФГБУ «ЦСП» ФМБА России по теме «Разработка унифицированных методов, включающих отбор проб, для осуществления определения микробиологического и паразитологического загрязнения сточных вод» (шифр «Сточные воды») в рамках государственного контракта от 12.11.2021 г. № 21233881001520000000000000/145.001.21.6, и экспериментальных исследований, проведенных инициативно в сопровождении сотрудников НПО «ЛИТ», не имеющих коммерческой поддержки.

Поступила: 10.09.2024 / Поступила после доработки: 30.09.2024 / Принята к печати: 02.10.2024 / Опубликовано: 19.11.2024

Anzhelika V. Zagainova¹, Maria V. Lukashina¹, Irina V. Kurbatova¹, Sergey M. Yudin¹, Vasily N. Bolekhan¹, Sergey V. Kostyuchenko², Viktor L. Baranov², Andrey A. Tkachev², Natalya N. Koroleva²

Assessment the effectiveness of disinfection of household wastewater using a UV complex under experimental conditions

¹Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation;

²Limited Liability Company Scientific and Production Association "LIT", Dolgoprudny, 141701, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. One of the most effective and economically justified methods of inactivation water treatment is disinfection using UV irradiation. UV disinfection is characterized by the absence of an aftereffect, which is an undeniable advantage for wastewater treatment, since adverse environmental effects on the wastewater receiving water body are excluded. The main technological parameter that ensures proper disinfection is the UV dose.

The purpose of the study is the confirmation of the effectiveness of using the technology of UV disinfection of water with a dose of at least 30 mJ/cm² in relation to sanitary-indicative and pathogenic microorganisms that are present in the wastewater of the Moscow metropolis.

Materials and methods. UV disinfection units DUV-1-87-N were used to conduct the experiment, providing a UV dose of at least 30 mJ/cm² for water disinfection and an open UV irradiator SVETOLIT 50 for air disinfection manufactured by company LIT.

Results. The use of a UV dose of at least 30 mJ/cm² for disinfection of water with a high degree of contamination of microorganisms ensures the level of contamination of microorganisms to meet the requirements of sanitary legislation in force on the territory of the Russian Federation for disinfected wastewater allowed discharging into surface waters.

Limitations. The limitations of the study are related to the equipment used for applying UV irradiation, water turbidity, and the sensitivity of microorganisms of different taxonomic groups to UV irradiation.

Conclusion. The results of the conducted experimental study can serve a justification for the UV radiation dose of 30 mJ/cm² used for effective disinfection of viral and bacterial contamination of water with high levels of microbial contamination up to the standard permissible level of microbial contamination (in accordance with SanPiN 1.2.3685-21) of treated wastewater suitable for discharge into surface waters.

Keywords: UV; dose; disinfection; wastewater; bacteria; viruses

Compliance with ethical standards. This study does not require the conclusion of a biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Zagainova A.V., Lukashina M.V., Kurbatova I.V., Yudin S.M., Bolekhan V.N., Kostyuchenko S.V., Baranov V.L., Tkachev A.A., Koroleva N.N. Evaluation of the effectiveness of disinfection of household wastewater using a UV complex under experimental conditions. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(10): 1133–1140. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1133-1140> <https://elibrary.ru/jjyprz> (In Russ.)

For correspondence: Anzhelika V. Zagainova, e-mail: AZagaynova@cspmz.ru

Contribution: Zagainova A.V. — research concept and design, material collection, data processing, article writing, editing; Lukashina M.V., Kurbatova I.V., Yudin S.M., Bolekhan V.N. — collection of material, data processing; Kostyuchenko S.V. — concept and design of the study, editing; Baranov V.L. — collection of material, technical support, editing; Tkachev A.A. — concept and design of the study, collection of material, writing an article, editing; Koroleva N.N. — concept and design of the study, editing. 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.

Acknowledgment. The article is based on the results of research on the scientific activities of the, obtained in research on the topic: "Development of unified methods, including sampling, for the determination of microbiological and parasitological contamination of wastewater" (code: "Wastewater"), performed under a government contract from 12.11.2021 №212338810015200000000000/145.001.21.6.

Received: September 10, 2024 / Revised: September 30, 2024 / Accepted: October 2, 2024 / Published: November 19, 2024

Введение

В Российской Федерации сброс сточных вод в водные объекты, на лёд поверхностных водных объектов и на водосборную территорию запрещён, если контаминация возбудителями инфекционных болезней бактериальной, вирусной и паразитарной природы превышает гигиенические нормативы (СанПиН 2.1.3684–21)¹. Сточные воды должны подвергаться обеззараживанию для достижения санитарно-микробиологических показателей безопасности и возможности сброса в поверхностные водные объекты (СанПиН 1.2.3685–21)².

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями и дополнениями от 26 июня, 14 декабря 2021 г., 14 февраля 2022 г.; с изменениями на 14 февраля 2022 г.).

² Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями на 30 декабря 2022 г.).

Исследования показывают, что в сточных водах микроорганизмы характеризуются наибольшим патогенным потенциалом [1], а в очистных сооружениях канализации активный ил может выступать в роли резервуара накопления микроорганизмов с патогенным потенциалом, что обуславливает риск распространения их в окружающую среду. Поэтому обеззараживание является важнейшим и необходимым мероприятием при очистке коммунальных сточных вод.

