

Жолдакова З.И., Лебедь-Шарлевич Я.И., Беляева Н.И., Мамонов Р.А.

## Влияние УФ-излучения на трансформацию моно- и дихлораминов в воде плавательных бассейнов в натуральных испытаниях и в эксперименте

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119121, Москва

**Введение.** Применение хлорсодержащих реагентов для обеззараживания воды в плавательных бассейнах может приводить к образованию хлораминов, ухудшающих органолептические свойства воды и влияющих на здоровье пловцов. Для снижения содержания хлораминов в воде бассейнов может применяться ультрафиолетовое излучение.

**Цель работы.** Изучение влияния УФ-излучения на трансформацию моно- и дихлораминов в воде.

**Материал и методы.** Исследование проводилось на пробах воды из детских бассейнов, а также в модельном эксперименте на аквариумной воде с внесённым гипохлоритом натрия. Пробы подвергали обработке ультрафиолетовым излучением с дозами 40, 80 и 120 мДж/см<sup>2</sup>. До и после УФ-обработки во всех пробах было определено содержание хлораминов.

**Результаты.** В результате работы было выявлено, что доза ультрафиолетового излучения 40 мДж/см<sup>2</sup> является недостаточной для разрушения моно- и дихлорамина в воде. При обработке проб воды УФ-излучением с дозой 80 мДж/см<sup>2</sup> наблюдалось снижение содержания монохлораминов и увеличение содержания дихлораминов, зависящее от исходной концентрации активного хлора.

**Заключение.** Таким образом, эффективной дозой ультрафиолетового излучения для снижения концентрации монохлораминов в воде при концентрации активного хлора 0,5 мг/л является 80 мДж/см<sup>2</sup>. Однако стандартное УФ-оборудование, применяемое для обеззараживания воды бассейнов, не может гарантировать снижения концентрации хлораминов, так как обычно оно рассчитано на минимальные требуемые нормативами дозы УФ-излучения (25–40 мДж/см<sup>2</sup>). Кроме того, воздействие УФ с дозой 80 мДж/см<sup>2</sup> на воду с повышенным содержанием активного хлора приводило к значимому увеличению содержания дихлораминов, что предположительно связано с разрушением белков в воде под влиянием УФ-излучения и последующей реакцией аминокислот с активным хлором.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** хлорамины; плавательные бассейны; ультрафиолетовая обработка; трансформация веществ; обеззараживание воды; свободный и связанный хлор.

**Для цитирования:** Жолдакова З.И., Лебедь-Шарлевич Я.И., Беляева Н.И., Мамонов Р.А. Влияние УФ-излучения на трансформацию моно- и дихлораминов в воде плавательных бассейнов в натуральных испытаниях и в эксперименте. Гигиена и санитария. 2020; 99(3): 230-234. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-230-234>

**Для корреспонденции:** Лебедь-Шарлевич Яна Ивановна, кандидат биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенической оценки и прогнозирования токсичности веществ ФГБУ «ЦСП» Минздрава России, 119121, Москва. E-mail: YaSharlevich@cspmrz.ru

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

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

**Участие авторов:** концепция и дизайн исследования – Жолдакова З.И., Лебедь-Шарлевич Я.И.; сбор и обработка материала – Лебедь-Шарлевич Я.И., Беляева Н.И.; статистическая обработка – Лебедь-Шарлевич Я.И., Беляева Н.И.; написание текста – Лебедь-Шарлевич Я.И.; редактирование – Жолдакова З.И., Мамонов Р.А.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила: 14.02.2020

Принята к печати: 25.02.2020

Опубликована: 20.04.2020

Zholdakova Z.I., Lebed-Sharlevich Ya.I., Belyaeva N.I., Mamonov R.A.

## Influence of UV radiation on the transformation of mono- and dichloramines in water of swimming pools in full-scale tests and in the experiment

Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119121, Russian Federation

**Introduction.** The use of chlorine-containing reagents for disinfection of water in swimming pools may lead to the formation of chloramines, both worsening the organoleptic properties of water and affecting the health of swimmers. To reduce the content of chloramines in pool water, UV radiation can be used.

**The aim of work** is investigation of the effect of UV radiation on the transformation of mono- and dichloramines in water.

**Material and methods.** The study was conducted on water samples from children's pools, as well as in a model experiment on aquarium water with sodium hypochlorite added. Samples were irradiated with ultraviolet at doses of 40, 80 and 120 mJ/cm<sup>2</sup>. Before and after UV treatment, the content of chloramines was determined in all samples.

