

## Гигиена окружающей среды и населённых мест

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Рахманин Ю.А.<sup>1</sup>, Загайнова А.В.<sup>1</sup>, Артемова Т.З.<sup>1</sup>, Гипп Е.К.<sup>1</sup>, Кузнецова К.Ю.<sup>1</sup>, Курбатова И.В.<sup>1</sup>, Грицук О.В.<sup>1</sup>, Новожилов К.А.<sup>1</sup>, Асланова М.М.<sup>1</sup>, Мания Т.Р.<sup>1</sup>, Федец З.Е.<sup>1</sup>, Недачин А.Е.<sup>1</sup>, Дмитриева Р.А.<sup>1</sup>, Доскина Т.В.<sup>1</sup>, Абрамов И.А.<sup>1</sup>, Журавлев П.В.<sup>2</sup>

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ ДОЗ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ ОТ БАКТЕРИАЛЬНОГО, ВИРУСНОГО И ПАЗАРИТАРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина, 119991, Москва;

<sup>2</sup>ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, 344000, Ростов-на-Дону

**Введение.** Критерии, предлагаемые для санитарно-бактериологической оценки качества водопроводной воды, должны гарантировать её эпидемическую безопасность. В условиях интенсивного бактериального загрязнения водоёмов особая роль принадлежит барьерной функции водоочистных сооружений в отношении инфекционных агентов. Общим качеством микроорганизмов является выраженная устойчивость в водной среде, прежде всего устойчивость к ряду хлорсодержащих дезинфицирующих средств, что гарантируют сохранение популяции в питьевой воде, прошедшей систему водоподготовки. Следовательно, необходимо рассмотреть другие возможные пути обеззараживания, например, ультрафиолетовое облучение.

**Цель работы.** Определение эффективной дозы ультрафиолетового (УФ) обеззараживания в отношении бактериального, вирусного и паразитарного загрязнения питьевой воды.

**Материал и методы.** В качестве модельной воды для проведения исследований использовали водопроводную воду. Изучена эффективность УФ-облучения дозами 25; 40; 60 мДж/см<sup>2</sup> в отношении микроорганизмов.

**Результаты.** В ходе работы установлено, что технология УФ-обеззараживания дозой не менее 25 мДж/см<sup>2</sup> может быть рекомендована как метод обеззараживания при использовании совместно с хлорированием.

**Заключение.** В технологию водоподготовки доза не менее 25 мДж/см<sup>2</sup> УФ-облучения может быть рекомендована как метод обеззараживания воды в случае микробного загрязнения бактериями и вирусами в концентрации, не превышающей  $n \cdot 10^2$  клеток/вирионов в 100 мл, а при концентрации микробиологического загрязнения  $n \cdot 10^3$  клеток/вирионов в 100 мл воды использование УФ-обеззараживание можно рекомендовать только совместно с хлорированием и с обеспечением показателей по остаточному хлору в распределительной сети перед подачей потребителю. Представленная схема позволит повысить барьерную роль сооружений водоподготовки относительно вирусного и бактериального загрязнения, обеспечить пролонгированный эффект обеззараживания, способствующий подавлению роста бактерий в разводящих сетях, и ограничит уровень паразитарного загрязнения воды на этапе водоподготовки.

**Ключевые слова:** питьевая вода; бактерии; вирусы; цисты простейших; яйца гельминтов; нормативы; показатели; дозы УФО; ДНК.

**Для цитирования:** Рахманин Ю.А., Загайнова А.В., Артемова Т.З., Гипп Е.К., Кузнецова К.Ю., Курбатова И.В., Грицук О.В., Новожилов К.А., Асланова М.М., Мания Т.Р., Федец З.Е., Недачин А.Е., Дмитриева Р.А., Доскина Т.В., Абрамов И.А., Журавлев П.В. Определение унифицированных доз ультрафиолетового обеззараживания воды от бактериального, вирусного и паразитарного загрязнения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(12): 1342-1348. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1342-1348>

**Для корреспонденции:** Загайнова Анжелика Владимировна, кандидат биол. наук, заведующая лабораторией санитарной бактериологии, вирусологии и паразитологии ФГБУ «ЦСП» Минздрава России. E-mail: [angelikaangel@mail.ru](mailto:angelikaangel@mail.ru)

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Участие авторов:** концепция и дизайн исследования – Загайнова А.В., Артемова Т.З., Кузнецова К.Ю.; сбор и обработка материала – Загайнова А.В., Артемова Т.З., Гипп Е.К., Кузнецова К.Ю., Курбатова И.В., Грицук О.В., Новожилов К.А., Асланова М.М., Мания Т.Р., Федец З.Е., Недачин А.Е., Дмитриева Р.А., Доскина Т.В., Абрамов И.А., Журавлев П.В.; статистическая обработка – Дмитриева Р.А., Доскина Т.В.; написание текста – Загайнова А.В., Артемова Т.З., Кузнецова К.Ю., Недачин А.Е., Дмитриева Р.А., Доскина Т.В., Журавлев П.В., Рахманин Ю.А.; редактирование – Рахманин Ю.А.

Поступила 02.03.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: декабрь 2019

Rakhmanin Yu.A.<sup>1</sup>, Zagainova A.V.<sup>1</sup>, Artemova T.Z.<sup>1</sup>, Gipp E.K.<sup>1</sup>, Kuznetsova K.Yu.<sup>1</sup>, Kurbatova I.V.<sup>1</sup>, Gritsyuk O.V.<sup>1</sup>, Novozhilov K.A.<sup>1</sup>, Aslanova M.M.<sup>1</sup>, Maniya T.R.<sup>1</sup>, Fedets Z.E.<sup>1</sup>, Nedachin A.E.<sup>1</sup>, Dmitrieva R.A.<sup>1</sup>, Doskina T.V.<sup>1</sup>, Abramov I.A.<sup>1</sup>, Zhuravlev P.V.<sup>2</sup>

DETERMINATION OF STANDARDIZED DOSES OF ULTRAVIOLET DISINFECTION OF WATER FROM BACTERIAL, VIRAL AND PARASITIC CONTAMINATION

<sup>1</sup>Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119991, Russian Federation;

<sup>2</sup>Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

**Introduction.** The proposed criteria for the sanitary-bacteriological assessment of the quality of tap water must ensure its epidemic safety. In conditions of intensive bacterial contamination of water bodies, a special role is played by the barrier function of water treatment plants in relation to infectious agents. The overall quality of microorganisms

is the pronounced resistance in the aquatic environment, primarily resistance to a number of chlorine-containing disinfectants, which guarantee the preservation of the population in drinking water undergone a water treatment system. Therefore, it is necessary to consider other possible ways of disinfection, such as ultraviolet irradiation.