Один из наиболее эффективных и экономически обоснованных способов обеззараживания воды — использование ультрафиолетового (УФ) облучения [2–4]. Неоспоримое преимущество УФ-обеззараживания сточных вод состоит в отсутствии эффекта последствия, так как исключается негативное экологическое воздействие на водный объект — приёмник сточных вод. Постоянное повышение цен на хлор и хлорсодержащие реагенты приводит к тому, что УФ-обеззараживание становится в операционных затратах экономически выгоднее хлорирования, даже без учёта дехлорирования [5, 6]. Водоканалы многих городов Российской Федерации отказываются от хлорирования городских сточных вод и переходят на обеззараживание УФ-облучением [7–9]. Ультрафиолетовое излучение эффективно в отношении всех групп микроорганизмов (бактерии, вирусы и простейшие), что даёт ему преимущество по сравнению с хлором и хлореагентами [10]. В мире способ УФ-обеззараживания

Таблица 1 / Table 1

Изоляты микроорганизмов, выделенных из сточных вод Москвы
Isolates of microorganisms isolated from wastewater of the Moscow megalopolis

Микроорганизм Microorganism name	Место выделения Place of isolation	Дата выделения Date of isolation	Характеристика Characteristics
<i>Acinetobacter</i> spp.	Курьяновские очистные сооружения (КОС) № 4 Kuryanovsky sewage treatment plants (KOS) No. 4	08.12.2021	<ul style="list-style-type: none">• Устойчивость к цефтазидиму и ампициллину/сульбактаму, камикацину и ципрофлоксацину• Маркеры резистентности к антимикробным препаратам: аминогликозидам (aph(3'')-Ib; aph(6)-Id; aph(3')-Ia; aph(3')-Via; armA), бета-лактамам (blaOXA-23, blaOXA-66, bla ADC-73, blaTEM-ID), MLS-антибиотикам(mrs, mph), сульфонамиду (sul2), тетрациклину (tet(B))• resistance to ceftazidime and ampicillin/sulbactam, amikacin, and ciprofloxacin• markers of antimicrobial resistance: aminoglycosides (aph(3'')-Ib; aph(6)-Id; aph(3')-Ia; aph(3')-Via; armA), beta-lactam (blaOXA-23, blaOXA-66, bla ADC-73, blaTEM-ID), MLS-antibiotics(mrs, mph), sulfonamide (sul2), tetracycline (tet(B))
<i>Klebsiella oxytoca</i>	Южно-Бутовские очистные сооружения (ЮБОС) № 4 Yuzhno-Butovskie sewage treatment plants (YUBOS) No. 4	16.06.2022	<ul style="list-style-type: none">• Устойчивость (чувствительность) к антибиотикам: резистентный к цефазолину, ампициллину, амоксициллину; особо чувствительный к цефуроксиму• Факторы вирулентности: magA (гипермукоидный фенотип)• Antibiotic resistance (sensitivity): resistant to cefazolin, ampicillin, amoxicillin; particularly sensitive to cefuroxime• Virulence factors: magA (hypermucooid phenotype)
<i>Enterococcus faecalis</i>	ЮБОС № 4 YUBOS No. 4	20.10.2022	<ul style="list-style-type: none">• Устойчивость (чувствительность) к антибиотикам: чувствителен к имипенему, меропенему, цефтриаксону, цефепиму, ципрофлоксацину, левофлоксацину, гентамицину, амоксициллину, амикацину, ванкомицину• Факторы вирулентности: Asa (адгезин), Esp (колонизация), Gel (желатиназа), CytI (цитолизин)• Antibiotic resistance (sensitivity): sensitive to imipenem, meropenem, ceftriaxone, cefepime, ciprofloxacin, levofloxacin, gentamicin, amoxicillin, amikacin, and vancomycin• Virulence factors: Asa (adhesion), Esp (colonization), Gel (gelatinase), CytI (cytolysin)

за последние десятилетия стал наиболее перспективным, способным обеспечить соответствие качества воды, сбрасываемой в открытые водоёмы, действующим нормативам по микробиологическим показателям. Основным технологическим параметром, обеспечивающим надлежащее обеззараживание, является УФ-доза. Для достижения указанных в СанПиН 2.1.3685–21 гигиенических нормативов очищенные сточные воды должны проходить УФ-обеззараживание с УФ-дозой не менее 30 мДж/см² [11–15]. Ожидаемые исходные уровни микробиологического загрязнения очищенных сточных вод, подвергаемых УФ-обеззараживанию, составляют для ТКБ 5 · 10⁴ КОЕ/100 мл, колифагов – 5 · 10² БОЕ/100 мл [12]. Поиск не выявил публикаций, посвящённых экспериментальному подтверждению эффективности УФ-обеззараживания при значительно более высоких исходных уровнях контаминации сточных вод.

Цель работы – оценка эффективности технологии УФ-обеззараживания сточных вод при высокой степени контаминации микроорганизмами (10⁹–10¹⁰ КОЕ/100 мл), представленными в сточных водах Москвы, а также вирусами (колифаги и вирус полиомиелита). УФ-облучение предполагалось проводить с помощью промышленного оборудования.

Материалы и методы

В эксперименте использовали серийно выпускаемые установки для обеззараживания воды DUV-1-87-N, обеспечивающие УФ-дозу не менее 30 мДж/см², производства НПО «ЛИТ». Для экспериментальных исследований использовали водоём с синтетической сточной водой, состав которой указан в ГОСТ 32537–2013³.

³ Межгосударственный стандарт ГОСТ 32537–2013 «Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение биоразлагаемости при аэробных методах очистки» (введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. № 785-ст).