**Results.** UV dose 40 mJ/cm<sup>2</sup> was found to be insufficient for the destruction of mono- and dichloramine in water. During UV treatment with a dose 80 mJ/cm<sup>2</sup> a decrease in the content of monochloramines and an increase in the content of dichloramines were observed. These processes were depended on the initial concentration of active chlorine in the samples.

**Conclusion.** Thus, an effective UV dose to reduce the concentration of monochloramines in water with a concentration of active chlorine of 0.5 mg/l is 80 mJ/cm<sup>2</sup>. However, standard UV equipment used for disinfection of pool water cannot guarantee a reduction of chloramine concentration as it is usually designed for the minimum required UV dose (25-40 mJ/cm<sup>2</sup>). In addition, the effect of UV at this dose on water

with a high content of active chlorine led to a significant increase in the content of dichloramines, which is supposedly associated with the destruction of proteins in water under the influence of UV radiation and the subsequent reaction of amino acids with active chlorine.

**К е y o r d s :** chloramines; swimming pools; UV-treatment; transformation of substances; water disinfection; free and bound residual chlorine.

**For citation:** Zholdakova Z.I., Lebed-Sharlevich Ya.I., Belyaeva N.I., Mamonov R.A. Influence of UV radiation on the transformation of mono- and dichloroamines in swimming pools water in full-scale tests and in the experiment. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)* 2020; 99(3): 230-234. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-230-234>

**For correspondence:** Yana I. Lebed-Sharlevich, MD, Ph.D., senior researcher of the Laboratory for environmental hygienic assessment and prediction of toxicity of substances of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Ministry of Health of the Russian Federation (Centre for Strategic Planning, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: [YaSharlevich@cspmpz.ru](mailto:YaSharlevich@cspmpz.ru)

#### Information about the authors:

Zoya I. Zholdakova, <https://orcid.org/0000-0001-5658-623X>; Yana I. Lebed-Sharlevich, <https://orcid.org/0000-0002-4249-1093>; Nadezda I. Belyaeva, <https://orcid.org/0000-0002-9904-3793>; Roman A. Mamonov, <https://orcid.org/0000-0002-6540-6015>

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

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

**Contribution:** research concept and design – Z.I. Zholdakova, Ya.I. Lebed-Sharlevich; collection and processing of material – Ya.I. Lebed-Sharlevich, N.I. Belyaeva; statistical processing – Ya.I. Lebed-Sharlevich, N.I. Belyaeva; writing text – Ya.I. Lebed-Sharlevich; editing – Z.I. Zholdakova, R.A. Mamonov; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: February 14, 2020

Accepted: February 25, 2019

Published: April 20, 2020

## Введение

Вода плавательных бассейнов должна быть безопасной в эпидемиологическом отношении, безвредной по химическому составу и обладать благоприятными органолептическими свойствами. Обеззараживание воды является обязательным этапом водоподготовки для любого бассейна или аквапарка, так как посетители могут привносить с собой в воду разнообразные микроорганизмы.

В соответствии с гигиеническими требованиями, сформулированными в СанПиН 2.1.2.1188-03 «Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества»<sup>1</sup>, вода в бассейнах должна подвергаться реагентной обработке для обеззараживания. Это обуславливает необходимость добавления в воду различных дезинфицирующих реагентов, которые обеспечивают защиту от патогенов.

При этом наиболее широко применяют окислительные методы дезинфекции воды, где в качестве окислителей используют гипохлорит натрия и диоксид хлора. Хлорирование воды широко распространено во всём мире благодаря достаточно высокой надёжности бактерицидного действия, экономичности и простоте применения [1, 2].

Однако хлорирование имеет и ряд серьёзных недостатков, таких как нарушение органолептических свойств воды, возможное аллергенное действие, недостаточная эффективность воздействия хлора и хлорсодержащих реагентов на некоторые опасные виды микроорганизмов, а также их способность приводить к образованию побочных продуктов, среди которых наиболее опасными являются галогенсодержащие соединения [3–6].

Кроме того, во время посещения бассейнов пловцы выделяют в воду продукты жизнедеятельности (пот, слюну, мочу, аминокислоты, жиры и др.), большинство из которых содержат аммиак и аминокислоты. Также из литературных данных известно, что некоторые органические соединения, которые не вступают в реакцию с хлором в темноте и устойчивы к фотолизу, могут разрушаться при воздействии УФ-излучения [7–9]. Эти соединения будут вступать в реакцию с хлором с образованием моно-, ди- и трихлорамин [10].