Determination of the effective dose of ultraviolet (UV) disinfection against bacterial, viral and parasitic contamination of drinking water.

**Material and methods.** Tap water was used as model water for research. The effectiveness of UV irradiation with doses of 25, 40, 60 mJ/cm<sup>2</sup> against microorganisms was studied.

**Results.** In the course of the work, it was established that the UV disinfection technology with a dose of at least 25 mJ/cm<sup>2</sup> can be recommended as a disinfection method when used in conjunction with chlorination.

**Conclusion.** In water treatment technology, a dose of at least 25 mJ/cm<sup>2</sup> of UV irradiation can be recommended as a method of disinfecting water in case of microbial contamination by bacteria and viruses at a concentration not exceeding  $n:10^2$  cells/virions in 100 ml, and at a concentration of microbiological contamination  $n:10^3$  cells/virions in 100 ml of water; the use of UV disinfection can be recommended only in conjunction with chlorination and with the provision of indices on the residual chlorine in the distribution network before serving to the consumer. The presented scheme will increase the barrier role of water treatment facilities with respect to viral and bacterial contamination, provide a prolonged decontamination effect, contributing to the suppression of bacterial growth in breeding nets and limit the level of parasitic water contamination during water treatment.

**Key words:** drinking water; bacteria; viruses; protozoa cysts; helminth eggs; standards; indicEs; UV dose; DNA.

**For citation:** Rakhmanin Yu.A., Zagainova A.V., Artemova T.Z., Gipp E.K., Kuznetsova K.Yu., Kurbatova I.V., Gritsyuk O.V., Novozhilov K.A., Aslanova M.M., Maniya T.R., Fedets Z.E., Nedachin A.E., Dmitrieva R.A., Doskina T.V., Abramov I.A., Zhuravlev P.V. 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): 1342-1348. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1342-1348>

**For correspondence:** Anzhelika V. Zagainova, MD, Ph.D., head of the laboratory of sanitary bacteriology, Virology and Parasitology Centre for Strategic Planning, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: [angelikaangel@mail.ru](mailto:angelikaangel@mail.ru)

**Information about the authors:** Rakhmanin Yu.A., <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014>

Zagainova A.V., <https://orcid.org/0000-0003-4772-9686>; Dmitrieva R.A., <https://orcid.org/0000-0002-9456-6421>

Doskina T.V., <https://orcid.org/0000-0002-8553-9982>; Nedachin A.E., <https://orcid.org/0000-0002-8432-5966>

Maksimkina T.N., <https://orcid.org/0000-0002-0867-9818>; Gipp E.K., <https://orcid.org/0000-0002-0544-8248>

Artemova T.Z., <https://orcid.org/0000-0002-0986-250X>; Abramov I.A., <https://orcid.org/0000-0002-7433-7728>

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

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

**Contribution:** Concept and design of the study – Zagainova A.V., Artemova T.Z., Kuznetsova K.Yu.; collection and processing of material – Zagainova A.V., Artemova T.Z., Gipp E.K., Kuznetsova K.Yu., Kurbatova I.V., Gritsyuk O.V., Novozhilov K.A., Aslanova M.M., Maniya T.R., Fedets Z.E., Nedachin A.E., Dmitrieva R.A., Doskina T.V., Abramov I.A., Zhuravlev P.V.; statistical processing – Dmitrieva R.A., Doskina T.V.; writing text – Zagainova A.V., Artemova T.Z., Kuznetsova K.Yu., Nedachin A.E., Dmitrieva R.A., Doskina T.V., Abramov I.A., Zhuravlev P.V., Rakhmanin Yu.A.; Editing – Rakhmanin Yu.A.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: March 02, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: December 2019

## Введение

Общее загрязнение водоёмов и наличие в их воде различных химических веществ способствует снижению эффективности барьерной функции водоочистных сооружений в отношении бактериальной контаминации. Чаще всего барьерная функция водоочистных сооружений нарушается в период максимальной нагрузки на них, например, в паводковый период [1].

Важным аспектом в распространении бактерий в водных объектах является их высокая адаптационная способность к существованию в различных условиях обитания, в том числе в водной среде. Способы выживания патогенных бактерий в значительной степени гарантируют сохранение популяции в питьевой воде, прошедшей систему водоподготовки [2, 3].

Под воздействием неблагоприятных факторов, в том числе хлора, микроорганизмы переходят в сублетальное состояние [4]. Установлена возможность восстановления жизнеспособности стрессированных клеток патогенных и потенциально патогенных бактерий в водной среде после обеззараживания [4, 5].

Процесс реактивации наиболее выражен у колиформных бактерий, в том числе сальмонелл, а также у синегнойных палочек, время их вторичного размножения составило 24 ч [5]. По данным Т.З. Артёмовой [2], реактивация колиформных бактерий, в том числе сальмонелл, а также синегнойных палочек наблюдалась при использовании как хлорсодержащих дезинфицирующих средств, так и фотодинамического обеззараживания.

Необходимо подчеркнуть, что использование хлорсодержащих агентов для обеззараживания водопроводной воды при нарушении технологии применения может приводить к возникновению злокачественных новообразований [4]. Поэтому следует применять альтернативные способы обеззараживания, например озонирование, ультрафиолетовое облучение и т. д. [6, 7].