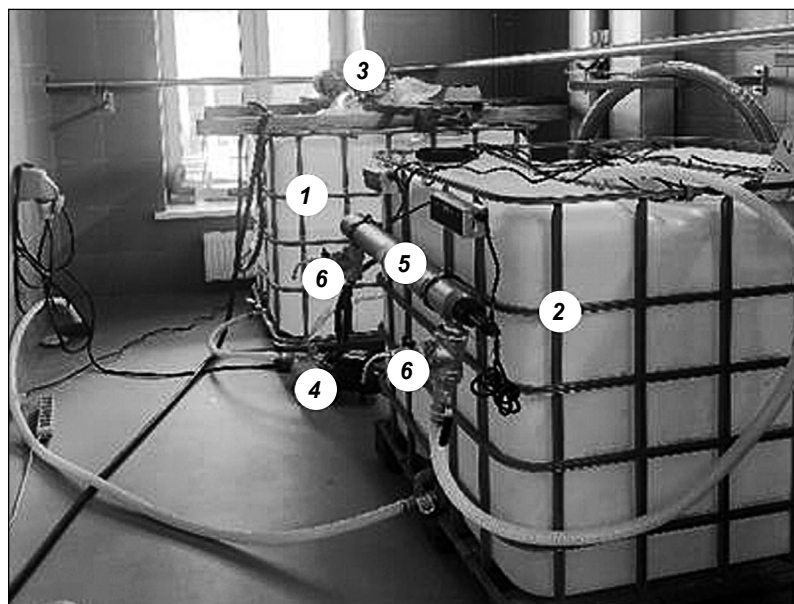
В искусственный водоём со сточной водой добавляли тест-микроорганизмы (табл. 1) – эталонные музейные бактериальные культуры *E. coli* ATCC 10536, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Klebsiella pneumoniae* subsp. *K. pneumoniae* ATCC 700603, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* Serovar *Typhimurium* derived from ATCC 13311, *Pseudomonas aeruginosa* derived from ATCC 27853, *Geobacillus stearothermophilus* ВКМ В-718, музейные культуры колифага MS₂ и вакцинного штамма вируса полиомиелита Sabin 1, а также штаммов микроорганизмов (*Acinetobacter* spp., *K. oxytoca*, *E. faecalis*), выделенных из сточных вод Москвы. Концентрации указанных бактериальных агентов составляли 10⁹–10¹⁰ КОЕ/100 мл каждого штамма, колифага – 8,1 · 10⁶ БОЕ/100 мл, суспензии вакцинного штамма вируса полиомиелита Sabin 1 – 7,5 lg ТЦД₅₀/мл.

Споры тест-микроорганизма *Geobacillus stearothermophilus* ВКМ В-718 (источник – биологический БиоТЕСТ-П-ВИНАР) в концентрации *n* · 10⁸ КОЕ/100 мл использовали как наиболее устойчивые к химическим и термическим методам обеззараживания. Этот микроорганизм служит биологическим тестом для внутреннего контроля качества обеззараживания патогенного материала в сосудах под давлением.

Все поименованные выше микроорганизмы из рабочей коллекции ФГБУ «ЦСП» ФМБА России паспортизированы, имеют подтверждённые морфологические, биохимические и культуральные свойства. В работе использовали штаммы тест-микроорганизмов, рекомендованные для оценки эффективности дезинфицирующих средств в Р 4.2.3676–20⁴.

Эффективность обеззараживания УФ-облучением санитарно-показательных и патогенных микроорганизмов в сточных водах оценивали в модельных условиях по проценту

⁴ Руководство Р 4.2.3676–20 «Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности». Утверждено руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 18 декабря 2020 г.



- 1 – бак исходной воды / source water tank
 2 – бак обеззараженной воды / tank with disinfected water
 3 – мешалка / agitator
 4 – перекачивающий насос / pumping pump
 5 – вторая УФ-установка / second UV installation
 6 – пробоотборники / samplers

Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда.

Fig. 1. The appearance of the experimental stand.

выживаемости (V) после УФ-облучения, который рассчитывали по формуле (1):

$$V = \frac{T_{\text{ср}} \cdot 100}{C_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{ср}}$ – среднее количество микроорганизмов, выросших на чашках после экспозиции ($T_{\text{ср}} = \sum T/n$); $\sum T$ – сумма всех колоний, выросших на чашках после экспозиции во всех повторностях; $C_{\text{ср}}$ – среднее значение количества микроорганизмов в исходной суспензии до облучения ($C_{\text{ср}} = \sum C/n$); $\sum C$ – сумма всех колоний, выросших на чашках до экспозиции во всех повторностях; n – число повторностей (чашек, использованных для исследования), одинаковое для контроля и образца.

При расчёте эффективности (%) биоцидного действия УФ-облучения использовали формулу (2):

$$\text{Эффективность} = 100 - V, \quad (2)$$

Эксперимент проводили на специально разработанном пилотном стенде (рис. 1), состоящем из двух баков объёмом 1 м³ каждый; двух УФ-установок DUV-1-87-N (соединённых последовательно и оснащённых заводскими пробоотборниками), обеспечивающих УФ-дозу более 30 мДж/см² для расхода воды 1 м³/ч при УФ-пропускании не ниже 85%

на 1 см²; перекачивающего насоса производительностью 1 м³/ч; системы шлангов и запорной арматуры. Первый бак, оснащённый мешалкой, использовали для накопления и приготовления исходной воды, а второй бак – для накопления обеззараженной воды. Последовательное подключение двух УФ-установок DUV-1-87-N увеличивало УФ-дозу в два раза. Для измерения коэффициента УФ-пропускания обрабатываемой воды использовался УФ-фотометр (тауметр) Real UV254 Field Meter производства RealTech (Канада). Отбор проб производили в трёх точках: из пробоотборника на входе в первую УФ-установку, из пробоотборников на входе и на выходе из второй УФ-установки.

Стенд был собран в соответствии со схемой (рис. 2). Перед началом исследований баки и УФ-установки промывали, опорожняли и высушивали, задвижки, пробоотборные краны закрывали. Перед отбором проб краны для отбора проб обрабатывали открытым пламенем, выполняли слив в течение 3–5 мин для исключения застоя загрязнённой воды, насос выключали. В первый бак с мешалкой через открытый верхний люк гибким шлангом заливали 600 л водопроводной воды из системы централизованного питьевого водоснабжения и заполняли водой УФ-установки. После заполнения стенда на два часа включали мешалку для удаления свободного хлора из воды исходного бака,