Хлорамины представляют собой остаточный связанный хлор, также обладающий бактерицидным действием, но оно в 25–100 раз ниже, чем у свободного хлора.

Образование хлораминов существенно зависит от значения pH воды. В нейтральной среде образуются преимущественно монохлорамины, для образования ди- и трихлораминов требуется pH от 4 до 7 и от 1 до 3 соответственно. Таким образом, если бассейн поддерживается в надлежащем состоянии, то в нейтральной среде будут преобладать монохлорамины [11].

Именно хлорамины несут ответственность за неприятный «хлорный» запах воды и вызывают раздражение глаз, кожи и дыхательных путей. Также известно, что моно- и дихлорамины действуют как предшественники более опасных побочных продуктов обеззараживания, таких как нитрозамины [12–14]. Трихлорамин как более летучее соединение по сравнению с моно- и дихлорамин может вызывать воспаление дыхательных путей и, возможно, астму [15, 16].

Последние исследования показали необходимость вернуться к нормативам остаточного свободного и связанного хлора, указанным в СанПиН 2.1.4.1074-01<sup>2</sup> [17].

Для снижения содержания хлораминов в воде плавательных бассейнов может применяться ультрафиолетовое (УФ) излучение. Традиционно оно используется для инактивации микроорганизмов и получения воды более высокого качества с более низким уровнем вредных химических веществ. Достоинством УФ-обработки воды является то, что ультрафиолет обеспечивает инактивацию практически всего спектра патогенных микроорганизмов в воде, включая устойчивых к хлорированию вирусов и цист простейших [18]. Благодаря обеззараживающему эффекту УФ-излучения достигнуто снижение дозы хлорреагентов. Так, согласно СанПиН 2.1.2.1188-03<sup>3</sup>, при совместном использовании УФ и хлорирования возможна эксплуатация бассейна при концентрации остаточного свободного хлора 0,1–0,3 мг/л в ванне бассейна (при хлорировании без УФ требуется 0,3–0,5 мг/л) [11].

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.2.1188-03. Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества. М., 2003. Available at: <https://base.garant.ru/4178908/>.

<sup>2</sup> СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26.09.2001 г. № 24 (ред. от 28.06.2010)). М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2002. Available at: <https://base.garant.ru/4177988/>.

<sup>3</sup> СанПиН 2.1.2.1188-03. Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества. М., 2003. Available at: <https://base.garant.ru/4178908/>.

При УФ-облучении возможно протекание двух процессов, приводящих к снижению содержания хлораминов: прямое разрушение УФ-лучами (фотолиз) связи N-Cl в молекуле хлорамина и образование различных радикалов-окислителей, которые уже в свою очередь будут разрушать хлорамины.

Для обеззараживания воды в бассейнах используются два типа ламп: УФ-лампы низкого (ЛНД) и высокого давления (ЛВД), которые в зарубежной литературе называют лампами среднего давления (medium pressure lamps). Лампы низкого давления излучают максимальную выходную энергию на длине волны 254 нм, а лампы высокого давления излучают энергию на длинах волн от 200 до 600 нм [10].

Для оценки эффективности первого процесса необходимо учитывать кривые поглощения различных хлораминов. Из литературных данных известно, что максимум поглощения, а значит, и максимум разрушения монохлораминов приходится на длину волны 245 нм, ди- и трихлораминов – на 297 и 340 нм соответственно [19, 20]. Как было показано выше, у монохлораминов пик поглощения приходится на 245 нм, что очень близко к длине волны 254 нм, характерной для ЛНД.

Цель работы – изучить влияние УФ-излучения на трансформацию моно- и дихлораминов в воде.

## Материал и методы

В работе проведены эксперименты, в которых исследовали влияние УФ-излучения на содержание моно- и дихлораминов в воде.

На первом этапе изучалась трансформация хлораминов под действием УФ-излучения в пробах воды из двух детских бассейнов, вода в которых обрабатывается гипохлоритом натрия после ухода посетителей. Бассейн I имеет радиус 3,6 м и глубину 1,2 м, бассейн II овальной формы, его ширина 3,7 м, длина 5 м, глубина 1,2 м. Вода в обоих исследованных бассейнах имеет нейтральную реакцию среды (рН равен  $6,94 \pm 0,03$  и  $6,91 \pm 0,01$  для бассейнов I и II соответственно). Отобранные пробы воды транспортировали в лабораторию, где их облучали дозой УФ-излучения  $40 \text{ мДж/см}^2$ .