Ультрафиолетовое излучение – это разновидность электромагнитного излучения (как и видимый свет), которое находится между фиолетовой границей видимого света и рентгеновским излучением. Таким образом, ультрафиолетовое излучение имеет достаточно широкий диапазон длин волн. Бактерицидное действие УФ-излучения основано на фотохимических реакциях, в результате которых происходят необратимые повреждения ДНК. Помимо ДНК ультрафиолет действует и на другие структуры клеток, в частности на РНК, клеточные мембраны и т. д. Наиболее эффективным инактивирующим действием обладает коротковолновое ультрафиолетовое излучение с длинами волн 200–295 нм (так называемый бактерицидный диапазон спектра). Излучение в этом диапазоне хорошо поглощается как пуриновыми, так и пиримидиновыми азотистыми основаниями ДНК, которая является основной мишенью при летальном и мутагенном действии УФ-излучения на биосистемы [8]. Нарушение синтеза ДНК-РНК (УФ-излучение вызывает димеризацию тимина в молекулах ДНК) приводит к накоплению мутаций и, в свою очередь, к замедлению темпов размножения бактерий и их отмиранию. Для обеззараживания в основном используется УФ-излучение с длиной волны 254 нм.

УФ-инактивация была впервые получена в 1892 г., однако исследование, создание и разработка устройств для её осуществления по-прежнему остаются актуальными [9–12]<sup>1-3</sup>.

<sup>1</sup> Руководство Р 4.2.26.43-10 «Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности».

<sup>2</sup> ГОСТ 31942-2012 (ISO 19458:2006) Вода. Отбор проб для микробиологического анализа.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.

Для оперативного санитарного и технологического контроля эффективности и надёжности обеззараживания воды ультрафиолетом, как и при хлорировании и озонировании, применяется определение бактерий кишечной палочки<sup>4,5</sup>. Их использование для контроля качества воды, обработанной ультрафиолетом, основывается на том, что основной вид этой группы бактерий *E. coli* обладает одним из самых больших коэффициентов сопротивляемости к этому типу воздействия в общем ряду энтеробактерий, в том числе и патогенных.

В мировой практике требования к минимальной дозе облучения варьируются в пределах от 16 до 40 мДж/см<sup>2</sup>. Минимальная доза, соответствующая российским нормативам<sup>6</sup>, – 16 мДж/см<sup>2</sup>. В соответствии с МУК 4.3.2030-05<sup>6,7</sup> данная доза применяется для обеззараживания воды из подземного источника I класса и питьевых вод. Считается, что такая вода характеризуется очень низким содержанием бактериального и вирусного загрязнения или его полным отсутствием. Для обеззараживания воды из подземного источника II и III классов и поверхностных источников установлена минимальная доза в 25 мДж/см<sup>2</sup>, являющаяся достаточной для инактивации колифагов на 99,9% (Приложение 6 МУК 4.3.2030-05).

## Материалы и методы

В качестве модельной воды для проведения исследований использовали водопроводную воду.

Изучена эффективность УФ-облучения дозами 25; 40; 60 мДж/см<sup>2</sup> в отношении микроорганизмов.

**Приготовление модельной водопроводной воды.** Отстоянную водопроводную воду дехлорировали посредством фильтрования через фильтр «Барьер» и стерилизовали при давлении 1 атм. и температуре 121 °С, проводили оценку по физико-химическим показателям, затем контаминировали суточными эталонными тест-микроорганизмами:

1) бактериями: *Escherichia coli* 1257, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145, *Salmonella enteritidis* 5765, *Enterococcus faecalis* 29212;

2) колифагом штамм ВКПМ РН-1505 РНК-содержащий фаг MS-2, детекторным штаммом хозяином для колифага служила *E. coli* K-12 F+ (B-3254) (Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов ФГУП ГосНИИ Генетика);

3) в качестве вирусного загрязнения использовали вакцинный штамм полиовируса I-го типа LS с 2ab *Virus poliomyelitis*;

4) ооцистами криптоспоридий, цистами лямблий, яйцами гельминтов. Уровень загрязнения – 500 ед. каждого вида в 50 л. Исследования проводили при комнатной температуре (24–26 °С). После внесения указанных в п. 1 микроорганизмов и простейших в воду осуществляли контроль исходного заражения. Измеряли коэффициент пропускания воды на длине волны 254 нм, он составил 72–73%.

Экспериментальные исследования с полиовирусом проводили в соответствии с МУК 4.2.2029-05<sup>8</sup>. Для выделения полиовируса из воды использовали линию перевиваемых клеток BGM (перевиваемые клетки почки африканской зеленой маршутки).

Выделение фага проводили с использованием метода прямого посева и метода подращивания в соответствии с МУК 4.2.1018-01<sup>9-11,14</sup>.

<sup>4</sup> ГОСТ 31955-2012 (ISO 9308-1:2000) Вода питьевая. Обнаружение и количественный учёт *Escherichia coli* и колиформных бактерий. Часть 1. Метод мембранной фильтрации».

<sup>5</sup> МУ 2.1.5.1183-03 «Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий».

<sup>6</sup> МУ 2.1.4.719-98 «Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды».

<sup>7</sup> МУК 4.3.2030-05 «Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевых и сточных вод УФ-облучением».

<sup>8</sup> МУК 4.2.2029-05 «Санитарно-вирусологический контроль водных объектов».

<sup>9</sup> МУК 4.2.1018-01 «Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды».

<sup>10</sup> МУК 4.3.2030-05 «Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевой и сточной воды ультрафиолетовым излучением».

<sup>11</sup> МУК 4.2.2029-05 «Санитарно-вирусологический контроль водоемов».

Бактерии определяли количественно тремя методами в зависимости от предполагаемого загрязнения (в соответствии с МУК 4.2.1018-01): прямого посева, титрационным и методом мембранных фильтров в трёх повторностях<sup>12-14</sup>.

Контрольные и опытные водоёмы с водопроводной водой выдерживали без доступа света.

Пробы воды отбирали из контрольных и опытных (после облучения) водоёмов сразу, через 30; 60 мин и для выявления возможной реактивации через 24 и 48 ч.

**Порядок обработки модельной воды при исследовании эффективности УФ-обеззараживания.** Готовили модельную воду объёмом по 6 л с бактериальным и вирусным загрязнением. Из этого объёма создавали контрольный водоём и опытные водоёмы с высевом воды после каждой дозы облучения с учётом объёмов на каждый посев и времени экспозиции. Для имитации паразитологического загрязнения готовили по 1 л воды с исходным загрязнением из расчёта 500 ед. каждого вида паразитологического объекта для каждой дозы и времени экспозиции.