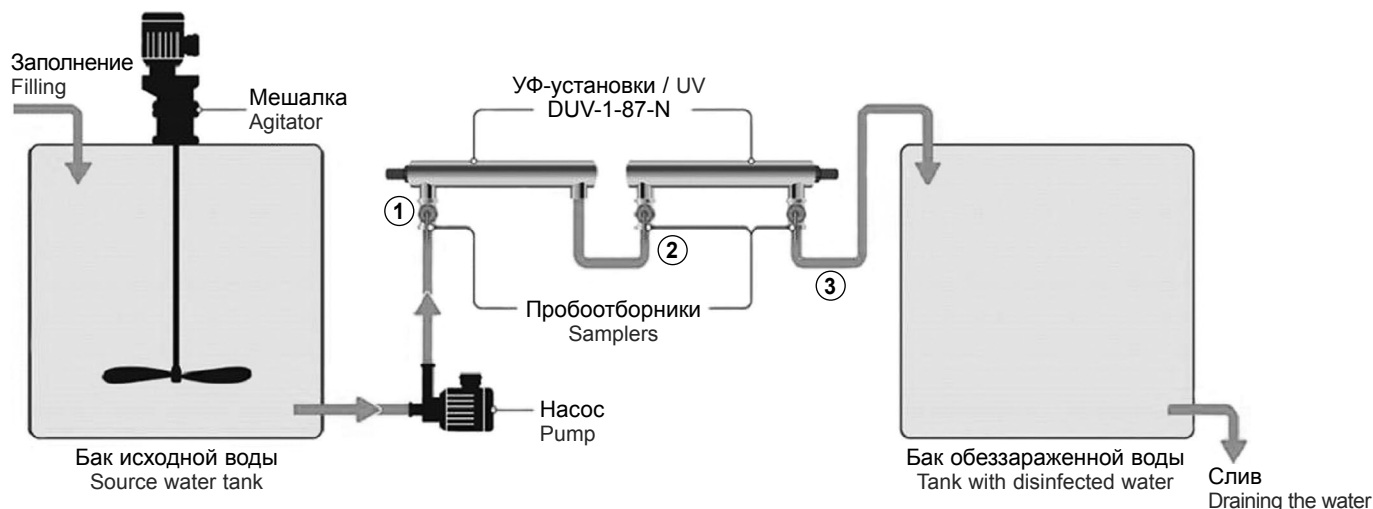


Рис. 2. Схема экспериментального стенда с точками отбора (1, 2, 3).

Fig. 2. The scheme of the experimental stand with selection points (1, 2, 3).

Таблица 2 / Table 2

Результаты микробиологического исследования сточной воды с бактериальным загрязнением до и после УФ-облучения

Results of microbiological examination of wastewater with bacterial contamination after passing through an experimental stand

Микроорганизм Microorganism	Этап исследования Research stage	Точка 1 / Point 1 до УФО / before UV		Точка 2 / Point 2 после УФО 1 / after UV 1		Точка 3 / Point 3 после УФО 2 / after UV 2	
		Концентрация микроорганизма, КОЕ/100 мл Concentration of the microorganism, CFU/mL	% эффективности efficiency, %	Концентрация микроорганизма, КОЕ/100 мл Concentration of the microorganism, CFU/mL	% эффективности efficiency, %	Концентрация микроорганизма, КОЕ/100 мл Concentration of the microorganism, CFU/mL	% эффективности efficiency, %
<i>Escherichia coli</i>	1-я серия / 1 st episode	$3.3 \cdot 10^{10}$	0	268 ± 11.05	99.99999	30 ± 1.2	99.99999
	2-я серия / 2 nd episode	$6.7 \cdot 10^{10}$	0	14 ± 0.3	99.99999	0	100
	3-я серия / 3 rd episode	$3.3 \cdot 10^{10}$	0	27 ± 1.1	99.99999	14 ± 0.2	99.99999
	После дезинфекции After disinfection	0	—	0	—	0	—
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1-я серия / 1 st episode	$1 \cdot 10^{10}$	0	18 ± 1.4	99.99999	6 ± 0.2	99.99999
	2-я серия / 2 nd episode	$7 \cdot 10^{10}$	0	24 ± 1.1	99.99999	1 ± 0.1	99.99999
	3-я серия / 3 rd episode	$3.3 \cdot 10^{10}$	0	12 ± 0.1	99.99999	2 ± 0.1	99.99999
	После дезинфекции After disinfection	0	—	0	—	0	—
<i>Klebsiella oxytoca</i>	1-я серия / 1 st episode	$3.3 \cdot 10^{10}$	0	47 ± 3.2	99.99999	14 ± 0.7	99.99999
	2-я серия / 2 nd episode	$3.3 \cdot 10^{10}$	0	0	100	0	100
	3-я серия / 3 rd episode	$6.6 \cdot 10^{10}$	0	33 ± 2.4	99.99999	2 ± 0.1	99.99999
	После дезинфекции After disinfection	0	—	0	—	0	—
<i>Salmonella enterica</i>	1-я серия / 1 st episode	$1.0 \cdot 10^8$	0	34 ± 1.3	99.99999	4 ± 0.1	99.99999
	2-я серия / 2 nd episode	$7 \cdot 10^8$	0	85 ± 2.2	99.99999	40 ± 2.3	99.99999
	3-я серия / 3 rd episode	$3.3 \cdot 10^8$	0	82 ± 4.1	99.99999	22 ± 1.2	99.99999
	После дезинфекции After disinfection	0	—	0	—	0	—
<i>Enterococcus faecalis</i>	1-я серия / 1 st episode	$3.7 \cdot 10^{10}$	0	60 ± 3.1	99.99999	46 ± 0.4	99.99999
	2-я серия / 2 nd episode	$1 \cdot 10^{10}$	0	59 ± 2.4	99.99999	4 ± 0.2	99.99999
	3-я серия / 3 rd episode	$7 \cdot 10^{10}$	0	100 ± 5.2	99.99999	0	100
	После дезинфекции After disinfection	0	—	0	—	0	—
<i>Enterococcus faecium</i>	1-я серия / 1 st episode	$3.3 \cdot 10^{10}$	0	30 ± 2.1	99.99999	0	100
	2-я серия / 2 nd episode	$4 \cdot 10^{10}$	0	7 ± 0.1	99.99999	0	100
	3-я серия / 3 rd episode	$3.3 \cdot 10^{10}$	0	0	100	0	100
	После дезинфекции After disinfection	0	—	0	—	0	—
<i>Acinetobacter</i> spp.	1-я серия / 1 st episode	$3 \cdot 10^{10}$	0	0	100	0	100
	2-я серия / 2 nd episode	$3.7 \cdot 10^{10}$	0	11 ± 0.2	99.99999	0	100
	3-я серия / 3 rd episode	$3.7 \cdot 10^{10}$	0	11 ± 0.1	99.99999	0	100
	После дезинфекции After disinfection	0	—	0	—	0	—
<i>Geobacillus stearothermophilus</i>	1-я серия / 1 st episode	$3 \cdot 10^8$	0	0	100	0	100
	2-я серия / 2 nd episode	$3.3 \cdot 10^8$	0	4 ± 0.1	99.99999	0	100
	3-я серия / 3 rd episode	$3.3 \cdot 10^8$	0	0	100	0	100
	После дезинфекции After disinfection	0	—	0	—	0	—