На втором этапе был проведён модельный эксперимент на аквариумной воде, обработанной гипохлоритом натрия. рН воды до внесения реагента  $6,61 \pm 0,5$ . До начала эксперимента в воде было определено содержание аммиака и ионов аммония, которое составило  $96 \text{ мг/л}$ . В соответствии с ГН 2.1.5.1315-03<sup>4</sup> ПДК для данных соединений в воде составляет  $1,5 \text{ мг/л}$ . Поэтому для эксперимента было проведено 10-кратное разбавление дехлорированной водопроводной водой. Затем в пробы был добавлен гипохлорит натрия в количестве, необходимом для достижения содержания активного хлора, – 0,5; 1,5; 3 и 5 мг/л. После добавления гипохлорита натрия пробы выдерживали в течение 30 мин, затем подвергали УФ-обработке дозами 40 и  $80 \text{ мДж/см}^2$ .

На заключительном этапе исследований пробы аквариумной воды с концентрацией активного хлора  $0,5 \text{ мг/л}$  облучали дозой УФ-излучения  $120 \text{ мДж/см}^2$ . При этом предварительно на прибор была уставлена труба для увеличения интенсивности УФ-излучения с целью уменьшения времени обработки проб. Время было уменьшено в связи с возможным испарением хлораминов при длительном времени облучения.

Ультрафиолетовое облучение исследуемых проб производили с использованием компактного лабораторного прибора ПИКЧ, разработанного ООО ТД «ЛИТ». В приборе выбрана

непроточная схема с полным перемешиванием жидкости с помощью магнитных мешалок, за счёт которой обеспечивается равномерное облучение всей тестируемой жидкости. Заданная УФ-доза обеспечивается за соответствующее время облучения источником УФ постоянной мощности. В приборе установлены 3 лампы низкого давления, излучающие УФ с длиной волны 254 нм, мощностью 9 Вт каждая.

Для расчёта времени облучения определяли коэффициент пропускания воды каждой из исследуемых проб путём измерения спада интенсивности потока УФ-излучения, прошедшего через слой воды толщиной 1 см, по отношению к потоку излучения, упавшему на его поверхность. Для этого в специальную ванночку, размещённую на блоке перемешивания с фотоприёмником, наливали 56 мл анализируемой воды и снимали показания мультиметра ( $i_1$ , мА). Затем дважды доливали в ванночку объём воды, соответствующий толщине слоя жидкости 1 см (112 мл), и получали значения  $i_2$  и  $i_3$  (мА). По полученным данным вычисляли промежуточные коэффициенты пропускания (формулы (1), (2)):

$$\tau_1 = i_2 / i_1 \quad (1)$$

$$\tau_2 = i_3 / i_2 \quad (2)$$

Коэффициент пропускания раствора  $\tau$  рассчитывали как среднее значение из  $\tau_1$  и  $\tau_2$ .

Время облучения рассчитывали по формулам (3), (4), (5):

$$I_0 = \frac{i_0 \cdot k}{10} \quad (3),$$

где  $I_0$  – интенсивность УФ-излучения на поверхности блока перемешивания;  $i_0$  – значение мультиметра на воздухе, мА;  $k$  – калибровочный коэффициент, мА.

$$I_{cp} = I_0 \cdot \frac{\tau^h - 1}{h \cdot \ln \tau} \quad (4),$$

где  $I_{cp}$  – средняя интенсивность УФ-излучения по всей высоте жидкости, мВт/см<sup>2</sup>;  $\tau$  – средний коэффициент пропускания раствора;  $h$  – высота слоя жидкости.

$$t = D / I_{cp} \quad (5),$$

где  $t$  – время облучения, с;  $D$  – требуемая доза облучения, мДж/см<sup>2</sup>;  $I_{cp}$  – средняя интенсивность УФ излучения, мВт/см<sup>2</sup>.

Для облучения 0,5 л анализируемой воды наливали в стеклянный стакан объёмом 2 л, клали в него магнитные мешалки и размещали на блоке перемешивания. Устанавливали скорость перемешивания так, чтобы она была максимальной, но без образования воронки на поверхности раствора. Для достижения необходимой дозы излучения пробы помещали под источник УФ на соответствующее время, рассчитанное по приведённым выше формулам.