В каждый водоём вносили приготовленные бактериальные и вирусные взвеси каждого из микроорганизмов из расчёта  $n \cdot 10^n$  ( $n = 2,3$ ) в 100 мл. Тщательно перемешивали. Отливали по 500 мл для проведения УФ-облучения.

УФ-облучение проводили в стаканах объёмом 2 дм<sup>3</sup>, так чтобы объём облучаемой воды составлял 500 мл, а высота водного столба – 4 см.

УФ-обеззараживание производили на лабораторном приборе типа ПИКЧ с контролем обеспечиваемой УФ-дозы по датчику УФ-излучения для каждой УФ-дозы, указанной в соответствующей группе испытаний (согласно условиям 1.1–1.4).

Прибор «ПИКЧ» состоит из лампового блока, заслонки, блока перемешивания, фотоприёмника, магнитных мешалок, магнитов, УФ-ламп и блока питания.

В качестве источника излучения в приборе использовали три дуговые ртутные безозоновые лампы низкого давления мощностью по 9 Вт каждая. В лампах данного типа более 95% мощности излучения приходится на одну длину волны – 254 нм, имеющей максимальную бактерицидную эффективность. Для контроля абсолютной интенсивности УФ-излучения в приборе предусмотрен специальный фотоприёмник.

За счёт перемешивания воды с помощью системы синхронного вращения постоянных магнитов в эксперименте обеспечивалось равномерное облучение всей тестируемой жидкости.

Изучали обеззараживающее действие УФ-излучения в дозах 25; 40; 80 мДж/см<sup>2</sup>. Модельные водоёмы после обеззараживания выдерживали в темноте с учётом времени экспозиции 30; 60 мин, 24 и 48 ч. Выбор указанных доз облучения основан на практически применяемых дозах УФ-излучения, эффективных для инактивации бактерий и вирусов, и по литературным данным.

В завершение исследования проведён выбор унифицированной оптимальной дозы УФ-обеззараживания вод по категориям и параметрам проведённых испытаний для всех групп патогенов.

**Изучение бактерицидного действия доз УФ-облучения на ДНК бактерий в воде методом ПЦР.** Подтверждали наличие/отсутствие в обеззараженной воде после каждой дозы облучения ДНК бактерий методом ПЦР в режиме реального времени с флуоресцентной схемой детекции. Из опытной воды концентрировали микроорганизмы методом фильтрования исследуемого объёма (300 мл) на мембране из нитроцеллюлозы (диаметр пор 0,2 мкм), затем помещали мембрану в пробирку с физиологическим раствором, центрифугировали в течение 3 мин на 3000 оборотах, убрали надосадочную жидкость и выделяли из осадка ДНК набором «АмплиПрайм РИБО-преп» (104-20), согласно прилагаемой к набору инструкции. Детекцию возбудителей ОКИ проводили набором «АмплиСенс® ОКИ скрин-FL» микроорганизмов рода *E. coli*, *Salmonella* spp., а также на-

<sup>12</sup> МУК 4.2.1018-01 «Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды».

<sup>13</sup> Методические рекомендации «Обнаружение и идентификация *Pseudomonas aeruginosa* в объектах окружающей среды (пищевых продуктах, воде, сточных жидкостях)». МЗ СССР. М., 1984.

<sup>14</sup> МУК 4.2.2314-08 «Методы санитарно-паразитологического анализа воды».

Таблица 1

Результаты изучения влияния УФ-облучения на жизнедеятельность бактерий в водопроводной воде, инфицированной бактериями

Вариант опыта	Экспозиция	Бактерия, КОЕ/100 мл			
		<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella enteritidis</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
Контроль	Сразу	1600	5400	5500	3600
	24 ч	52 000	45 000	120 000	36 000
	48 ч	4000	2430	Сплошной рост	6000
25 мДж/см <sup>2</sup>	Сразу	н/о	н/о	н/о	н/о
	30 мин	н/о	н/о	н/о	н/о
	1 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	24 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	48 ч	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>3</sup>	5
40 мДж/см <sup>2</sup>	Сразу	н/о	н/о	н/о	н/о
	30 мин	н/о	н/о	н/о	н/о
	1 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	24 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	48 ч	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>3</sup>	5
60 мДж/см <sup>2</sup>	Сразу	н/о	н/о	н/о	н/о
	30 мин	н/о	н/о	н/о	н/о
	1 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	24 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	48 ч	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>3</sup>	3
80 мДж/см <sup>2</sup>	Сразу	н/о	н/о	н/о	н/о
	30 мин	н/о	н/о	н/о	н/о
	1 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	24 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	48 ч	н/о	н/о	н/о	н/о

Примечание. Здесь и в табл. 2: н/о – не обнаружено.

борами «СГП-ИДС» идентифицировали синегнойную палочку (*P. aeruginosa*) и *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium* («Энтерококк-ИДС»).

### Результаты определения эффективной дозы ультрафиолетового (УФ) обеззараживания в отношении бактериального загрязнения питьевой воды

Испытания проводили на стерильной водопроводной воде со следующими физико-химическими показателями: электропроводность 39,6 мкСм/см, рН = 7 ед., мутность 0,5 мг/л, цветность 7 град. цветности (Сг–Со), жёсткость общая 4 мг/л, перманганатная окисляемость 3,6 мгО/л, железо общее 0,1 мг/л, хлориды 9,8 мг/л, сульфаты 18,9 мг/л, фосфаты 0,36 мг/л, щёлочь 3,4 ммоль/л, гидрокарбонаты 207 мг/л, кальций 56,1 мг/л, магний 10,2 мг/л.

**Изучение эффективности различных доз УФ-облучения водопроводной воды на бактерии при уровне загрязнения  $n \cdot 10^3$  КОЕ/100 мл.** Выполнено изучение влияния различных доз УФ-излучения на жизнедеятельность индикаторных *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, условно патогенных *Pseudomonas aeruginosa* и патогенных *Salmonella enteritidis* бактерий в водопроводной воде. Результаты представлены в табл. 1.