Таблица 3 / Table 3

Результаты микробиологического исследования сточной воды с вирусным загрязнением до и после УФ-облучения
Results of microbiological examination of wastewater with viral contamination after passing through an experimental stand

Возбудитель The pathogen	Этап исследования Research stage	Концентрация возбудителя (БОЕ/100 мл, обнаружен / не обнаружен) The concentration of the pathogen (plaque-forming units (PFU)/100 ml, detected / not detected)		
		Точка 1 / Point 1 до УФО / before UV	Точка 2 / Point 2 после УФО 1 / after UV 1	Точка 3 / Point 3 после УФО 2 / after UV 2
Колифаги Coliphages	1-я серия / 1 st episode	7.2 · 10 ⁶	0	0
	2-я серия / 2 nd episode	7.3 · 10 ⁶	0	0
	3-я серия / 3 rd episode	7.5 · 10 ⁶	0	0
	После дезинфекции / After disinfection	0	0	0
Вирус полиомиелита Polio virus	1-я серия / 1 st episode	Обнаружен / Detected	Не обнаружен Not detected	Не обнаружен Not detected
	2-я серия / 2 nd episode	Обнаружен / Detected	Не обнаружен Not detected	Не обнаружен Not detected
	3-я серия / 3 rd episode	Обнаружен / Detected	Не обнаружен Not detected	Не обнаружен Not detected
	После дезинфекции / After disinfection	Не обнаружен Not detected	Не обнаружен Not detected	Не обнаружен Not detected

тауметром измеряли УФ-пропускание водопроводной воды, а затем добавляли соли для создания синтетической сточной воды. Далее в бак вносили суспензию исследуемых штаммов микроорганизмов, после чего воду в экспериментальном водоёме перемешивали мешалкой в течение 30 мин. Тауметром повторно измеряли УФ-пропускание воды. Через 15 мин после внесения микроорганизмов и включения мешалки запускали УФ-установки и прогревали УФ-лампы в течение 15 мин. Далее включали перекачивающий насос и открывали все пробоотборники на проток. Через 10 мин работы насоса отбирали первую серию проб из всех трёх точек. Пробы отбирали в трёх повторностях в трёх сериях при достижении объёма исходной воды в первом баке 500; 300 и 100 л. В каждой серии проб измерялся коэффициент УФ-пропускания синтетической сточной воды с имитацией микробного загрязнения. После отбора третьей серии проб пробоотборники закрывали, остаток воды из первого бака перекачивали во второй бак. Затем отключали УФ-установки и дезинфицировали оба бака, обеззараживали воздух, поверхности и комплектующие стенда химическим (с применением хлорсодержащих дезинфицирующих средств в концентрации для микобактерий и вирусов методами орошения, протирания и контактным) и физическим (открытый УФ-облучатель СВЕТОЛИТ 50) методами обеззараживания.

Стенд подготовлен и предоставлен инженерной группой НПО «ЛИТ». Эксперимент проведён на территории ФГБУ «ЦСП» ФМБА России в сопровождении сотрудников НПО «ЛИТ». В исследовании использовали следующие питательные среды: Эндо, энтерококкагар, висмут-сульфит агар, хромогенную среду для выращивания сальмонелл, хромокульт агар, кровяной агар для бруцелл с добавлением 5% дефибринированной бараньей крови. Для определения микроорганизмов использовали методы прямого посева и мембранной фильтрации, для определения обратимых L-форм бактерий – титрационный метод. Концентрирование вирусных частиц из отобранных проб объёмом 10 л и бактерий из объёма 1 л выполняли на ионообменной смоле. Качественное определение вируса полиомиелита проводили на перевиваемых культурах клеток Нер-2 с подтверждением до второго пассажа.

В местах отбора проб располагались краны. Точки отбора проб: 1 – до первой установки УФО; 2 – после первой установки УФО 1; 3 – после УФО 2 (см. рис. 2).

Результаты

Концентрацию микроорганизмов в точке 1 считали исходной. Эффективность обеззараживания воды в точках 2 и 3 считали по отношению к исходной концентрации микроорганизмов. Измеренный коэффициент УФ-пропускания во всех точках контроля составил 88%. Результаты исследования после пропускания 100 л (1-я серия), 300 л (2-я серия) и 500 л (3-я серия) синтетической сточной воды с имитацией микробного загрязнения представлены в табл. 2.