До и после УФ-обработки во всех пробах было определено содержание свободного хлора, моно- и дихлораминов в соответствии с ГОСТ 18190-72<sup>5</sup>. Метод основан на способности разных видов хлора превращать в определённых условиях восстановленную бесцветную форму диэтилпарафенилендиамина в полуокисленную окрашенную форму, которую восстанавливают опять до бесцветной ионами двухвалентного железа. Используется серия титрований раствором соли Мора для определения свободного хлора, монохлорамина и дихлорамина в присутствии диэтилпарафенилендиамина как индикатора. Свободный хлор образует окраску индикатора в отсутствие йодистого калия, монохлорамин даёт окраску в присутствии очень маленьких количеств йодистого калия (2–3 мг), а дихлорамин образует окраску лишь в присутствии больших количеств KI (около 1 г) и при стоянии раствора в течение 2 мин. По количеству раствора соли Мора, израсхо-

<sup>4</sup> ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. 154 с. Available at: <https://base.garant.ru/12130908/>.

<sup>5</sup> ГОСТ 18190-72. Межгосударственный стандарт. Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200008217>.

### Содержание свободного и связанного хлора в пробах при УФ-обработке с дозой 40 мДж/см<sup>2</sup>

Исследуемый раствор	Вещество	Содержание, мг/л	
		до УФО	после УФО
Вода из бассейна I	свободный хлор	0,59 ± 0,11	0,42 ± 0,08
	монохлорамин	0,15 ± 0,01	0,17 ± 0,01
	дихлорамин	0,27 ± 0,04	0,29 ± 0,04
Вода из бассейна II	свободный хлор	1,20 ± 0,06	1,08 ± 0,06
	монохлорамин	0,23 ± 0,04	0,26 ± 0,01
	дихлорамин	0,35 ± 0,01	0,33 ± 0,04
Аквариумная вода, обработанная NaOCl (0,5 мг/л активного хлора)	свободный хлор	0,25 ± 0,01	0,21 ± 0,01
	монохлорамин	0,16 ± 0,01	0,15 ± 0,01
	дихлорамин	0,10 ± 0,03	0,12 ± 0,02
Аквариумная вода, обработанная NaOCl (1,5 мг/л активного хлора)	свободный хлор	0,96 ± 0,13	0,78 ± 0,10
	монохлорамин	0,15 ± 0,01	0,14 ± 0,03
	дихлорамин	0,25 ± 0,07	0,27 ± 0,01
Аквариумная вода, обработанная NaOCl (3 мг/л активного хлора)	свободный хлор	2,47 ± 0,24	1,44 ± 0,13
	монохлорамин	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,06
	дихлорамин	0,62 ± 0,03	0,57 ± 0,05
Аквариумная вода, обработанная NaOCl (5 мг/л активного хлора)	свободный хлор	3,75 ± 0,17	2,70 ± 0,23
	монохлорамин	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0,08
	дихлорамин	0,23 ± 0,04	0,28 ± 0,03

дованному на титрование, определяли содержание того вида активного хлора, за счёт которого образуется окрашенная форма индикатора.

pH проб воды определяли в соответствии с РД 52.24.495-2017<sup>6</sup>, содержание аммиака и ионов аммония – в соответствии с ГОСТ 33045-2014<sup>7</sup>.

Все эксперименты проводились в трёхкратной повторности. Статистическая обработка данных проведена с использованием программы Microsoft Excel и StatSoft Statistica. Данные приведены в виде среднее ± стандартное отклонение.

## Результаты

В экспериментах на воде из бассейнов и аквариумной воде уставлено, что при обработке проб УФ-излучением с дозой 40 мДж/см<sup>2</sup> не наблюдалось значимого изменения содержания монохлораминов и дихлораминов (см. таблицу). Концентрация этих соединений после УФ-облучения колебалась как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. Однако эти колебания укладываются в ошибку метода и не могут расцениваться как влияние ультрафиолетового излучения.

Установлено, что УФ-облучение с дозой 80 мДж/см<sup>2</sup> вызывало снижение содержания монохлорамина в пробах аквариумной воды. Во всех пробах исходное содержание монохлорамина было практически одинаковым, однако в зависимости от концентрации активного хлора оно уменьшалось под действием УФ непропорционально.

Максимальное снижение содержания монохлорамина обнаружено в пробах воды 0,5 мг/л по активному хлору, где

<sup>6</sup> РД 52.24.495-2017. Руководящий документ. Водородный показатель вод. Методика измерений потенциометрическим методом. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/550609472>.