Анализ полученных данных показал, что при уровне бактериального загрязнения дехлорированной водопроводной воды  $n \cdot 10^3$  КОЕ/100 мл через 30; 60 мин и 24 ч получен 100% обез-

Таблица 2

Результаты изучения влияния УФ-облучения на жизнедеятельность бактерий в водопроводной воде, инфицированной бактериями, при низком уровне загрязнения

Вариант опыта	Экспозиция	Бактерия, КОЕ/100 мл			
		<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella enteritidis</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
Контроль	Сразу	100	500	450	400
	24 ч	1200	1300	3700	2000
	48 ч	3000	2600	Сплошной рост	4500
25 мДж/см <sup>2</sup>	Сразу	н/о	н/о	н/о	н/о
	30 мин	н/о	н/о	н/о	н/о
	1 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	24 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	48 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
40 мДж/см <sup>2</sup>	Сразу	н/о	н/о	н/о	н/о
	30 мин	н/о	н/о	н/о	н/о
	1 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	24 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	48 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
60 мДж/см <sup>2</sup>	Сразу	н/о	н/о	н/о	н/о
	30 мин	н/о	н/о	н/о	н/о
	1 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	24 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	48 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
80 мДж/см <sup>2</sup>	Сразу	н/о	н/о	н/о	н/о
	30 мин	н/о	н/о	н/о	н/о
	1 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	24 ч	н/о	н/о	н/о	н/о
	48 ч	н/о	н/о	н/о	н/о

зараживающий эффект в отношении грамотрицательных бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (*Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*), грамотрицательных неферментирующих бактерий (*Pseudomonas aeruginosa*), грамположительных бактерий семейства *Enterococcaceae* (*Enterococcus faecalis*) при всех используемых дозах УФ-облучения (25; 40; 60 и 80 мДж/см<sup>2</sup>).

В результате обработки модельной воды дозой УФ 25; 40; 60 мДж/см<sup>2</sup> через 48 ч наблюдалось размножение грамотрицательных бактерий *E. coli*, *S. enteritidis*, *P. aeruginosa* (до уровня  $n \cdot 10^4$  –  $n \cdot 10^5$  КОЕ/100 мл) и были обнаружены единичные клетки бактерий *E. faecalis*, что указывает на реактивацию бактерий – восстановление жизнедеятельности после недостаточной дозы эффективного обеззараживания микроорганизмов. При проведении подтверждения наличия в опытных водоёмах после обеззараживания дозами 25; 40; 60 мДж/см<sup>2</sup> ДНК бактерий методом ПЦР бактериальные ДНК были определены после 35-го цикла исследований. При дозе облучения бактерий дозой УФ 80 мДж/см<sup>2</sup> реактивации бактерий и ДНК методом ПЦР не выявлено.

**Изучение эффективности различных доз УФ-облучения водопроводной воды на бактерии при уровне загрязнения  $n \cdot 10^2$  КОЕ/100 мл.** Выполнено изучение влияния различных доз УФ-излучения на жизнедеятельность индикаторных *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, условно патогенных *Pseudomonas aeruginosa* и патогенных *Salmonella enteritidis* бактерий в водопроводной воде с низким уровнем загрязнения  $n \cdot 10^2$ . Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 3

**Инактивация колифага MS-2 и полиовируса I типа в питьевой воде при различных дозах УФ-облучения**

Время проведения исследования	Доза УФО, мДж/см <sup>2</sup>	Фаг MS-2 в БОЕ/100 мл	PV в Ig ТЦД/мл	PV в пассажирах на клетках BGM		
				I	II	III
Через 30 мин	Контроль	4,36 ± 0,88 • 10 <sup>4</sup>	3,64 ± 0,25			
	25	5,4 ± 2,5 • 10 <sup>2</sup>	0,78	+	+	
	40	4,0 ± 0,12 • 10 <sup>1</sup>	0,6	-	+	
	60	0	0	-	+	+
	80	0	0	-	-	-
Через 60 мин	Контроль	4,65 ± 1,02 • 10 <sup>4</sup>	3,64 ± 0,25			
	25	2,1 ± 0 • 10 <sup>2</sup>	0,6	+	+	
	40	4,25 ± 1,9 • 10 <sup>1</sup>	0,3	-	+	
	60	0	0	-	-	+
	80	0	0	-	-	-
Через 24 ч	Контроль	1,37 ± 0,34 • 10 <sup>4</sup>	3,64 ± 0,25			
	25	1,77 ± 0,3 • 10 <sup>2</sup>	0,21	-	+	+
	40	0	0	-	-	+
	60	0	0	-	-	-
	80	0	0	-	-	-
Через 48 ч	Контроль	2,5 ± 0,2 • 10 <sup>3</sup>	3,55 ± 0,23			
	25	4,33 ± 0,08 • 10 <sup>1</sup>	0,1	-	-	+
	40	0	0	-	-	-
	60	0	0	-	-	-
	80	0	0	-	-	-

Проведённые исследования обеззараживания воды с меньшим уровнем загрязнения  $n \cdot 10^2$  КОЕ/100 мл показали 100% обеззараживающий эффект в отношении граммотрицательных бактерий семейства *Enterobacteriaceae* (*Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*), граммотрицательных неферментирующих бактерий (*Pseudomonas aeruginosa*), грамположительных бактерий семейства *Enterococcaceae* (*Enterococcus faecalis*) при всех используемых дозах УФ-облучения (25; 40; 60 и 80 мДж/см<sup>2</sup>) и времени хранения проб в течение 30; 60 мин, 24 и 48 ч. Реактивации бактерий в обеззараженной воде не выявлена, ДНК методом ПЦП не обнаружены.

**Результаты определения эффективной дозы ультрафиолетового (УФ) обеззараживания в отношении вирусного загрязнения питьевой воды**

*Изучение эффективности различных доз УФ-облучения водопроводной воды на вирусное загрязнение колифагом на уровне  $n \cdot 10^4$  БОЕ/100 мл и вирусом – не менее 1000 вирионов/мл.* Выполнено изучение влияния различных доз УФ-излучения на жизнеспособность колифага MS-2 (уровень загрязнения –  $n \cdot 10^4$  КОЕ/100 мл), и в качестве вирусного загрязнения использовали вакцинный штамм полиовируса I-го типа LS с 2ab *Virus poliomyelitis* (уровень вирусного загрязнения – в 1 мл воды содержалось не менее 1000 вирионов). Такие концентрации соответствуют высокому уровню вирусного загрязнения и выбраны, чтобы показать динамику снижения концентрации вирусов относительно дозы излучения. Степень снижения вирусного загрязнения должна достигать 99,9%.