Исходная концентрация *Escherichia coli* была на уровне $n \cdot 10^{10}$ КОЕ/100 мл во всех сериях исследования. Эффективность обеззараживания с применением установки УФ-облучения в точке 2 составила 99,99999%, в точке 3 – от 99,99999 до 100%. Концентрация *Klebsiella pneumoniae* в точке 1 составила $n \cdot 10^{10}$ КОЕ/100 мл во всех сериях эксперимента. После УФ-облучения эффективность обеззараживания в точке 2 установлена на уровне 99,99999% во всех сериях, после второй установки УФ-облучения в точке 3 выявлены единичные клетки *Klebsiella pneumoniae*, при этом эффективность обеззараживания в отношении этого микроорганизма составила 99,99999%. Исходное заражение воды *Klebsiella oxytoca* было на уровне $n \cdot 10^{10}$ КОЕ/100 мл во всех сериях эксперимента. После УФ-облучения эффективность обеззараживания в точках 2 и 3 составила от 99,99999 до 100%. Концентрация *Salmonella enterica* в исходной воде составила $n \cdot 10^8$ КОЕ/100 мл во всех сериях эксперимента. Эффективность УФ-обеззараживания в точках 2 и 3 оценена на уровне 99,99999%. Исходная концентрация *Enterococcus faecalis* была на уровне $n \cdot 10^{10}$ КОЕ/100 мл во всех сериях эксперимента. После УФ-облучения эффективность обеззараживания сточной воды в точках 2 и 3 составила от 99,99999 до 100%. До обеззараживания *Enterococcus faecium* содержался в сточной воде в концентрации $n \cdot 10^{10}$ КОЕ/100 мл во всех сериях исследования. После применения установки УФ-облучения эффективность обеззараживания в отношении *Enterococcus faecium* в точке 2 составила от 99,99999 до 100%, в точке 3 – 100%. Аналогичная картина наблюдалась в отношении *Acinetobacter* spp. и *Geobacillus stearothermophilus*.

Результаты исследования после пропускания 100 л (1-я серия), 300 л (2-я серия) и 500 л (3-я серия) синтетической сточной воды с имитацией вирусного загрязнения представлены в табл. 3. Колифаги определяли количественно, вирус полиомиелита – качественно.

Исходная концентрация колифага в точке 1 составила $7,2 \cdot 10^6$ БОЕ/100 мл, вируса полиомиелита — $7,5 \lg$ ТЦД₅₀/мл. После обеззараживания с применением установки УФ-облучения в точках 2 и 3 во всех трёх сериях достигнута 100%-я инактивация колифага и вируса полиомиелита.

По завершении эксперимента была проведена заключительная дезинфекция используемой воды хлорсодержащими препаратами. Затем сутки вода отстаивалась, выполняли замеры остаточного хлора и контрольные посевы бактерий титрационным методом для определения жизнеспособности. При отсутствии микробного загрязнения и остаточного хлора дезинфекцию считали удовлетворительной и обеззараженную воду утилизировали.

Оценка заключительной дезинфекции была необходима, поскольку в исследованиях использовали высоковирулентные штаммы потенциально патогенных и патогенных микроорганизмов, выделенных из сточных вод очистных сооружений, следовательно, при недостаточном обеззараживании и спуске в канализацию стоки могли представлять эпидемиологическую опасность.

Обсуждение

В результате собственных исследований [16] было установлено, что уровень контаминации микроорганизмами на очистных станциях аэрации после аэротенков (до блока УФ-обеззараживания) составляет $n \cdot 10^5$ – 10^6 КОЕ/100 мл, поэтому в эксперименте уровень контаминации воды микроорганизмами был выбран значительно выше. В результате эксперимента установлено, что УФ-установка DUV-1-87-N, обеспечивающая УФ-дозу не менее 30 мДж/см², при изначальноном уровне контаминации воды бактериями 10^9 – 10^{10} КОЕ/100 мл позволяет снизить уровень бактериального загрязнения до единичных клеток или полного отсутствия жизнеспособных бактериальных клеток, при этом обеспечивая эффективность обеззараживания от 99,99999 до 100%. Выявлена 100%-я эффективность обеззараживания и в от-

ношении загрязнителей вирусной природы при исходной концентрации колифага $8,1 \cdot 10^6$ БОЕ/100 мл и вакцинного штамма вируса полиомиелита Sabin 1 — $7,5 \lg$ ТЦД₅₀/мл.

Таким образом, использование УФ-дозы не менее 30 мДж/см² для обеззараживания сточной воды с высокой степенью бактериального и вирусного загрязнения обеспечивает достижение уровня контаминации микроорганизмами, соответствующего требованиям санитарно-эпидемиологического законодательства Российской Федерации в отношении обеззараженных сточных вод, допускаемых к сбросу в поверхностные водные объекты.

Заключение

Минимальное значение УФ-дозы для обеззараживания сточных вод, согласно МУ 2.1.5.732–99⁵ и МУК 4.3.2030–05⁶, составляет 30 мДж/см². Эксперимент подтвердил высокую эффективность УФ-обеззараживания (свыше 99,99999%) воды даже при высокой контаминации санитарно-показательными, патогенными микроорганизмами (10^9 – 10^{10} КОЕ/100 мл) и также вирусами при использовании оборудования производства компании НПО «ЛИТ», обеспечивающего УФ-дозу не менее 30 мДж/см² для экспериментального расхода в 1 м³/ч и УФ-пропускания воды 88%. Эффективность достигнута не только в отношении музейных штаммов вирусов, патогенных и потенциально патогенных бактерий, но и бактериальных изолятов, выделенных из сточных вод мегаполиса, что подтверждает эффективность применения УФ-облучения для обеззараживания сточных вод при бактериальном и вирусном их загрязнении [17, 18].

⁵ МУ 2.1.5.732–99 Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод ультрафиолетовым излучением. Методические указания. М., 1999.

⁶ МУК 4.3.2030–05 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевых и сточных вод УФ-облучением: методические указания. М., 2006.