<sup>7</sup> ГОСТ 33045-2014. Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200115428>.

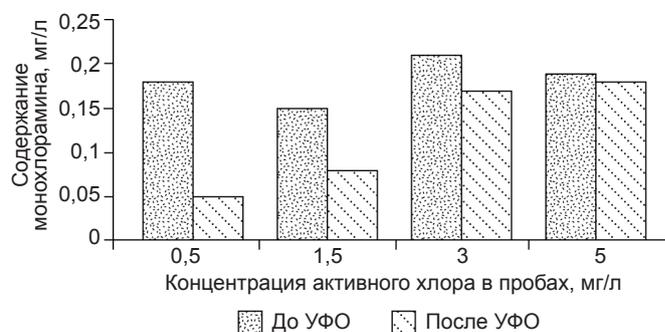


Рис. 1. Изменение содержания монохлорамина в пробах аквариумной воды под действием УФ-излучения.

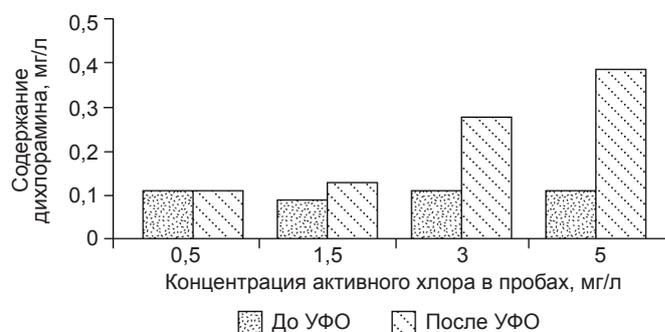


Рис. 2. Изменение содержания дихлорамина в пробах аквариумной воды под действием УФ-излучения.

оно составило 72%. В остальных пробах также происходило снижение содержания монохлорамина, но оно было существенно меньше и в пробах с максимальной концентрацией активного хлора 5 мг/л составило всего 5% (рис. 1).

Одновременно со снижением содержания монохлорамина в исследуемых пробах под влиянием УФ-облучения с дозой 80 мДж/см<sup>2</sup> наблюдалось увеличение концентрации дихлорамина в 0; 1,4; 2,5 и 3,5 раза в пробах с исходной концентрацией активного хлора 0,5; 1,5; 3 и 5 мг/л соответственно (рис. 2).

На заключительном этапе исследований при обработке проб аквариумной воды 0,5 мг/л (по активному хлору) УФ-излучением с дозой 120 мДж/см<sup>2</sup> выявлены статистически незначимые изменения содержания моно- и дихлораминов. При этом в некоторых пробах наблюдалось увеличение содержания монохлорамина.

## Обсуждение

В результате проведённых экспериментов выявлено, что эффективность трансформации хлораминов в воде зависит не только от дозы УФ-излучения, но и от исходного содержания активного хлора. При низком содержании активного хлора в воде (0,5 мг/л) УФ-излучение с дозой 80 мДж/см<sup>2</sup> было достаточно для разрушения монохлорамина. При более высокой концентрации активного хлора требуется обработка воды большей дозой ультрафиолетового излучения. В работе Ormes и соавт. показано, что в растворе монохлорамина 4 мг/л снижение его содержания в два раза наблюдалось при дозе УФ с длиной волны 254 нм 1000 мДж/см<sup>2</sup>. При дозе 100 мДж/см<sup>2</sup> снижение его концентрации составило всего 6,5% [20].

Обнаруженное увеличение содержания дихлорамина в пробах можно предположительно объяснить разрушением белкового загрязнения в воде под влиянием УФ и обеззараживающих агентов и последующей реакцией аминокислот с активным хлором с образованием дихлораминов. В ходе

работы выявлено, что чем выше содержание активного хлора, тем больше дихлораминов образуется в пробах. Из литературных данных известно, что белки и аминокислоты разрушаются под влиянием УФ-излучения. При этом поглощение ультрафиолета молекулами происходит при длине волны от 180 до 310 нм [21]. В частности, для глицериновых растворов аминокислот аргинина, триптофана и глутаминовой кислоты показано, что за время облучения 300 мин концентрация этих аминокислот в растворе снижается в несколько раз. Одновременно с этим наблюдается обогащение раствора продуктами диссоциации аминокислот при УФ-облучении [22].