Как видно из данных в табл. 3, полиовирус определялся напрямую в пробах после облучения 25 и 40 мДж/см<sup>2</sup>. При этом следует отметить, что при хранении (от 30 мин до 48 ч) проб воды, облученных дозой 25 мДж/см<sup>2</sup>, содержание вируса снизилось на 3 lg, что было подтверждено культуральным методом с

Таблица 4

**Инактивация колифага MS-2 и полиовируса I типа в питьевой воде при различных дозах УФ-облучения**

Время исследования	Доза УФО, мДж/см <sup>2</sup>	Фаг MS-2 в БОЕ/100 мл	PV в Ig ТЦД/мл	PV в пассажирах на клетках BGM		
				I	II	III
30 мин	Контроль	1,26 ± 0,8 • 10 <sup>2</sup>	1,64 ± 0,2			
	25	0	0	-	-	
	40	0	0	-	-	
	60	0	0	-	-	-
	80	0	0	-	-	-
60 мин	Контроль	1,65 ± 1,02 • 10 <sup>2</sup>	1,64 ± 0,2			
	25	0	0	-	-	-
	40	0	0	-	-	-
	60	0	0	-	-	-
	80	0	0	-	-	-
24 ч	Контроль	1,32 ± 0,3 • 10 <sup>2</sup>	1,64 ± 0,2			
	25	0	0	-	-	-
	40	0	0	-	-	-
	60	0	0	-	-	-
	80	0	0	-	-	-
48 ч	Контроль	1,5 ± 0,2 • 10	1,64 ± 0,2			
	25	0	0	-	-	-
	40	0	0	-	-	-
	60	0	0	-	-	-
	80	0	0	-	-	-

применением клеток BGM (при исследовании через 30 и 60 мин после облучения полиовирус выделен в I и во II пассажирах, при исследовании через 24 ч после облучения во II и III пассажирах, при исследовании через 48 ч после облучения в III пассаже), при этом эффективность обеззараживания составила 99,9%, а при дозе облучения 40 мДж/см<sup>2</sup> при исследовании через 60 мин вирус обнаруживался во II пассаже на культуре клеток BGM, а при исследовании через 24 ч вирус инактивировался полностью. При дозе облучения 60 и 80 мДж/см<sup>2</sup> полиовирус в пробах обнаружен не был.

Данные по инаktivации фага MS-2 в водопроводной воде также представлены в табл. 4. Исходная концентрация колифага составляла 10<sup>4</sup> БОЕ/100 мл воды. Эта концентрация в контрольной ёмкости оставалась на уровне 10<sup>4</sup> БОЕ/100 мл на протяжении 24 ч и снижалась менее чем на 1 lg через 48 ч.

Под воздействием УФ-излучения в дозе 25 мДж/см<sup>2</sup> при исследовании, проведённом через 30 мин, концентрация колифагов снижалась на 2 lg и сохранялась на этом уровне в течение 24 ч. Через 48 ч она снизилась до 10<sup>1</sup> БОЕ/100 мл. В контроле концентрация колифага снизилась на 1 lg за 48 ч.

При увеличении дозы УФ-облучения до 40 мДж/см<sup>2</sup> отмечено снижение концентрации колифага на 3 lg через 30 мин, и через 24 ч установлена его полная инаktivация. После УФ-облучения дозами 60 и 80 мДж/см<sup>2</sup> колифаг обнаружен не был.

Доза УФ-облучения 25 мДж/см<sup>2</sup> позволила снизить на 3 lg концентрацию полиовируса в воде через 1 ч хранения пробы после облучения. Доза УФ-облучения 40 мДж/см<sup>2</sup> оказывала инаktivующий эффект на вирусы спустя 24 ч. После дозы УФ-облучения 25 мДж/см<sup>2</sup> спустя 48 ч число колифагов в питьевой воде снижалось на 3 lg, после увеличения дозы УФ-облучения до 40 мДж/см<sup>2</sup> отмечено снижение концентрации колифага на 3 lg через 30 мин, а через 24 ч установлена его полная инаktivация, после УФ-облучения воды дозой в 60 и 80 мДж/см<sup>2</sup> колифаг обнаружен не был.

Таблица 5

**Выживаемость паразитарных агентов в питьевой воде при различных дозах УФ-облучения**

Доза УФ-излучения, мДж/см <sup>2</sup>	Цисты лямблий, 5 • 10 <sup>2</sup> ед./50 л	Ооцисты криптоспоридий, 5 • 10 <sup>2</sup> ед./50 л	Яйца гельминтов <i>A. lumbricoides</i> , 5 • 10 <sup>2</sup> ед./50 л
25	0	3 • 10 <sup>2</sup>	1 • 10 <sup>2</sup>
40	0	1,5 • 10 <sup>2</sup>	0
60	1 • 10 <sup>2</sup>	3 • 10 <sup>2</sup>	1 • 10 <sup>2</sup>

**Изучение эффективности различных доз УФ-облучения водопроводной воды на вирусное загрязнение колифагом MS-2  $n \cdot 10^2$  КОЕ/100 мл и полиовируса не менее 100 вирионов/1 мл.** Выполнено изучение влияния различных доз УФ-излучения на жизнедеятельность колифага MS-2 (уровень загрязнения –  $n \cdot 10^2$  КОЕ/100 мл) и вакцинного штамма полиовируса 1-го типа LS с 2ab *Virus poliomyelitis* (уровень вирусного загрязнения – в 1 мл воды содержалось не менее 100 вирионов).

Проведённые исследования обеззараживания воды с меньшим уровнем вирусного загрязнения показали высокий обеззараживающий эффект как в отношении колифага MS-2, так и в отношении *Virus poliomyelitis* на протяжении 30; 60 мин и 24 и 48 ч после воздействия всеми дозами УФ-облучения.