Литература

1. Пай Г.В., Ракитина Д.В., Панькова М.А., Федец З.Е., Мания Т.Р., Загайнова А.В. Сравнительная оценка патогенного потенциала энтерококков, выделенных от здоровых людей и из сточных вод. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(12): 1272–80. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1272-1280> <https://elibrary.ru/knsjpx>
2. Загорский В.А., Козлов М.Н., Данилович Д.А. Методы обеззараживания сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 1998; (2): 2–5.
3. Волков С.В., Левченко Д.А., Ткачев А.А. Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением. Часть 2. *Экология производства*. 2013; (7): 51–5.
4. Костюченко С.В., Баранов В.Л., Ткачев А.А. Ультрафиолетовое излучение — современный способ обеззараживания сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2015; (3): 36–42. <https://elibrary.ru/tjwoyb>
5. Бивалькевич А.И., Смирнов А.Д. Ультрафиолетовая технология — самый актуальный способ обеззараживания сточных вод. *Водоснабжение и канализация*. 2015; (1–2): 56–60.
6. Ткачев А.А., Пискарева В.М. Так ли выгодно хлорировать сточную воду? Сравнение эксплуатационных затрат на хлорирование и УФ-обеззараживание. *Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения*. 2018; (6): 38–43.
7. Ткачев А.А., Домнин К.В., Архипова Е.Е., Киреев Г.А., Долусов А.А. УФ-обеззараживание сточных вод на городских сооружениях Хабаровска. *Вода Magazine*. 2017; (1): 18–21. <https://elibrary.ru/yghqqr>
8. Похил Ю.Н., Новошинцев В.Н., Камалетдинов А.Р., Костюченко С.В., Ткачев А.А., Смирнов А.Д. Применение УФ-обеззараживания в системах водоснабжения и водоотведения г. Новосибирска. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2019; (4): 32–5. <https://elibrary.ru/rkogvj>
9. Пономаренко А.М., Власов Д.Ю., Басов Н.С., Новиков С.Н., Кудрявцев Н.Н., Костюченко С.В. Опыт внедрения УФ-обеззараживания сточных вод на действующих сверхкрупных очистных сооружениях. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2021; (1): 49–55. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.01.06> <https://elibrary.ru/btviwm>
10. Кармазинов Ф.В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Храменков С.В., ред. *Ультрафиолетовые технологии в современном мире*. М.: Интеллект; 2012.
11. Рахманин Ю.А., Загайнова А.В., Артемова Т.З., Гипп Е.К., Кузнецова К.Ю., Курбатова И.В. и др. Определение унифицированных доз ультрафиолетового обеззараживания воды от бактериального, вирусного и паразитарного загрязнения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(12): 1342–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1342-1348> <https://elibrary.ru/nuzein>
12. Самойлова К.И., Тратникова А.А. Обеззараживание сточных вод ультрафиолетовым излучением. *Colloquium-Journal*. 2019; (2–2): 59–60. <https://elibrary.ru/yvdgqh>
13. Костюченко С.В., Ткачев А.А., Фроликова Т.Н. УФ-технологии для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей: принципы и возможности. *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. 2020; 19(5): 112–9. <https://doi.org/10.31631/20733046-2020-19-5-112-119> <https://elibrary.ru/mhogam>
14. Пономарева Н.Е., Беленов В.Н., Антосик С.Н. Исследование возможности регулирования потока излучения источника установок для обеззараживания воды УФ-излучением за счёт изменения подводимого напряжения. В кн.: *Современные научные исследования: проблемы и перспективы. Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции*. Киров; 2024: 246–9. <https://elibrary.ru/bvtnrg>
15. Заболотный В.Н., Вендин С.В. Применение УФ-излучения для обеззараживания воды. В сборнике: *Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке. Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием*. Майский; 2023; 178–81. <https://elibrary.ru/qlqgxn>
16. Мандыбура А.В., Филина О.А. Сравнительная характеристика влияния методов обеззараживания воды в детских плавательных бассейнах на самочувствие посетителей. *Forcipe*. 2020; 3(S1): 566–7. <https://elibrary.ru/oslghf>
17. Похил Ю.Н., Новошинцев В.Н., Костюченко С.В., Волков С.В., Ткачев А.А. Комплексное решение проблем обеззараживания природных и сточных вод в современных условиях в масштабах г. Новосибирска. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2024; (4): 5–10. <https://doi.org/10.35776/VST.2024.04.01>
18. Гурьянов Н.М., Мизгирев Д.С. Источники КФ — излучения в судовых системах очистки и обеззараживания воды. В кн.: *Проблемы экологии Волжского бассейна. Труды 8-й всероссийской научной конференции*. Нижний Новгород; 2023.