Увеличение содержания монохлорамина в воде, обработанной УФ-излучением с дозой 120 мДж/см<sup>2</sup>, вероятно, связано с высокой дозой УФ-излучения, которая приводила к более сильному разрушению белков и активизировала реакции аммиака с хлором, а также несовершенством прибора ПИКЧ и его непригодностью к обеспечению высоких доз за короткое время. Необходимо дальнейшее изучение этой проблемы.

## Заключение

В результате исследований установлено, что доза ультрафиолетового излучения 40 мДж/см<sup>2</sup> является недостаточной для разрушения моно- и дихлораминов в воде.

Эффективной дозой для снижения содержания хлораминов при исходной концентрации активного хлора 0,5 мг/л является 80 мДж/см<sup>2</sup>. Таким образом, стандартное УФ-оборудование, применяемое для обеззараживания воды бассейнов, не может гарантировать снижения концентрации хлораминов, так как обычно оно рассчитано на минимальные требуемые нормативами дозы УФ-излучения (25–40 мДж/см<sup>2</sup>).

Вместе с тем воздействие УФ с дозой 80 мДж/см<sup>2</sup> на воду с повышенным содержанием активного хлора (1,5–5 мг/л) приводило к значимому увеличению содержания дихлораминов, что предположительно связано с разрушением белков в воде под влиянием УФ-излучения и последующей реакцией аминокислот с активным хлором с образованием дихлораминов. Однако такие концентрации активного хлора превышают требования санитарного законодательства.

## Литература (пп. 5–10, 12, 13, 15, 16, 19, 20 см. References)

1. Мифтахова К.Р., Пьянкова О.Г., Рудакова Л.В., Глушанкова И.С. Хлорирование как основной метод обеззараживания питьевой воды. *Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика*. 2015; 1: 233–42.
2. Соколов В.Д., Низковских В.М. Применение концентрированного гипохлорита натрия для обеззараживания воды при водоподготовке. *Водоочистка*. 2011; 6: 14–6.
3. Жолдакова З.И., Харчевникова Н.В., Полякова Е.Е., Синикова Н.А., Лебедев А.Т. Экспериментальная оценка и прогноз образования хлорорганических соединений при хлорировании воды, содержащей промышленные загрязнения. *Гигиена и санитария*. 2002; 3: 26–9.
4. Жолдакова З.И., Полякова Е.Е., Лебедев А.Т. Сравнительная оценка опасности веществ промышленного происхождения и их производных, образующихся при хлорировании воды. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2006; 4: 17–22.
11. Ткачев А.А. Борьба с хлораминами с помощью бактерицидного УФ-излучения. *Аква-Терм*. 2017; 4 (98): 74–6.
14. Нурисламова Т.В., Уланова Т.С., Карнажицкая Т.Д., Мальцева О.А. Результаты исследования уровня контаминации крови детей N-нитрозаминами вследствие потребления питьевой воды с повышенным содержанием нитратов. *Здоровье населения и среда обитания*. 2015; 12 (273): 48–52.
17. Жолдакова З.И., Синицына О.О., Мамонов Р.А., Лебедь-Шарлевич Я.И., Печникова И.А. Совершенствование требований к контролю за применением хлорсодержащих средств обеззараживания воды. *Здоровье населения и среда обитания*. 2019; 12 (321): 24–9.
18. Кудрявцев Н.Н., Костюченко С.В., Зайцева С.Г. Схемы применения ультрафиолетового обеззараживания в системах питьевого водоснабжения. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2008; 4: 23–9.
21. Владимиров Ю.А., Потепенко А.Я. *Физико-химические основы фотобиологических процессов*. М.: Высшая школа; 1989. 199 с.
22. Литвинов В.А., Коппе В.Т., Логачев Ю.Е., Бобков В.В. Исследование методом ВИМС влияния ультрафиолетового облучения на аминокислоты. *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2010; 74 (2): 203–7.