**Результаты определения эффективной дозы ультрафиолетового (УФ) обеззараживания в отношении паразитарного загрязнения питьевой воды**

Для проведения экспериментальных исследований использована стерильная водопроводная вода с искусственным заражением цистами *L. intestinalis*, ооцистами *Cryptosporidium* spp., яйцами гельминтов *A. Lumbricoides*<sup>14-16</sup>.

Получены результаты разной степени эффективности УФ-обеззараживания питьевой воды в экспериментальных исследованиях в зависимости от применяемой дозы и вида возбудителя (табл. 5).

Так, при воздействии ультрафиолетового излучения в 25 мДж/см<sup>2</sup> была достигнута эффективность обеззараживания модельной питьевой воды: 100% – от цист лямблий (*L. intestinalis*), 40% – от ооцист криптоспоридий (*Cryptosporidium* spp.), 80% – от яиц аскарид (*A. lumbricoides*).

При воздействии ультрафиолетового излучения в 40 мДж/см<sup>2</sup> была достигнута эффективность обеззараживания модельной питьевой воды: 100% – от цист лямблий (*L. intestinalis*), 100% – от яиц аскарид (*A. lumbricoides*); 70% – от ооцист криптоспоридий (*Cryptosporidium* spp.).

При воздействии ультрафиолетового излучения в 60 мДж/см<sup>2</sup> была достигнута эффективность обеззараживания модельной питьевой воды: 20% – от цист лямблий (*L. intestinalis*), 40% – от ооцист криптоспоридий (*Cryptosporidium* spp.), 80% – от яиц аскарид (*A. lumbricoides*).

Таким образом, полученные результаты не позволяют определить унифицированную дозу эффективного ультрафиолетового обеззараживания в модельной питьевой воде при разных видах паразитарного загрязнения – возбудителями кишечных гельминтозов и патогенных кишечных простейших.

При этом эффективность обеззараживания ооцист криптоспоридий (*Cryptosporidium* spp.) при испытываемых дозах ультрафиолетового излучения 40 мДж/см<sup>2</sup> (70%) была выше эффективности обеззараживания при 25 и 60 мДж/см<sup>2</sup> (40%).

**Заключение**

В результате проведённой экспериментальной работы на дехлорированной питьевой водопроводной<sup>17</sup> воде с физико-химическими параметрами (мутность 0,5 мг/л, цветность 7 град. цветности (Cr–Co), жёлкость общая 4 мг/л, перманганатная окисляемость 3,6 мгО/л, железо общее 0,1 мг/л, хлориды 9,8 мг/л, сульфаты 18,9 мг/л, фосфаты 0,36 мг/л, щёлочь 3,4 ммоль/л, гидрокарбонаты 207 мг/л, кальций 56,1 мг/л, магний 10,2 мг/л), соответствующими СанПиН 2.1.4.1074-01<sup>16</sup> по определению эффективной дозы из доз 25; 40; 60 и 80 мДж/см<sup>2</sup> ультрафиолетового (УФ) обеззараживания в отношении бактериального, вирусного и паразитарного загрязнения питьевой воды с применением лабораторного прибора типа ПИКЧ, в котором в качестве источника ультрафиолетового излучения использовали коллимированный поток ртутной лампы низкого давления с длиной волны 254 нм были получены следующие результаты.

1. При УФ-облучении дозой 25 мДж/см<sup>2</sup> питьевой воды с уровнем бактериального (для грамотрицательных *E. coli*, *S. enteritidis*, *P. aeruginosa* и грамположительных *E. faecalis*) загрязнения  $n \cdot 10^2$  КОЕ/100 мл через 30 мин установлена 100% эффективность обеззараживания воды, через 48 час реактивации бактерий и наличия бактериальной ДНК в модельной воде не выявлено.

2. При обеззараживании питьевой воды дозой УФ-облучения 25 мДж/см<sup>2</sup> с уровнем загрязнения  $n \cdot 10^2$  БОЕ/100 мл колифагом MS-2 и 100 вирионов/мл полиовирусом через 30 мин после облучения установлена их полная 100% инактивация.

3. При уровне бактериального загрязнения воды  $n \cdot 10^3$  КОЕ/100 мл, обработанной дозами УФ-облучения 25; 40 и 60 мДж/см<sup>2</sup> через 48 ч хранения выявлена реактивация грамотрицательных бактерий.

4. Установлено, что при уровне исходного загрязнения питьевой воды колифагом в концентрации  $n \cdot 10^4$  БОЕ/100 мл после УФ-облучения дозой 25 мДж/см<sup>2</sup> через 30 мин его концентрация снизилась на 2 lg и сохранялась на этом уровне до 24 ч, а спустя 48 ч хранения – на 3 lg.

5. Установлено, что при уровне исходного загрязнения питьевой воды колифагом в концентрации  $n \cdot 10^4$  БОЕ/100 мл после УФ-облучения дозами 40 и 60 мДж/см<sup>2</sup> через 60 мин и 24 ч соответственно получена 100% инактивация колифагов.

6. Установлено, что при исходном уровне загрязнения питьевой воды полиовирусами в концентрации 1000 вирионов/мл после УФ-облучения дозой 25 мДж/см<sup>2</sup> через 30 мин хранения пробы концентрация полиовирусов снижалась на 3 и 4 lg через 48 ч.

7. Установлено, что при исходном уровне загрязнения питьевой воды полиовирусами в концентрации 1000 вирионов/мл после УФ-облучения дозой 40 и 60 мДж/см<sup>2</sup> через 30 мин хранения пробы концентрация полиовирусов снижалась на 4 lg, а через 24 ч хранения пробы получена 100% инактивация вирусов.

8. Доза УФ-облучения питьевой воды 60 мДж/см<sup>2</sup> оказывала полный 100% инактивирующий эффект в отношении вирусов и колифагов при всех изученных концентрациях.

9. Установлено, что доза УФ-облучения в питьевой воде 25 мДж/см<sup>2</sup> является на 100% эффективной в отношении цист лямблий (*L. intestinalis*), на 40% – в отношении ооцист криптоспоридий (*Cryptosporidium* spp.), на 80% – от яиц аскарид (*A. lumbricoides*). Показатель эффективного обеззараживания ооцист криптоспоридий (*Cryptosporidium* spp.) при дозе ультрафиолетового излучения 40 мДж/см<sup>2</sup> был выше (70%), чем эффективность обеззараживания при дозах 25 и 60 мДж/см<sup>2</sup> (40%).