References

1. Pay G.V., Rakitina D.V., Pankova M.A., Fedets Z.E., Maniya T.R., Zagaynova A.V. Pathogenic potential of enterococcus isolated from healthy people and wastewater. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(12): 1272–80. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1272-1280> <https://elibrary.ru/ksnjpx> (in Russian)
2. Zagorskii V.A., Kozlov M.N., Danilovich D.A. Methods of wastewater disinfection. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 1998; (2): 2–5. (in Russian)
3. Volkov S.V., Levchenko D.A., Tkachev A.A. Water disinfection with ultraviolet radiation. Part 2. *Ekologiya proizvodstva*. 2013; (7): 51–5. (in Russian)
4. Kostuchenko S.V., Baranov V.L., Tkachev A.A. Ultraviolet radiation - an advanced method of wastewater disinfection. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2015; (3): 36–42. <https://elibrary.ru/tjwoyb> (in Russian)
5. Bival'kevich A.I., Smirnov A.D. Ultraviolet technology is the most relevant method of wastewater disinfection. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiya*. 2015; (1–2): 56–60. (in Russian)
6. Tkachev A.A., Piskareva V.M. Is it profitable to chlorinate wastewater? Comparison of operating costs for chlorination and UV disinfection. *Nauchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2018; (6): 38–43. (in Russian)
7. Tkachev A., Domnin K., Arkhipova E., Kireev G., Dodusov A. UV disinfection at WWTP of city Khabarovsk. *Voda Magazine*. 2017; (1): 18–21. <https://elibrary.ru/yghqor> (in Russian)
8. Pokhil Yu.N., Novoshintsev V.N., Kamaletdinov A.R., Kostuchenko S.V., Tkachev A.A., Smirnov A.D. Use of UV-disinfection in water supply and wastewater disposal systems of Novosibirsk. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2019; (4): 32–5. <https://elibrary.ru/rkogvj> (in Russian)
9. Ponomarenko A.M., Vlasov D.Yu., Basov N.S., Novikov S.N., Kudriyats N.N., Kostuchenko S.V. Experience in introducing UV disinfection of effluents at operating extremely large-scale treatment facilities. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2021; (1): 49–55. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.01.06> <https://elibrary.ru/btviwm> (in Russian)
10. Karmazinov F.V., Kostuchenko S.V., Kudriyats N.N., Khramenkov S.V., eds. *Ultraviolet Technologies in the Modern World [Ultravioletovye tekhnologii v sovremennom mire]*. Dolgoprudny: Intellect; 2012. (in Russian)
11. Rakhmanin Yu.A., Zagaynova A.V., Artemova T.Z., Gipp E.K., Kuznetsova K.Yu., Kurbatova I.V., et al. Determination of standardized doses of ultraviolet disinfection of water from bacterial, viral and parasitic contamination. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(12): 1342–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1342-1348> <https://elibrary.ru/nuzein> (in Russian)
12. Samoilov K.I., Tratnikova A.A. Ultraviolet radiation disinfection. *Colloquium-Journal*. 2019; (2–2): 59–60. <https://elibrary.ru/yvdgqh> (in Russian)
13. Kostuchenko S.V., Tkachev A.A., Frolikova T.N. UV-technologies for disinfection of water, air and surfaces: principles and possibilities. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2020; 19(5): 112–9. <https://doi.org/10.31631/20733046-2020-19-5-112-119> <https://elibrary.ru/mhogam> (in Russian)
14. Ponomareva N., Belenov V., Antosik S. Study of the possibility of regulating the radiation flux of the source of installations for water disinfection with UV radiation by changing the supply voltage. In: *Modern Scientific Research: Problems and Prospects. Collection of Materials of the VII International Scientific and Practical Conference [Sovremennye nauchnye issledovaniya: problemy i perspektivy. Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii]*. Kirov; 2024: 246–9. <https://elibrary.ru/bvtmrr> (in Russian)
15. Zabolotny V.N., Vendin S.V. The use of UV radiation for water disinfection. In: *Actual Problems of Agricultural Engineering in the 21st century. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with International Participation [Aktual'nye problemy agroinzhenerii v XXI veke. Materialy Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Maikskii; 2023: 178–81. <https://elibrary.ru/qlqgxn> (in Russian)
16. Mandybura A.V., Filina O.A. Comparative characteristics of the influence of water disinfection methods in children's swimming pools on the well-being of visitors. *Forcipe*. 2020; 3(S1): 566–7. <https://elibrary.ru/oslghf> (in Russian)
17. Pokhil Yu.N., Novoshintsev V.N., Kostuchenko S.V., Volkov S.V., Tkachev A.A. Integrated solution to the problems of disinfection of natural and waste water in modern conditions on the scale of Novosibirsk. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2024; (4): 5–10. <https://doi.org/10.35776/VST.2024.04.01> (in Russian)
18. Guryanov N.M., Mizgirev D.S. Sources of CF radiation in ship water purification and disinfection systems. In: *Problems of Ecology of the Volga Basin. Proceedings of the 8th All-Russian Scientific Conference [Problemy ekologii Volzhskogo basseina. Trudy 8-i vserossiiskoi nauchnoi konferentsii]*. Nizhny Novgorod; 2023. (in Russian)

Сведения об авторах

Загайнова Анжелика Владимировна, канд. биол. наук, зав. лаб. микробиологии и паразитологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: AZagaynova@cspmrz.ru

Курбатова Ирина Валентиновна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. микробиологии и паразитологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: IKurbatova@cspmrz.ru

Лукашина Мария Владимировна, мл. сотр. лаб. микробиологии и паразитологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: TManiya@cspmrz.ru

Юдин Сергей Михайлович, доктор мед. наук, генеральный директор ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия

Болекхан Василий Николаевич, доктор мед. наук, директор Федерального информационно-аналитического центра мониторинга медико-биологических рисков ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: vbolekhan@cspfmbr.ru

Костюченко Сергей Владимирович, канд. физ.-мат. наук, председатель совета директоров ООО НПО «ЛИТ», 141701, Долгопрудный, Россия. E-mail: lit@lit.ru

Баранов Виктор Львович, гл. специалист, ООО НПО «ЛИТ», 141701, Долгопрудный, Россия. E-mail: baranov@lit-uv.ru

Ткачев Андрей Анатольевич, зам. генерального директора по маркетингу, ООО НПО «ЛИТ», 141701, Долгопрудный, Россия. E-mail: tkachev@lit-uv.ru

Королева Наталья Николаевна, гл. специалист, ООО НПО «ЛИТ», 141701, Долгопрудный, Россия. E-mail: koroleva@lit-uv.ru

Information about the authors

Anzhelika V. Zagaynova, PD (Biology), Head of the Laboratory of Microbiology and Parasitology of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4772-9686> E-mail: AZagaynova@cspmrz.ru

Irina V. Kurbatova, PhD (Biology), senior researcher at the Laboratory of Microbiology and Parasitology of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3152-4862> E-mail: IKurbatova@cspmrz.ru

Maria V. Lukashina, junior researcher of the Laboratory of Microbiology and Parasitology of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: TManiya@cspmrz.ru

Sergey M. Yudin, DSc (Medicine), General Director of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7942-8004>

Vasily N. Bolekhan, DSc (Medicine), Director of the Federal Information and Analytical Center for Monitoring of Biomedical Risks of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2627-5534> E-mail: vbolekhan@cspfmbr.ru

Sergey V. Kostyuchenko, PhD (Physics & Mathematics), chairman of the Board of Directors, Scientific Production Association “LIT” LLC, Dolgoprudny, 141701, Russian Federation. E-mail: lit@lit.ru

Viktor L. Baranov, chief specialist, Scientific Production Association “LIT” LLC, Dolgoprudny, 141701, Russian Federation. E-mail: baranov@lit-uv.ru

Andrey A. Tkachev, Deputy General Manager for Marketing, Scientific Production Association “LIT” LLC, Dolgoprudny, 141701, Russian Federation. E-mail: tkachev@lit-uv.ru

Natalya N. Koroleva, chief specialist, Scientific Production Association “LIT” LLC, Dolgoprudny, 141701, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0002-7121-5693> E-mail: koroleva@lit-uv.ru