## References

1. Miftakhova K.R., P'yankova O.G., Rudakova L.V., Glushankova I.S. Chlorination as the main method of drinking water disinfection. *Ekologiya i nauchno-tekhnicheskij progress. Urbanistika*. 2015; 1: 233–42. (in Russian)
2. Sokolov V.D., Nizkovskikh V.M. The use of concentrated sodium hypochlorite for water disinfection in water treatment. *Vodoochistka*. 2011; 6: 14–6. (in Russian)
3. Zholdakova Z.I., Kharchevnikova N.V., Polyakova Ye.Ye., Sinikova N.A., Lebedev A.T. Experimental evaluation and prediction of the formation of organochlorine compounds during the chlorination of water containing industrial pollution. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2002; 3: 26–9. (in Russian)
4. Zholdakova Z.I., Polyakova Ye.Ye., Lebedev A.T. Comparative evaluation of health hazards associated with industrial chemicals and their derivatives forming during water chlorination. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2006; 4: 17–22. (in Russian)
5. Padhi R.K., Subramanian S., Satpathy K.K. Formation, distribution, and speciation of DBPs (THMs, HAAs, ClO<sup>2-</sup>, and ClO<sup>3-</sup>) during treatment of different source water with chlorine and chlorine dioxide. *Chemosphere*. 2019; 218: 540–50.
6. Richardson S.D., Plewa M.J., Wagner E.D., Schoeny R., DeMarini D.M. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research. *Mutat Res*. 2007; 636 (1–3): 178–242.
7. Nowell L.H., Hoigné J. Photolysis of aqueous chlorine at sunlight and ultraviolet wavelengths — II. Hydroxyl radical production. *Water Res*. 1992; 26 (5): 599–605.
8. Oliver B.G., Carey J.H. Photochemical production of chlorinated organics in aqueous solutions containing chlorine. *Environ Sci Technol*. 1977; 11 (9): 893–5.
9. Watts M.J., Linden K.G. Chlorine photolysis and subsequent OH radical production during UV treatment of chlorinated water. *Water Res*. 2007; 41 (13): 2871–8.
10. Cassan D., Mercier B., Castex F., Rambaud A. Effects of medium-pressure UV lamps radiation on water quality in a chlorinated indoor swimming pool. *Chemosphere*. 2006; 62 (9): 1507–13.
11. Tkachev A.A. Control of chloramines using bactericidal UV radiation. *Аква-Терм*. 2017; 4 (98): 74–6. (in Russian)
12. Schreiber I.M., Mitch W.A. Nitrosamine formation pathway revisited: the importance of chloramine speciation and dissolved oxygen. *Environ Sci Technol*. 2006; 40 (19): 6007–14.
13. Soltermann F., Lee M., Canonica S., von Gunten U. Enhanced N-nitrosamine formation in pool water by UV irradiation of chlorinated secondary amines in the presence of monochloramine. *Water Res*. 2013; 47 (1): 79–90.
14. Nurislamova T.V., Ulanova T.S., Karnazhitskaya T.D., Mal'tseva O.A. The results of researches of n-nitrosamine contamination level in blood of children consuming drinking water with increased level of nitrate. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya [Public Health and Life Environment]*. 2015; 12 (273): 48–52. (in Russian)
15. Bernard A., Carbone S., Michel O., Higuier S., de Burbure C., Buchet J.-P. et al. Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. *Occup Environ Med*. 2003; 60 (6): 385–94.
16. Parrat J., Donzé G., Iseli C., Perret D., Tomacic C., Schenk O. Assessment of occupational and public exposure to trichloramine in Swiss indoor swimming pools: a proposal for an occupational exposure limit. *Ann Occup Hyg*. 2012; 56 (3): 264–77.
17. Zholdakova Z.I., Sinitsyna O.O., Mamonov R.A., Lebed' Sharlevich YA.I., Pechnikova I.A. Improvement of monitoring requirements over the application of chlorine-containing agents for water decontamination. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya [Public Health and Life Environment]*. 2019; 12 (321): 24–9. (in Russian)
18. Kudryavtsev N.N., Kostyuchenko S.V., Zaytseva S.G. Schemes for the application of ultraviolet disinfection in drinking water supply systems. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika*. 2008; 4: 23–9. (in Russian)
19. Li J., Blatchley E.R. UV photodegradation of inorganic chloramines. *Environ Sci Technol*. 2008; 43 (1): 60–5.
20. Örmeci B., Linden K.G., Ducoste J.J. UV disinfection of chlorinated water: impact on chlorine concentration and UV dose delivery. *J Water Supply Res T*. 2005; 54 (3): 189–99.
21. Vladimirov YU.A., Potapenko A.YA. *Physicochemical fundamentals of photobiological processes [Fiziko-khimicheskiye osnovy fotobiologicheskikh protsessov]*. Moscow: Vysshaya shkola; 1989. 199 p. (in Russian)
22. Litvinov V.A., Koppe V.T., Logachev YU.Ye., Bobkov V.V. SIMS study of the effect of ultraviolet radiation on amino acids. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya fizicheskaya*. 2010; 74 (2): 203–7. (in Russian)