10. В технологию водоподготовки доза не менее 25 мДж/см<sup>2</sup> УФ-облучения может быть рекомендована как метод обеззараживания воды в случае микробного загрязнения бактериями и вирусами в концентрации, не превышающей  $n \cdot 10^2$  клеток/вирионов в 100 мл, а при концентрации микробиологического загрязнения  $n \cdot 10^3$  клеток/вирионов в 100 мл воды

<sup>15</sup> МУК 4.2.1174-02 «Использование модельных тестов цист лямблий и ооцист криптоспоридий для гигиенической оценки эффективности водоочистки».

<sup>16</sup> МУК 4.2.2661-10 «Методы санитарно-паразитологических исследований».

<sup>17</sup> СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества».

использование УФ-обеззараживания можно рекомендовать только совместно с хлорированием и с обеспечением показателей по остаточному хлору в распределительной сети перед подачей потребителю. Такая схема позволит повысить барьерную роль сооружений водоподготовки относительно вирусного и бактериального загрязнения, обеспечить пролонгированный эффект обеззараживания, способствующий подавлению роста бактерий в разводящих сетях, и ограничит уровень паразитарного загрязнения воды на этапе водоподготовки.

## Л и т е р а т у р а

(пп. 2, 3, 8 см. References)

1. Журавлёв П.В., Головина С.В., Алешня В.В. Барьерная роль очистных сооружений в отношении условно патогенных микроорганизмов. *Гигиена и санитария*. 1997; 4: 15–16.
4. Артёмов Т.З., Недачин А.Е., Жолдакова З.И., Загайнова А.В. и соавт. Проблема реактивации микроорганизмов в оценке эффективности средств обеззараживания воды. *Гигиена и санитария*. 2010; 1: 15–8.
5. Недачин А.Е., Артёмов Т.З., Гипп Е.К., Загайнова А.В. и соавт. Эпидемическая опасность водопользования при реактивации бактерий после обеззараживания. *Гигиена и санитария*. 2010; 5: 16–21.
6. Журавлёв П.В., Алешня В.В., Шелякина Т.В., Головина С.В., Айдinov Г.Т., Кондратенко Т.А. Влияние условий водопользования на онкозаболеваемость населения. *Гигиена и санитария*. 2000; 6: 28–30.
7. Авчинников А.В. Гигиеническая оценка современных способов обеззараживания питьевой воды (обзор). *Гигиена и санитария*. 2001; 2: 11–20.
9. Вассерман А.Л. Применение ультрафиолетового излучения для обеззараживания воздуха. *Светотехника*. 2004; 4: 6–7.
10. Шлифер Э.Д. Устройство комбинированной СВЧ УФ озонной бактерицидной обработки жидких, газообразных, и твёрдофазных объектов. *Светотехника*. 2004; 6: 46–50.
11. Васильев А.И., Красночуб А.В., Кузьменко М.Е. и др. Анализ современных промышленных источников бактерицидного ультрафиолетового излучения. *Светотехника*. 2004; 6: 42–5.
12. Лаврентьева Л.В., Мастерова Я.В., Соснин Э.А. УФ-инактивация микроорганизмов: сравнительный анализ методов. *Вестник Томского государственного университета. Серия «Биологические науки». Приложение*. 2003; 8: 108–13.

## References

1. Zhuravlev P.V., Golovina S.V., Aleshnya V.V. Barrier role of water treatment plants in relation to conditionally pathogenic microorganisms. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 1997; 4: 15–16. (in Russian)
2. Armon R., Kott H., Sheinman R. Coliforms Survival Process: What do you really mean? 6<sup>th</sup> Int. Symp. Microb. Ecol. (ISME-6), Barcelona, 6–11 Sept., 1992. Barcelona; 1992. 160 p.
3. Sibille I., Sime-Ngando T., Mathieu L., Block J.C. Protozoan Bacterivory and Escherichia coli Survival in Drinking Water Distribution Systems. *Appl Environ Microbiol*. 1998; 64 (1): 197–202.
4. Artyomova T.Z., Nedachin A.E., Zholdakova Z.I., Zagainova A.V. et al. The problem of reactivation of microorganisms in assessing the effectiveness of water disinfection. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2010; 1: 15–8. (in Russian)
5. Nedachin A.E., Artyomova T.Z., Gipp E.K., Zagainova A.V. et al. Epidemic Hazard of Water Use in Reactivating Bacteria After Disinfection. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2010; 5: 16–21. (in Russian)
6. Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Shelyakina T.V., Golovina S.V., Aidinov G.T., Kondratenko T.A. Influence of water use conditions on the population's oncological morbidity. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2000; 6: 28–30. (in Russian)
7. Avchinnikov A.V. Hygienic assessment of modern methods of drinking water disinfection (review). *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2001; 2: 11–20. (in Russian)
8. Gates F. A study of the ultraviolet light of bacteria. *J Gen Physiol*. 1930; 14 (1): 31–42.
9. Wasserman A.L. The use of ultraviolet radiation for air disinfection. *Svetotekhnika [Light Engineering]*. 2004; 1: 46–7. (in Russian)
10. Schlifer E.D. The device of combined microwave UV ozone bactericidal treatment of liquid, gaseous, and solid-phase objects. *Svetotekhnika [Light Engineering]*. 2004; 6: 46–50. (in Russian)
11. Vasilyev A.I., Krasnochub A.V., Kuzmenko M.E. et al. Analysis of modern industrial sources of bactericidal ultraviolet radiation. *Svetotekhnika [Light Engineering]*. 2004; 6: 42–5. (in Russian)
12. Lavrentyeva L.V., Masterova Ya.V., Sosnin E.A. UV-inactivation of microorganisms: a comparative analysis of methods. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Biologicheskiye nauki». Prilozheniye [Tomsk State University Bulletin. Series "Biological Sciences". Application]*. 2003; 8: 108–13. (in Russian)